

II-1.1

Aufgaben der Umweltforschung

JOCHEN JAEGER und MARTIN SCHERINGER

Inhalt

II–1.1 Aufgaben der Umweltforschung

1	Einleitung: Wozu Umweltforschung?	3
1.1	Professionalisierung der Umweltforschung	3
1.2	Krisensymptome	4
2	Das Spannungsverhältnis zwischen den umweltwissenschaftlichen Aufgaben und das Datendilemma	5
3	Unterschiede zur klassischen Naturforschung	6
3.1	Zum Verhältnis von wissenschaftsinternen und -externen Leitbildern	6
3.2	Transdisziplinäre Forschung	7
3.3	Handlungsbezug	9
4	Umgang mit Unsicherheit und Nichtwissen	10
5	Folgerungen für Umweltforschung und Wissenschaftssystem	12
5.1	Die Krise der Umweltforschung als Anstoss für Veränderungen	12
5.2	Grundsatzfragen der Umweltforschung bearbeiten	12
5.3	Wege aus der Krise: Wahl der Erkenntnisziele und Forschungsfragen	12
6	Fazit: sechs Thesen	14
7	Zusammenfassung	14
8	Literatur	15

II–1.1

Aufgaben der Umweltforschung

JOCHEN JAEGER und MARTIN SCHERINGER

1 Einleitung: Wozu Umweltforschung?

Trotz vier Jahrzehnten intensiver Umweltforschung sind viele Umweltprobleme nach wie vor ungelöst. Zahlreiche Umweltprobleme nehmen sogar weiter zu, z. B. Klimaerwärmung, Überfischung der Meere, Bodenverlust, Wasserknappheit, Landschaftszerschneidung und -überbauung sowie Kontamination von Umwelt, Nahrung und Trinkwasser durch anthropogene Chemikalien mit einer Vielzahl unerwünschter Effekte wie Störungen des Hormonsystems bei Menschen und Tieren. Angesichts der sich in Zukunft wohl noch erheblich verschärfenden Umweltprobleme (z. B. MYERS 1995; BALMFORD und BOND 2005; Turner 2008; Schindler 2010) sind einzelne Erfolge von Umweltforschung und Umweltpolitik – z. B. die Tatsache, dass es heute keine Schaumberge mehr auf Flüssen gibt – zwar erfreulich, stellen aber lediglich Detailspekte eines insgesamt ernüchternden Bildes dar. Diese unbefriedigende Bilanz bringt die Frage mit sich, welche Aufgaben die Umweltforschung eigentlich hat. Wie kann die Umweltforschung stärker als bisher zur Lösung von Umweltproblemen beitragen? Arbeiten die Umweltwissenschaften überhaupt an den für die Gesellschaft wirklich relevanten Fragen, und sind sie in der Lage, ihr Wissen der Gesellschaft nutzbringend zu übermitteln?

Entsprechend dieser Fragestellung behandelt dieser Beitrag Umweltforschung, die den Anspruch hat, zur Lösung von Umweltproblemen beizutragen. Diese Umweltforschung kann durch die Bezeichnung „Umweltproblemforschung“ von anderer Umweltforschung unterschieden werden, die diesen Anspruch nicht erhebt, sondern die Funktionsweise der Umwelt unabhängig von Umweltproblemen erforscht. Umweltproblemforschung behandelt überwiegend solche Umweltprobleme, die Folgen menschlicher Handlungen sind. In den Umweltwissenschaften wird dieser Unterschied allerdings nicht immer beachtet, und oft wird stillschweigend die Annahme getroffen, dass jegliche Art von umweltbezogener Forschung nützlich sei und lediglich „angewendet“ werden müsse, um zur Lösung von Umweltproblemen beizutragen. Dies ist jedoch, wie die letzten 30 Jahre gezeigt haben, nicht so einfach möglich, und es ist daher wichtig, diese Annahme kritisch zu diskutieren.

Mit „Umweltforschung“ (genauer: „Umweltproblemforschung“) ist im Folgenden die heutige naturwissenschaftliche Umweltforschung oder Umweltnaturwissenschaft gemeint, sofern sie sich mit anthropogenen Umweltproblemen befasst. Im eigentlichen Sinne des Wortes wäre solche Forschung keine rein naturwissenschaftliche Forschung mehr,

sondern bezöge die auslösenden Handlungen und ihre gesellschaftlichen Kontexte sowie die Schritte zur Lösung eines Umweltproblems mit ein. Dieser Übergang von einer naturwissenschaftlichen Umweltforschung zu einer Umweltproblemforschung mit natur-, human- und sozialwissenschaftlichen Komponenten ist dringend geboten, ist jedoch noch nicht ausreichend vollzogen worden. Daher verwenden wir in diesem Beitrag den Begriff „Umweltforschung“ für (naturwissenschaftlich dominierte) Umwelt(problem)forschung mit Bezug auf den heutigen Stand. Umweltwissenschaft und Umweltforschung werden dabei synonym verwendet.

1.1 Professionalisierung der Umweltforschung

Auf den ersten Blick scheint sich die Umweltforschung erfolgreich im Wissenschaftssystem etabliert zu haben. Sie verfügt über eigene Forschungsinstitute, finanzielle Ressourcen, Fachzeitschriften und Konferenzen. Ihr Ansehen und akademischer Rang unter den wissenschaftlichen Disziplinen haben sich stetig verbessert. Dabei hat sich die Umweltforschung im Stil und zum Teil auch mit ihren Forschungsfragen an andere wissenschaftliche Disziplinen angeglichen. Dieser Prozess der Etablierung schreitet weiter voran. Ein Anzeichen dafür ist die Gründung zahlreicher neuer Zeitschriften wie „*Integrated Environmental Assessment and Management*“ (seit 2005), „*Sustainability Science*“ (seit 2006), „*Living Reviews in Landscape Research*“ (seit 2007) und „*Applied Spatial Analysis and Policy*“ (seit 2008). Auch außerhalb des Wissenschaftssystems hat sich eine eigenständige Umwelt-Profession etabliert, z. B. Berufe im praktischen Umweltmanagement. Die Professionalisierung im Umweltbereich hat somit in wissenschaftlicher und in praktischer Hinsicht in den letzten 20 Jahren erfolgreich stattgefunden (MIEG 2001; MÜLLER-HEROLD 2001).

Diese Entwicklung der Professionalisierung ist einerseits nützlich und unvermeidbar, um den bisher erarbeiteten Wissensfundus effizient verfügbar zu machen und anzuwenden. Andererseits lässt sie jedoch mehrere wesentliche Fragen unbeantwortet. Umweltforschung war von Beginn an dadurch motiviert, Umweltprobleme mit wissenschaftlichen Mitteln zu analysieren, zu bewerten, „Wissen zum Handeln“ bereitzustellen und dadurch an ihrer Lösung aktiv mitzuwirken. Die Qualität von Resultaten der Umweltforschung lässt sich daher nicht allein mit den üblichen wissenschaftsinternen Kriterien beurteilen, sondern nur dann, wenn auch ihre Relevanz zur Lösung oder Vermeidung von Umweltproblemen einbezogen wird (GRUNWALD 2006).

Ein Beispiel illustriert die offenen Fragen, die von der Professionalisierung nicht beantwortet werden und doch von hoher praktischer Relevanz sind. Die mangelhafte Untersuchung und Berücksichtigung von kumulativen Wirkungen in der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist ein Bereich, in dem die Professionalisierung keine überzeugenden Ergebnisse geliefert hat. Die in aller Regel geringe Qualität von UVP-Berichten hinsichtlich kumulativer Wirkungen und Auswirkungen auf Biodiversität ist weltweit beklagenswert. Dies ist umfangreich in der wissenschaftlichen Literatur belegt (z. B. DUINKER und GREIG 2006, GENELETTI 2006, GONTIER et al. 2006). Zwar schreiben die bestehenden Regelungen, z. B. in Kanada, vor, dass kumulative Wirkungen in der UVP zu berücksichtigen sind („any cumulative effects that are likely to result from the project in combination with other projects or activities that have been or will be carried out“; Canadian Environmental Assessment Act [CEAA] von 1995, section 16[1]). Die reale Praxis sieht jedoch anders aus: „We sense that despite all the guidance and other literature trying to help people understand cumulative effects and how they should be assessed and mitigated, cumulative effects assessment still represents a mystery to most environmental impact assessment practitioners. If it were not a mystery, then much stronger performance in cumulative effects assessment practice should be evident“ (DUINKER und GREIG 2006).

Zudem sind die durchgeführten Untersuchungen in der UVP oft zu wenig sensitiv, um Veränderungen in der Umwelt nachzuweisen („Fehler 2. Art“ in statistischer Ausdrucksweise, d. h. es wird der Schluss gezogen, dass keine Beeinträchtigung von Ökosystemen durch einen Eingriff vorliegt, während in Wahrheit eine Schädigung stattgefunden hat oder mit zeitlicher Verzögerung eintritt). Eine Abschätzung dessen, wie leistungsfähig die eingesetzten Untersuchungsmethoden sind, um Fehler 2. Art zu vermeiden, ist in der UVP noch immer die Ausnahme (PETERMAN und M'GONIGLE 1992; ANTCLIFFE 1999). Dies bedeutet, dass in den meisten Fällen auch nicht bekannt ist, wie sicher oder unsicher die Schlussfolgerung ist, es liege keine Umweltschädigung vor. Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich die Untersuchungen auf solche Fragen konzentrieren, für die passende Instrumente und Messmethoden vorhanden sind, während die eigentlich relevanten Fragen oftmals unbeachtet bleiben (z. B. kumulative Wirkungen), da unklar ist, wie sie konzeptuell erfasst und operationalisiert und instrumentell analysiert werden können („Fehler 3. Art“ nach KRIEBEL et al. 2001). Bildlich gesprochen: Man sucht nachts nach dem verlorenen Schlüssel im Schein der Straßenlaterne, obwohl man ihn an einem ganz anderen Ort verloren hat.

In diesem Bereich ist die Umweltforschung bisher wenig erfolgreich gewesen, Umweltwissen und Umwelthandeln zu verknüpfen, auch nach 40 Jahren seit der Einführung der UVP im Jahr 1969 in den USA. Auch wenn hier wichtige Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern bestehen, hat die heutige UVP vielfach lediglich die Funktion eines administrativen Zusatzaufwandes, bevor ein Projekt genehmigt wird.

1.2 Krisensymptome

Bei genauerem Hinsehen zeigt sich auch an anderen Stellen: Die Umweltforschung steckt in einer Krise. Die Krise besteht darin, dass die Umweltforschung ihre Aufgabe, sich der Lösung von Umweltproblemen explizit zu widmen, vernachlässigt und sich zu stark auf innerwissenschaftliche Fragestellungen zurückgezogen hat. Hierfür gibt es zahlreiche Anzeichen. Dazu zählt die Beobachtung, dass die Probleme der Industriegesellschaft, insbesondere Umweltprobleme (z. B. Artenverlust, Abholzung von Regenwäldern und Borealwäldern, Bodenerosion, Beseitigung von Feuchtgebieten, Zersiedelung, Klimaerwärmung), allem Anschein nach heute schneller zunehmen als die Problemlösekapazität der Industriegesellschaft (Abb. 1; HOMER-DIXON 2000). Ein wesentlicher Bestandteil der Problemlösekapazität von „Wissenschaftsgesellschaften“ ist eine geeignete Wissensgrundlage für umweltschonendes Handeln und für nachhaltige Produktionsweisen und Lebensstile auf den Ebenen von Individuum und Institutionen, z. B. die Triade von Systemwissen, Orientierungswissen und Transformationswissen (z. B. JAHN und SCHRAMM 2006). Hier bestehen jedoch nach wie vor unzählige offene Forschungsfragen, nicht nur technischer und naturwissenschaftlicher Art, sondern gerade auch sozialwissenschaftlicher Art (z. B. wie die *Tragödie der Allmende* in der Klimaproblematik und anderen Bereichen überwunden werden kann; HARDIN 1968; OSTROM 1990). Allzu oft werden bestehende Probleme mit technischen Mitteln bekämpft, die neue Probleme an anderen Orten erzeugen, wobei diese neuen Probleme noch schwerer lösbar sind als die ursprünglichen Probleme („Technikfolgenspirale“, JAEGER 2002) oder erzielte Gewinne rasch wieder verloren gehen, noch bevor sie das ursprüngliche Problem verringern konnten, z. B. durch

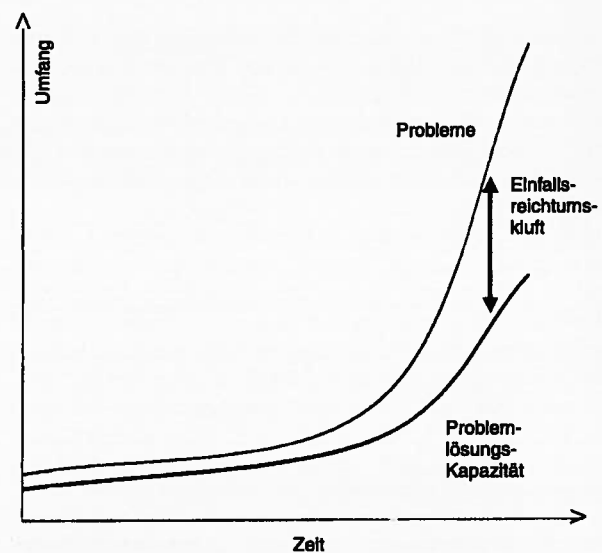


Abb. 1: Die zunehmende Kluft zwischen den Umweltproblemen und der Problemlösungsfähigkeit der globalen Gesellschaft („*ingenuity-gap*“; der englische Begriff ist schwer direkt ins Deutsche übertragbar, es geht um einen Rückstand von Erfindungen, Innovationen und Anpassungen an den Bedarf und sich ändernde Bedingungen; verändert nach HOMER-DIXON 2000).

das „Auffressen“ von Effizienzgewinnen im Straßentransport und im Energieverbrauch von Haushalten durch größere Transportdistanzen und höheren Wohnkomfort und größere Wohnungen (MOROSINI 2006). Diese Misserfolge signalisieren eine Krise der Umweltforschung (JAEGER und SCHERINGER 2006; SCHERINGER und JAEGER 2008).

Grunwald (2006) zieht das ernüchternde Fazit, dass der Anstoß, den das Wissenschaftssystem durch die Umweltproblemforschung erhalten hat, „in seinen Hauptwirkungen lediglich ‚nach innen‘ verpufft [ist]: Statt zu Problemlösungen kam es zu Publikationen“. Diese Situation lässt uns fragen, wie die Bilanz der Umweltwissenschaften heute aussieht. Werden sie ihren Aufgaben gerecht? Dieser Handbuchtartikel zielt darauf ab, die originären Aufgaben der Umweltforschung darzustellen und die bestehenden Hindernisse für eine größere Wirksamkeit der Umweltforschung zu identifizieren. Dabei ist wichtig, zwischen wissenschaftsexternen und -internen Hindernissen zu unterscheiden (BACCINI 2006). Es ist überdeutlich, dass zahlreiche gesellschaftliche und politische Handlungsblockaden, also wissenschaftsexterne Hindernisse, der Lösung vieler Umweltprobleme entgegenstehen. Dies darf jedoch nicht dazu missbraucht werden, die Umweltforschung aus ihrer „Bringschuld“ gegenüber gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen zu entlassen, denn dadurch würden wesentliche Verbesserungspotenziale aus dem Blick geraten. In diesem Beitrag geht es darum, die *internen* Hindernisse zu identifizieren: Was lässt sich innerhalb des Wissenschaftssystems verbessern, um das gewonnene Wissen handlungs- und entscheidungsrelevanter zu machen, und wie können Wissenschaftler ihre Forschungsbeiträge lösungswirksamer machen? Nach unserer Erfahrung ist dieses innerwissenschaftliche Potenzial noch keineswegs ausgeschöpft. Wir stellen daher zunächst das Spannungsverhältnis zwischen den beiden Hauptaufgaben der Umweltforschung dar, welches sich im „Datendilemma“ manifestiert (Abschnitt 2).

Anschließend diskutieren wir die Unterschiede, die sich daraus zwischen der Umweltforschung und klassischer naturwissenschaftlicher Forschung ergeben (Abschnitt 3). Das Thema, wie ein konstruktiver Umgang mit Unsicherheit und Nichtwissen gefunden werden kann, verdient besondere Aufmerksamkeit (Abschnitt 4). Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein grundlegender Verbesserungsbedarf für die Umweltforschung und für das Wissenschaftssystem, von dem die Umweltforschung abhängig ist (Abschnitt 5).

2 Das Spannungsverhältnis zwischen den umweltwissenschaftlichen Aufgaben und das Datendilemma

Die Umweltforschung hat eine doppelte Aufgabe, denn sie erhebt einerseits einen wissenschaftlichen Anspruch und soll andererseits einem praktischen Bedarf dienen: Sie muss innovative und verlässliche Forschungsergebnisse liefern und sie soll zur Lösung konkreter Umweltprobleme beitragen. Diese beiden Aufgaben stehen in einem Spannungsverhältnis zueinander. Deutlich wird dieses Spannungsverhältnis daran, dass einerseits der Bestand an verfügbaren Forschungsergebnissen so umfangreich, unübersichtlich und heterogen geworden ist, dass sich unterschiedliche und zum Teil auch widersprüchliche Schlussfolgerungen ziehen und durch wissenschaftliche Befunde untermauern lassen, und dass andererseits in vielen Fällen immer noch keine ausreichende wissenschaftliche Grundlage für die Entwicklung und Bewertung von Handlungsalternativen verfügbar ist (BÖSCHEN et al. 2001). In solchen Fällen „passen“ die Antworten, die die Umweltforschung produziert, nicht wirklich zum Wissensbedarf der Entscheidungsträger.

Diese Diskrepanz zwischen Erkenntnisgewinnung und Wissensbedarf bezeichnen wir als *Datendilemma* (Abb. 2). Die

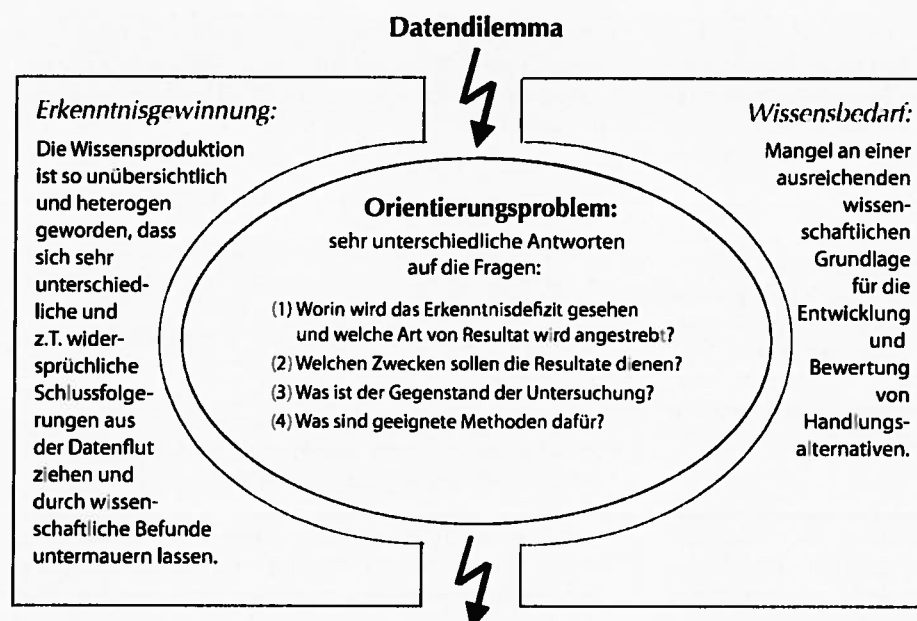


Abb. 2: Das Datendilemma (nach BÖSCHEN et al. 2001).

linke Seite des Datendilemmas (Erkenntnisgewinnung) ist wesentlich eine Folge der Aufgabe, möglichst rasch viele neue Forschungsergebnisse zu erzeugen und zu publizieren. Die rechte Seite des Datendilemmas (Wissensbedarf) ist mit der zweiten Aufgabe der Umweltforschung verknüpft, zur Lösung konkreter Umweltprobleme beizutragen.

Vier zentrale Fragen, die Forschende für sich beantworten müssen, wenn sie ein Forschungsprojekt vorbereiten, betreffen (1) die Art des Erkenntnisdefizites und der angestrebten Resultate, (2) den intendierten Zweck der Resultate, (3) den Gegenstand der Untersuchung und (4) die Methodenwahl. Wegen der doppelten Aufgabe der Umweltforschung sind die Antworten auf diese Fragen nicht eindeutig. Antworten, die Kriterien auf beiden Seiten des Datendilemmas erfüllen und somit das Dilemma überwinden würden, sind schwierig zu finden. Häufiger ist der Fall, dass sich die Antworten entweder an den klassischen Naturwissenschaften ausrichten und die Resultate des Forschungsprojektes dann kaum für Entscheidungsträger relevant sind, oder dass die Antworten auf Einzelfälle bezogen sind und zu Problemlösungen führen, die einen geringen Beitrag zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn leisten. Wie wird es Umweltforschenden möglich, beiden Aufgaben der Umweltforschung gerecht zu werden?

Dieses Missverhältnis wurde in der Literatur mehrfach thematisiert, z. B. von D. OSBORNE: „At present, some of the systems used for monitoring and gathering information about the environment in European countries are inefficient and wasteful. They generate excessive amounts of data on subjects which do not need it, and fail to provide timely and relevant information on other subjects where there is an urgent policy need for better-focused information, as well as consistent environmental assessment and reporting“ (BURKE 2000).

Das gleiche Problem zeigt sich auch sehr deutlich im Bereich der Umweltverträglichkeitsprüfung, wie z. B. von HOVERMAN (1989) mit Bezug auf Australien erläutert: „Our scientists do not practise the science needed. ... The academic development of a scientist generally means that these scientists are precluded from contextual cognition. Worse still is the inability of the scientist to generalize, to offer a picture, image or concept of an environmental impact. ... To use terms from taxonomy, science has traditionally been populated by 'splitters', not 'lumpers', more adept at analyzing than synthesizing. But this kind of science, 'true' science, is of little use in the political, economic and social morass in which environmental decisions must be made. ... What use is it to provide an absolutely precise and certain answer to the wrong questions, merely because that question could be answered? ... Science is not in the EIS/EIA [Environmental Impact Statement/Environmental Impact Assessment] because science does not offer the ability to meet the community's requirements of assessment now.“

Die Mehrzahl der Wissenschaftler sieht solche praktisch relevanten Fragen als „angewandte Forschung“ an, in der man viele praktische Detailprobleme bewältigen muss und die daher auf die Forscher wenig einladend wirkt, wie bereits von SCHINDLER (1976) konstatiert: „First-rate natural scientists ...

are, however, usually not attracted to the undefined scientific problems, complex committee hierarchy, and unrealistic time constraints that are usually attached to impact studies.“ Und ähnlich äußert sich auch PETERSON (1993): „Perhaps because of ... the perception that the science itself is perverted somehow by the process, the most rigorous and demanding academic ecologists have traditionally maintained a separation between the basic science that they practise and the application of that science to environmental problems“. Um diese Trennung zu überwinden und ein größeres Engagement von Wissenschaftlern in der Forschung zu diesen Fragen zu stimulieren, stellten LUBCHENCO et al. (1991) eine ökologische Forschungsagenda unter dem Titel „The sustainable biosphere initiative“ auf, und SUTHERLAND et al. (2006) identifizierten 100 Forschungsfragen in 14 Bereichen (z. B. Ökosystemdienstleistungen, Naturschutzstrategien, invasive Arten). Diese und ähnliche Initiativen können jedoch nur dann fruchten, wenn die Rahmenbedingungen, die durch das Wissenschaftssystem gesetzt werden (Finanzierung, Karriere-möglichkeiten), solches Engagement nicht verhindern (MYERS 1995), was heute jedoch zu einem hohen und seit etwa zehn Jahren weiter zunehmenden Grad der Fall ist.

3 Unterschiede zur klassischen Naturforschung

3.1 Zum Verhältnis von wissenschaftsinternen und -externen Leitbildern

Leitbilder oder Leitprinzipien beantworten Orientierungsfragen, indem sie Zielvorstellungen bündeln, für die Handelnden die Komplexität der sie umgebenden Welt reduzieren und die Aktivitäten in den einzelnen Handlungsfeldern vorstrukturieren. Die naturwissenschaftliche Umweltforschung folgt überwiegend immer noch dem traditionellen Leitbild klassischer naturwissenschaftlicher Forschung (BOSCHEN et al. 2001; Tab. 1) und zielt auf die Erfassung von Wirkungsmechanismen. Wichtige Beispiele für Leitvorstellungen für „gute Wissenschaft“ in den klassischen Naturwissenschaften, die sich in den letzten 300 Jahren herausgebildet haben, sind:

- Darstellung von Kausalzusammenhängen in Form funktionaler Abhängigkeiten, z. B. die Ermittlung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen,
- Entwicklung von Ordnungsschemata zur Systematisierung von Erkenntnis, z. B. das Periodensystem der Elemente, biologische Taxonomien,
- Strukturierung, Einordnung und Vereinheitlichung von Theorien, z. B. die Zusammenführung von raum-zeitlichen Invarianzen und physikalischen Erhaltungssätzen, Aufstellung von Evolutionstheorien,
- Gewinnung von Systemverständnis, z. B. über den Aufbau, das Reaktionsverhalten und die Sensitivität von Systemen,
- möglichst weitgehende Vollständigkeit der wissenschaftlichen Untersuchung, indem alle innerhalb des disziplinären Rahmens prinzipiell möglichen Einflussgrößen, Wirkungsmechanismen und verbleibenden Unsicherheiten

systematisch geklärt werden, wobei allerdings andere Wissensformen ausgeklammert bleiben,

- Werturteilsfreiheit.

Vier weitere Prinzipien charakterisieren das Ethos moderner Naturwissenschaft (MERTON 1985):

- Gültigkeit der ermittelten Zusammenhänge unabhängig von Zeit und Raum und der individuellen Persönlichkeit der forschenden Personen (Universalismus),
- organisierter Skeptizismus,
- freie Zugänglichkeit der Resultate (Kommunismus),
- Uneigennützigkeit der Forschung.

Diese Leitprinzipien fasst das Leitbild der „klassischen Naturforschung“ zusammen (Tab. 1). In aller Regel sind die Forschenden hier bestrebt, ihre Tätigkeit auf die Erkenntnisgewinnung zu beschränken und das Handeln, Planen und Entscheiden ganz der politischen Auseinandersetzung in einer Gesellschaft zu überlassen. Hierin besteht ein interessanter Unterschied zu den Ingenieurwissenschaften, die Vorschläge für technisches Handeln erarbeiten, d. h. für den Einsatz von Umwelttechnik.

Die zweifache Aufgabe der Umweltforschung und die Überwindung des Datendilemmas verlangen von der Forschergruppe hingegen eine *Reflexion* im Sinne des Überdenkens der Problemsituation und der gesellschaftlichen Handlungsmöglichkeiten und damit des eigenen Standorts in der Gesellschaft. Dieser Anspruch führt auf ein weiteres Leitbild, das als „Reflexive Umweltforschung“ bezeichnet werden kann (BÖSCHEN et al. 2001), in Anlehnung an Ulrich BECKs Konzept der reflexiven Modernisierung, die „den wissenschaftlichen Zweifel auch auf die immanenten Grundlagen und externen Folgen der Wissenschaft selbst ausgedehnt hat“ (BECK 1986: 254). Dieses Leitbild speist sich im Gegensatz zum Leitbild der klassischen Naturforschung aus wissenschaftsexternen Quellen. BÖSCHEN et al. (2001) haben die wissenschaftsinternen und -externen Leitbilder, welche für die Umweltforschung relevant sind, gegenübergestellt (Tab. 1).

Bisher bestehen in der Umweltforschung jedoch keine eigenständigen anerkannten Leitprinzipien, die den Leitprinzipien der klassischen Naturwissenschaft an die Seite gestellt werden könnten. Solche Leitprinzipien sollten daher künftig ver-

stärkt diskutiert werden. Sie können sich auf BECKs Thesen zur „reflexiven Modernisierung“ stützen, wonach die Wissenschaft mit den Folgen der Umsetzung ihrer eigenen Forschungsergebnisse konfrontiert wird: „Entscheidend dafür, ob die Wissenschaft derart zur Selbstkontrolle ihrer praktischen Risiken beiträgt, ... ist vielmehr: *welche Art von Wissenschaft bereits im Hinblick auf die Absehbarkeit ihrer angeblich unabsehbaren Nebenfolgen betrieben wird*“ (BECK 1986: 258, Hervorhebung im Original). BÖSCHEN et al. (2001) haben daraufhin sieben Elemente für das Leitbild der „reflexiven Umweltforschung“ hervorgehoben:

- Orientierung an wissenschaftsexternen Leitprinzipien wie Nachhaltigkeit und Vorsorgeprinzip,
- Thematisierung von Unsicherheit und Offenheit,
- Transdisziplinarität (s. Abschnitt 3.2),
- Problemlösungsorientierung,
- Öffentlichkeitsorientierung,
- Orientierung an wissenschaftlichen Standards,
- Handlungsbezug (s. Abschnitt 3.3).

Die Umsetzung zweier verschiedener Leitbilder in der Forschung ist keine leichte Aufgabe. Typisch ist vielmehr der Abwehrreflex vieler Naturwissenschaftler gegen jede Form von externer Orientierung und gegen Aufforderungen zur Selbstreflexion und Selbstkontrolle, die „von außen“ an sie herangetragen werden.

Eine solche zunehmende Reflexion der eigenen (wissenschaftlichen) Position im gesellschaftlichen Umfeld ist beispielsweise in der Entwicklung der ökologischen Chemie zu beobachten (SCHERINGER et al. 2001). Dieses Fallbeispiel zeigt, wie Leitbilder Anlass zu einer selbstgewählten Orientierung werden können (s. Abschnitt 5.3). Es geht also nicht um Regulation der Forschung von außen, sondern um das Ausloten und Etablieren reflexiver Alternativen in der Forschung *durch die Forschenden selbst*.

3.2 Transdisziplinäre Forschung

Eine Forschungsform, welche die Umsetzung des Leitbildes reflexiver Umweltforschung unterstützt, ist transdisziplinäre Forschung. Transdisziplinäre Forschung orientiert sich nicht

Tab. 1: Vergleich des Leitbildes der „reflexiven Umweltforschung“ mit dem der „klassischen Naturforschung“ (verändert nach BÖSCHEN et al. 2001).

Aspekte	Leitbilder der Umweltforschung	
	„Klassische Naturforschung“	„Reflexive Umweltforschung“
zentrale Zielpunkte der Naturerkenntnis	Naturgesetze und Ordnungsschemata	
regulative Idee	<i>Welterkenntnis</i> : Anspruch reiner Naturerkenntnis	<i>Welterschließung</i> : Verständnis und Gestaltung des Mensch-Umwelt-Verhältnisses
Beobachterperspektive zu Natur-Umwelt	<i>Subjekt-Objekt-Trennung</i> : Gegenüberstellung	<i>Subjekt/Objekt-Verbindung</i> : Eingebundensein in Umwelt und Gesellschaft
Handlungs- und Entscheidungsbezug	<i>Ausklammerung</i> : Handlungsbezüge unreflektiert; erkenntnisorientierte Komplexitätsreduktion	<i>Anbindung</i> : reflektierte Handlungsbezüge; soweit möglich entscheidungsorientierte Komplexitätsreduktion
Umgang mit Nichtwissen	<i>Nichtwissen wird als potenzielles künftiges Wissen angesehen</i> : Bearbeitung gemäß disziplinären Standards	<i>Nichtwissen als unhintergebbare Handlungsbedingung</i> : gezielte Konturierung von Nichtwissen in geeignete Problemhorizonte

primär an den Erkenntniszielen etablierter Disziplinen, sondern am Bedarf, lebensweltliche Probleme in disziplinenübergreifender Weise anzugehen, denn „Probleme tun uns häufig nicht den Gefallen, sich als Probleme für disziplinäre Spezialisten zu definieren (Beispiele sind Umwelt und Technikfolgen). Es gibt eine Asymmetrie von Problementwicklung und disziplinärer Entwicklung, und diese wächst in dem Maße, in dem die disziplinäre Entwicklung durch zunehmende Spezialisierung bestimmt ist. Deshalb ist Interdisziplinarität häufig auch gar kein Bedürfnis der Disziplinen, sondern ein Bedürfnis, das sich Problementwicklungen jenseits der Disziplinen verdankt“ (MITTELSTRASS 1989: 75; ähnlich auch HENTIG 1971: 860; BECK 1986; BECKER 1993; ALBRECHT 1994).

Es ist nützlich, fünf Typen wissenschaftlicher Probleme zu unterscheiden (Abb. 3) und ihre Kennzeichen herauszuarbeiten (JAEGER und SCHERINGER 1998). Sie stellen Idealformen dar. Problemstellungen aus der Forschungspraxis lassen sich daher manchmal mehr als nur einem Problemtyp zuordnen.

1. Rein disziplinäre Probleme werden aus historisch gewachsenen, methodischen und begrifflichen Traditionen heraus definiert. Die Definition des Problems orientiert sich an disziplinspezifischen Erkenntnisinteressen.
2. Probleme, die wegen ihres „breiten“ Forschungsgegenstandes disziplinenübergreifend sind: Hier liegt der Forschungsgegenstand „quer“ zur Anordnung der Disziplinen und enthält für jede beteiligte Disziplin Teilprobleme,

die sich mit disziplinären Methoden und gemäß disziplinären Erkenntniszielen bearbeiten lassen. Durch Kombination der disziplinären Teilresultate lässt sich eine gewisse additive Vollständigkeit in der Behandlung des Gesamtproblems erreichen, d. h. dass jeder Teilaspekt bearbeitet wird, der im Sinne eines disziplinären Erkenntnisinteresses relevant ist.

3. Probleme, die durch das Zusammenwachsen oder die Zusammenführung verschiedener Disziplinen entstehen: Diese Probleme werden aus den spezifischen Traditionen mehrerer Disziplinen heraus formuliert und können auch nur aus diesen Traditionen heraus wirklich verstanden und bearbeitet werden; sie haben keine wissenschafts-externe Wurzel.
4. Probleme mit wissenschaftsexterner Wurzel erscheinen aus wissenschaftlicher Sicht als übergreifende Probleme, die sich nicht disziplinär einordnen lassen. Sie umfassen z. B. zahlreiche miteinander verknüpfte naturwissenschaftliche, rechtliche, wirtschaftliche, ethische und gesellschaftliche Aspekte. Sie müssen zunächst in wissenschaftliche Probleme übersetzt werden, bevor sie gemäß wissenschaftlichen Standards bearbeitet werden können. Ihre Bearbeitung führt aus den disziplinären Traditionen, Begrifflichkeiten und Erkenntnisinteressen heraus. Daher stellen sich hier mehrere methodische und organisatorische Schwierigkeiten, die neue Denkansätze erfordern.
5. Technische und ingenieurwissenschaftliche Probleme unterscheiden sich von den übrigen vier Problemtypen

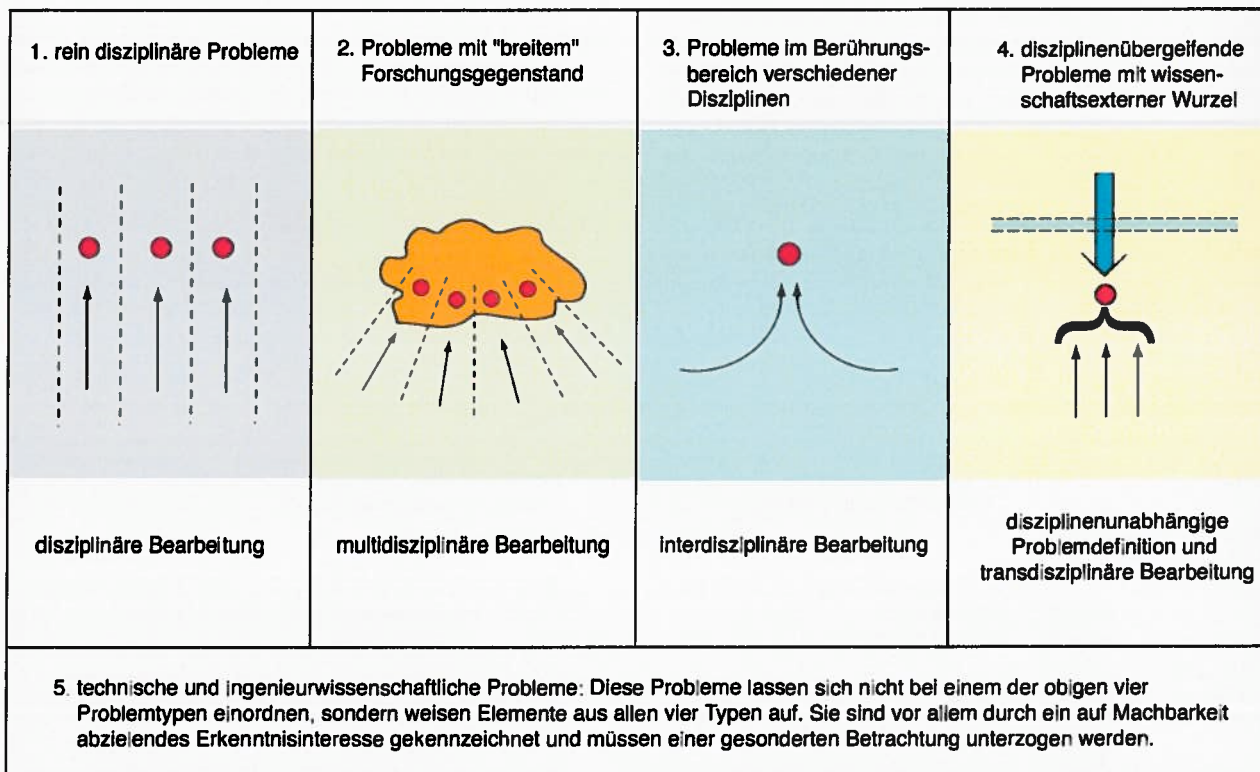


Abb. 3: Unterscheidung von fünf Typen von wissenschaftlichen Problemen (JAEGER und SCHERINGER 1998). →: wissenschaftliche Disziplin, ○: wissenschaftlich definiertes Problem, - - -: disziplinäre Grenzen, ===: Grenze zwischen wissenschaftlichem System und Lebenswelt.

durch eine grundsätzlich andere Zielsetzung hinsichtlich der Art der Problemlösung. Bei ihnen steht die wissenschaftsexterne Anwendbarkeit der Resultate stärker im Vordergrund als der Gewinn einer wissenschaftsintern relevanten Erkenntnis. Sie umfassen Elemente aus allen vier zuvor genannten Problemtypen.

Umweltprobleme sind Probleme mit wissenschaftsexterner Wurzel (Typ 4). Selbst eine multidisziplinäre oder interdisziplinäre Bearbeitung kann diesen Problemtyp nicht oder nur zum Teil abdecken. Unsere These ist daher, dass die wissenschaftliche Bearbeitung von Problemen mit außerwissenschaftlicher Herkunft ein transdisziplinäres Arbeiten erfordert. Damit ist ein Prozess der Problemformulierung und Problemlösung gemeint, der sich – noch stärker als bei interdisziplinärem Arbeiten – von disziplinären Erkenntnisinteressen und Methodenzwängen löst.

Allerdings ist der Aufbau einer transdisziplinären Forschungspraxis nicht einfach. Oftmals werden disziplinäre Perspektiven ohne echte Verbindung nebeneinander gestellt (Multidisziplinarität). Bei Multidisziplinarität, Interdisziplinarität und Transdisziplinarität hängen Erkenntnisinteressen, Methoden und Forschungsgegenstände in unterschiedlicher Weise zusammen. Während sich bei Multidisziplinarität mehrere disziplinäre Erkenntnisinteressen nebeneinander auf einen gemeinsamen „breiten“ Forschungsgegenstand richten, ohne dass sich die angewendeten Methoden dabei spürbar beeinflussen (Problemtyp 2), führt im Fall von Interdisziplinarität die Entwicklung der beteiligten Disziplinen zu einer Überschneidung der Erkenntnisinteressen, sodass die Grenzen zwischen den Disziplinen für Methoden und Forschungsgegenstände durchlässig werden (Abb. 3). Demgegenüber ist das erkenntnisleitende Interesse bei Transdisziplinarität unabhängig von disziplinären Erkenntniszielen auf die wissenschaftliche Bearbeitung lebensweltlicher Probleme ausgerichtet. Die eingesetzten Methoden können neu entwickelt oder aus ihren ursprünglichen disziplinären Kontexten herausgelöst und auf die neue Frage übertragen werden. Dabei können Methoden miteinander kombiniert werden, die ursprünglich für sehr unterschiedliche Erkenntnisinteressen entwickelt worden sind (Textkasten 1).

Der Begriff der „Transdisziplinarität“ ist von verschiedenen Autoren auch mit Bedeutungen verwendet worden, die von der Definition in Textkasten 1 abweichen; eine Zusammenstellung und kritische Diskussion der verschiedenen Definitionsvorschläge, z. B. zum Einbezug von Akteuren aus der Praxis in die Forschung, übersteigt den Rahmen dieses Beitrags (s. dazu die Zusammenstellung im Handbuch von HIRSCH HADORN et al. 2008).

Diese Forschungsform bietet das Potenzial, komplexe Umweltprobleme in einer Weise anzugehen, die eine unangemessene Reduzierung auf rein disziplinär relevante Teilfragen (Fehler 3. Art, s. oben) vermeidet. Eine weitere Möglichkeit, die Gefahr von Fehlern 3. Art zu reduzieren, besteht darin, dass die Problemdefinition von Wissenschaft und Praxis gemeinsam durchgeführt wird. Mehrere Zeitschriften haben diesen Bedarf nach transdisziplinärer Umweltforschung erkannt und bieten ein Forum für solche

Textkasten 1

Kennzeichen transdisziplinärer Forschung

Transdisziplinäre Forschung kann durch vier Kennzeichen charakterisiert werden:

1. Problemverständnis und Problemdefinition werden disziplinenunabhängig entwickelt.
2. Das Problem wird in Teilbereiche zerlegt, die bereits auf die spätere Integration ausgerichtet sind.
3. Es besteht ein wechselseitiger Bezug zwischen den Teilbereichen und damit auf das Gesamtproblem.
4. Die Bearbeitung der Teilbereiche erfolgt in freier Wahl der Methodenanwendung und -entwicklung (d. h. nicht eingeengt durch disziplinäre Vorgaben).

Die Integration der Ergebnisse aus den Teilbereichen zur Lösung des Gesamtproblems ist nur dann erfolgversprechend, wenn die Problemzerlegung zu Beginn des Projektes geeignet gewählt wird. Eine Isolation von Teilproblemen kann oftmals nicht mehr rückgängig gemacht werden, und daher sollte sich die Zerlegung eher nicht an den disziplinären Grenzlinien orientieren. Vielmehr muss die spätere Integration bei der Einteilung des Problems in Teilbereiche schon mitgedacht werden. Transdisziplinäre Forschung kann daher mit Vorteil auch von Einzelpersonen durchgeführt werden, da hier die Integrationschancen höher sind. Transdisziplinarität findet nur dann statt, wenn sie in einzelnen Köpfen vollzogen wird. Ein „Dialog der Disziplinen“ kann transdisziplinäre Forschung nicht ersetzen (JAEGER und SCHERINGER 1998).

Forschungsergebnisse. Hierzu zählen z. B. die Zeitschriften „GAIA: Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft“ im deutschsprachigen Raum (seit 1992) und „Ecology and Society“ (open access, online) auf internationaler Ebene (seit 1997, zu Beginn unter dem Titel „Conservation Ecology“).

3.3 Handlungsbezug

Eine wichtige Konsequenz aus der Tatsache, dass sich die Umweltforschung mit anthropogenen Umweltproblemen befasst und zur Lösung dieser Probleme beitragen soll, ist die Aufgabe, den Bezug zwischen wissenschaftlichen Forschungsergebnissen und menschlichen Handlungen herzustellen. Was ist mit der Forderung nach Handlungsbezug der Forschungsergebnisse gemeint, und weshalb ist diese Aufgabe so wichtig?

Die typischen Erkenntnisziele der naturwissenschaftlichen Umweltforschung bestehen darin, den Umweltzustand zu dokumentieren, die Ursachen von Umweltveränderungen zu identifizieren, die Folgen von Umwelteingriffen zu prognostizieren und Randbedingungen für zukünftige Umwelteingriffe anzugeben. In Bezug auf menschliche Handlungen untersucht Umweltforschung also einerseits die Folgen von Umwelteingriffen, und andererseits sollen die Forschungsre-

sultate als Grundlage für *Maßnahmen* und *Verhaltensänderungen* dienen. Wenn die Umweltforschung jedoch einseitig dem Leitbild klassischer naturwissenschaftlicher Forschung folgt, geraten diese beiden Aspekte leicht aus dem Blick, denn dann wird der Gegenstand der Forschung (Prozesse in Umweltsystemen) neutral, d. h. ohne Bezug zum Handlungskontext untersucht. Unter dem Leitbild klassischer naturwissenschaftlicher Forschung geht es primär um das mechanistische Verständnis von Prozessen in der Umwelt, also die Gewinnung von Systemwissen, wobei die Tatsache, dass Auslöser der betrachteten Prozesse menschliche Umwelteingriffe sind, keinen Einfluss auf die Wahl der Methoden und die gewonnenen Resultate hat. Der Bedarf nach einem stärkeren externen Handlungsbezug ist somit neu gegenüber der Situation in den klassischen Naturwissenschaften. Er ergibt sich aus dem Bedürfnis nach Antworten auf Fragen wie: Welche Umwelteingriffe lassen sich verantworten und welche nicht? Was sind die Voraussetzungen für künftige wünschenswerte Trendänderungen der Umweltbelastungen, z. B. was sind die institutionellen Voraussetzungen dafür, dass umweltbewusste Akteure in einer Gesellschaft umweltschonendes Handeln überhaupt dauerhaft praktizieren können?

Handeln ist der Gegensatz zu *Geschehen* (LÖW 1987). Eine stärkere Beziehung zwischen (Umwelt-)Wissen und Handlungsmöglichkeiten und -zwängen herzustellen, bedeutet für die Forschenden, Umweltveränderungen nicht – oder zumindest nicht nur – auf dieselbe Weise wie akteurunabhängiges, naturwüchsiges Geschehen zu untersuchen. Dies ist zwar möglich, bewältigt aber in der Regel das Datendilemma nicht. Die Übernahme von Verantwortung und die Anwendung von Gerechtigkeitsprinzipien beispielsweise sind nur für Handeln, nicht aber für Geschehen möglich.

In der klassischen naturwissenschaftlichen Forschung werden offene Fragen und Wissenslücken primär als Ansatzpunkte für weitere, zukünftige Forschung gesehen, was häufig in der Wendung „*further research is needed*“ zum Ausdruck kommt. Wissenslücken sind jedoch oft Hindernisse für die Entscheidungsfindung: Entscheidungen über die zu treffenden Maßnahmen müssen „hier und jetzt“ getroffen werden, und man kann nicht auf die Resultate zukünftiger Forschung warten. Daher ist die Schlussfolgerung des „*further research is needed*“ nicht angemessen, denn sie ignoriert den Handlungsbezug (FAIRWEATHER 1993). Vielmehr ist es wichtig, dass in der Umweltforschung (neben der Erarbeitung der wissenschaftlichen Resultate) auch Schlussfolgerungen für konkrete Entscheidungssituationen gezogen werden. Hierzu kann es hilfreich sein, auch sozialwissenschaftliche Methoden einzusetzen (z.B. Renn 2008). Auch wenn noch erhebliche Wissenslücken bestehen, ist es notwendig, die handlungsrelevanten Implikationen des vorhandenen Wissens sowie der Wissenslücken und Unsicherheiten herauszuarbeiten. Damit dies möglich ist, ist eine andere Perspektive in der Forschung erforderlich, z. B. entscheidungsorientierte Komplexitätsreduktion gegenüber erkenntnisorientierter Komplexitätsreduktion (BÖSCHEN et al. 2001, Hauhs und Lange 2008).

Handlungsbezug darf nicht mit *unmittelbarer* praktischer Verwendbarkeit der Forschungsergebnisse verwechselt wer-

den. Dies ist ein häufiges Missverständnis. Umweltforschung ist problemorientiert, und problemorientierte Forschung kann umsetzungsorientiert, aber auch theorieorientiert sein. Die Problemorientierung wird durch unmittelbare Umsetzungsorientierung nicht notwendigerweise erhöht. Die konzeptionelle (handlungsbezogene) Weiterentwicklung der Umweltforschung sollte daher keinesfalls durch die Forderung nach unmittelbarer Umsetzbarkeit der Resultate in der Praxis verhindert werden.

Um den Handlungsbezug zu verbessern, wäre es hilfreich, eigene Institutionen oder Plattformen zu etablieren, welche die Interpretation von Resultaten und Wissenslücken im Hinblick auf politische Entscheidungsprozesse und benötigte Forschungsprogramme vornehmen. Diese Institutionen hätten die Aufgabe, Umweltforscher darin zu unterstützen, den Handlungsbezug in ihrer Forschung zu erhöhen. Im Bereich des Klimawandels ist dies das Ziel des *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC (www.ipcc.ch). Im Bereich der Umweltbelastung durch anthropogene Chemikalien wurde kürzlich das *International Panel on Chemical Pollution*, IPCP (www.ipcp.ch), gegründet, welches sich ebenfalls zum Ziel gesetzt hat, vorhandenes wissenschaftliches Wissen zu bündeln, die bestehenden Unsicherheiten zu benennen, Konsens und Dissens der Wissenschaftler in einem bestimmten Gebiet festzuhalten sowie diese Zusammenfassung des Standes der Forschung den Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit gezielt zur Verfügung zu stellen (SCHERINGER et al. 2006).

4 Umgang mit Unsicherheit und Nichtwissen

Die gesellschaftliche Wahrnehmung des Nichtwissens hat sich historisch gewandelt und das steigende Interesse am Nichtwissen in den letzten 15 Jahren ist ein Zeichen für neuartige Probleme in heutigen Gesellschaften (WEHLING 2006). Nichtwissen wird heute zunehmend relevant in Bereichen wie Umweltforschung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Technikfolgenabschätzung und Risikobewertung. Noch vor zehn Jahren wurde häufig die Kritik geäußert, dass man zu einem Thema, das sich damit befasst, worüber man nichts weiß, konsequenterweise auch kaum sinnvolle Aussagen machen könne. Inzwischen sind jedoch die Beispiele und die Literatur zu diesem Thema so umfangreich geworden, dass diese Kritik ihre Grundlage verloren hat. Die heute vorliegenden Untersuchungen haben unmissverständlich aufgezeigt, dass die verschiedenen Formen des Nichtwissens, wie sie z. B. WEHLING (2006) darstellt, weitreichende Konsequenzen haben und auch grundlegende Annahmen zur Wissensgewinnung durch Wissenschaft infrage stellen. Hierzu zählt insbesondere die Einsicht, dass die Gewinnung neuen Wissens gleichzeitig neues Nichtwissen erzeugt („*science-based ignorance*“, WEHLING 2006). Daher ist es nicht ausreichend, nicht intendierten Nebenfolgen „hinterherzuforschen“, sondern parallel dazu müssen andere Ansätze entwickelt werden, die sich z. B. auf das Vorsorgeprinzip und das Prinzip der Fehlerfreundlichkeit stützen.

WEINBERG (1972) lieferte eine wichtige, frühe systematische Diskussion der Grenzen des Wissbaren in der modernen Na-

turwissenschaft und der Gründe für das Bestehen dieser Grenzen. Bereits 1872 argumentierte DU BOIS-REYMOND in seiner berühmten „*Ignorabimus*“-Rede mit dem Titel „Über die Grenzen des Naturerkennens“, dass es zwei unüberwindbare Grenzen wissenschaftlicher Naturerkenntnis gebe (die Frage nach dem Wesen von Materie und Kraft und die Frage nach der Erklärung des Bewusstseins, DU BOIS-REYMOND 1872). Doch die Arbeit von WEINBERG geht einen entscheidenden Schritt weiter, indem sie klare Begründungen für diese Grenzen angibt. Diese Gründe sind nicht hintergebar und können auch durch große methodische Fortschritte nicht überwunden werden, d. h. es gibt wissenschaftlich formulierbare Fragen, die nicht beantwortbar sind. WEINBERG (1972) nennt solche Fragen „trans-wissenschaftliche“ Fragen und illustriert sie mit dem Beispiel genetischer Effekte von gering-dosierter Röntgenstrahlung: Um ein Experiment durchzuführen, das mit 95%iger Sicherheit angibt, ob eine Strahlung von 150 mrem die Mutationsrate bei Mäusen um 0,5 % erhöht, werden 8 Milliarden Mäuse benötigt – eine Zahl, die das Experiment praktisch undurchführbar macht. Ein weiteres Beispiel dafür ist die unbeantwortbare Frage nach den toxischen Effekten *aller* chemikalischen Substanzen, die heute weltweit verwendet werden (bis zu 100 000), und ihrer Kombinationswirkungen.

Das Problem besteht also nicht nur darin, dass das Nichtwissen immer weiter *anwächst*, sondern dass dem Bestreben der Wissenschaft, dieses Nichtwissen nach und nach in Wissen zu transformieren, fundamentale Grenzen gesetzt sind. Aus der Existenz dieser Grenzen folgt, welche weiteren Fragen für nachfolgende Forschungen wichtig sind: So ist es sinnvoller, Konzepte zum Umgang mit diesen Formen des Nichtwissens zu entwickeln, als weiterhin – vergeblich – darauf zu setzen, Nichtwissen durch noch mehr Forschung in Wissen zu transformieren (SCHERINGER und JAEGER 2008).

Auf den Bedarf nach neuen Konzepten im Umgang mit Nichtwissen haben auch die Arbeiten des Wissenschaftlichen Beirats Globale Umweltveränderungen (WBGU 1999) und des *International Panel of Risk Governance* (RENN 2005) aufmerksam gemacht. Die Konzepte des WBGU umfassen eine Reihe von Risikoklassen, die unterschiedliche Typen von Risiken qualitativ beschreiben. Beispiele sind „Pythia“ (sehr geringe Abschätzungssicherheit, Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiss, z. B. neue Seuchen) und „Medusa“ (eher geringes Schadensausmaß, ungewisse Eintrittswahrscheinlichkeit, sehr hohes soziales Mobilisierungspotenzial, z. B. ionisierende Strahlung). Der WBGU hat zudem Kriterien für die Bewertung solcher Risiken zusammengestellt und geeignete Managementstrategien empfohlen.

Das Vorsorgeprinzip ist eines der zentralen Konzepte der Umweltpolitik in der EU für den Umgang mit Nichtwissen und Unsicherheit (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2000). Es wird auch in den Umweltwissenschaften intensiv diskutiert und kann dazu genutzt werden, Forschung voranzubringen, die nicht lediglich den bisherigen Prozess der Erzeugung neuen Wissens und Nichtwissens fortsetzt, sondern den Umgang mit Unsicherheit explizit einbezieht (z. B. KRJEBEL et al. 2001).

Das Konzept der Fehlerfreundlichkeit (WEIZÄCKER und WEIZÄCKER 1984, WEIZÄCKER und WEIZÄCKER 2008 und nachfolgende Diskussionsbeiträge im selben Heft) ist ebenfalls eines der wenigen relativ konkreten Konzepte für einen konstruktiven Umgang mit Unsicherheit. In die gleiche Richtung zielen die folgenden Bewertungskriterien für technische Systeme und Umwelteingriffe:

- *Komplexe Verknüpfungen und Verzweigungen* in technischen und organisatorischen Systemen (PERROW 1987): bezeichnet die Tendenz eines Systems, dass zwei oder mehr Betriebsstörungen oder -ausfälle zusammenwirken;
- *Eingriffstiefe* von Veränderungen an natürlichen Systemen (VON GLEICH 1988, 1989): wird dadurch bestimmt, an welchen Strukturen des jeweiligen Objektes oder Systems ein Eingriff ansetzt; ob diese Strukturen für das Eingriffsobjekt konstitutiv sind; wie sensitiv sie sind und ob sie Steuerungsfunktionen besitzen (z. B. Atomkerne, Gene, hormonähnliche Substanzen); eine große Eingriffstiefe hat eine hohe potenzielle Wirkmächtigkeit des Eingriffs zur Folge und führt meist zu extrem langen Wirkungsketten und zu einer Vielzahl von Nebenwirkungen;
- *Regionenspezifische Ausbreitungskennziffern* von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen (AMMANN et al. 1996, SRU 1998): beschreiben die Verbreitungshäufigkeit von Wildarten und die Ausbreitung von Diasporen und ermöglichen die Bildung von Gefährdungskategorien für die Verwilderung oder Auskreuzung transgener Pflanzen;
- *Zivilisatorisch-technische Durchdringung der Landschaft* (EWALD 1978): beschreibt die Vorbedingungen für das Zerstören gewachsener ökologischer Zusammenhänge in einer Landschaft;
- *Stärke der Veränderung der Konfiguration einer Landschaft* (JAEGER 1998): beschreibt, wie stark Umwelteingriffe die räumlichen Zusammenhänge in einer Landschaft verändern („Disposition“, z. B. Verringerung der Landschaftskonnektivität).

Das Konzept der Fehlerfreundlichkeit hat den Vorteil, dass es eine wünschenswerte Eigenschaft bezeichnet, während die anderen Kriterien zu vermeidenden Gefährdungen beschreiben. Zum Beispiel kann eine Gesellschaft entscheiden, dass sie künftige Trends und Techniken vermeiden möchte, für die eine Folgen- oder Risikoabschätzung nicht mehr machbar ist (z. B. wegen der damit verbundenen unbeantwortbaren trans-wissenschaftlichen Fragen). Die aufgelisteten Kriterien können als Indikatoren zunehmender Fehlerfreundlichkeit von technischen Systemen und sozialen Institutionen verwendet werden. Die Chemie der kurzen Reichweiten (oder geringer „Ubiquität“ in der Sprache des WBGU (1999)) ist ebenfalls ein wichtiger Ansatz, die Fehlerfreundlichkeit im Einsatz von Chemikalien umzusetzen (SCHERINGER 2002).

Unsicherheit und Nichtwissen sind zwar zum Teil zu einem Thema öffentlicher Auseinandersetzung geworden. Wir haben jedoch den Eindruck, dass die öffentliche Diskussion dieser Frage gegenüber der Debatte um Ulrich BECKs „Risikogesellschaft“ (1986) insgesamt eher wieder abgenommen hat, trotz aller Sorge über Klimawandel und Peak-Oil. Die not-

wendige Diskussion über das Nichtwissen und seine Konsequenzen müsste erst noch intensiv geführt werden, gerade auch in den Wissenschaften selber (MYERS 1995).

5 Folgerungen für Umweltforschung und Wissenschaftssystem

5.1 Die Krise der Umweltforschung als Anstoss für Veränderungen

Wir halten fest: Die Umweltforschung – verstanden als Umweltproblemforschung – steckt in einer Krise, aber es gibt Ansatzpunkte, um den Herausforderungen, die zu dieser Krise geführt haben, zu begegnen. Die Krise der Umweltforschung hat einen praktischen und einen theoretischen Aspekt. Der praktische Aspekt umfasst den Rückgang an finanzieller Unterstützung, Instituten, Lehrstühlen und Reputation, der seit etwa zehn Jahren zu beobachten ist, und das Problem, dass dieser Rückgang trotz weiterhin wachsender Umweltprobleme erfolgt. Der theoretische Aspekt der Krise besteht darin, dass zentrale Fragen zum Gegenstand und zum Erkenntnisprozess der Umweltforschung, die insbesondere zu Anfang der 1990er Jahre thematisiert wurden, nicht weiterverfolgt werden.

5.2 Grundsatzfragen der Umweltforschung bearbeiten

Diese Grundsatzfragen lauten z. B., ob der Gegenstand der Umweltforschung – Umweltsysteme in ihrer Ganzheit – und die Zielsetzung, Umweltzerstörung zu vermindern und zu vermeiden, es auch nötig machen, dass die Umweltforschung einen holistischen oder integrativen Ansatz entwickelt, und wie sie eine andere Art des Erkenntnisgewinns oder Naturzugangs finden kann, als er sonst in den modernen Naturwissenschaften zu finden ist. Diese weitreichenden Fragen wurden in der Zeit zwischen 1985 und 1995 alle gestellt (z. B. PERROW 1987, GLEICH 1989, PICHT 1989, PRIMAS 1992, BECKER 1993, SCHÄFER 1993, ORR 1994), auch in populärwissenschaftlicher Form (z. B. QUINN 1992), wurden aber, als sich keine schnellen oder einfachen Antworten darauf finden ließen, wieder ausgeblendet, anstatt dass man ihnen konsequent und in einer längerfristigen Anstrengung nachgegangen wäre.

Diese Grundsatzfragen sind wichtig, und sie sind nach wie vor unbeantwortet. Auch wenn es für die naturwissenschaftliche Umweltforschung einen grundsätzlich „anderen“ Zugang zur Naturerkenntnis als in den modernen Naturwissenschaften nicht zu geben scheint, gibt es zentrale Unterschiede zwischen Umweltforschung und sonstiger naturwissenschaftlicher Forschung. Wir halten es für eine dringliche Aufgabe, die Frage nach diesen Unterschieden wieder aufzunehmen. Wenn Gegenstand (umfassende Umweltsysteme oder Mensch-Umwelt-Systeme) und Erkenntnisziel (Beitrag zur Lösung von Umweltproblemen, Handlungsbezug) anders sind als in den disziplinären Naturwissenschaften, in welcher Weise ist dann auch die Vorgehensweise der Umweltfor-

schung anders? Dass das Interesse an diesen Fragen so stark abgenommen hat, ist der theoretische Aspekt der Krise der Umweltforschung.

5.3 Wege aus der Krise: Wahl der Erkenntnisziele und Forschungsfragen

Wie verschiedene Arbeiten gezeigt haben, gibt es Auswege aus der oben konstatierten Krise, sowohl auf theoretischer wie auf praktischer Ebene. Wichtige Elemente sind hier:

1. Zwischen Grundlagenfragen und Umsetzbarkeit oder Praxisrelevanz besteht ein enger Bezug. Dies hält beispielsweise G. STÄRK (2007: 170) fest: „fachliches Detailwissen und System- oder Handlungswissen schliessen einander nicht aus, sondern sind voneinander abhängig“. Wie sich diese Abhängigkeit nutzen und stärken lässt, ist jedoch von Fall zu Fall verschieden und sollte an Fallbeispielen detailliert untersucht werden.

2. Weiterführung des Transfers von umweltwissenschaftlichen Resultaten in die Schritte des Umsetzungsprozesses, wie bei STÄRK (2007) durch Analogie zur Produktentwicklung und -vermarktung illustriert. Diese Analogie ist interessant und es wäre sinnvoll, zu untersuchen, wie diese Schritte bei umweltwissenschaftlichen Erkenntnissen konkret aussehen könnten. Wir möchten die These ergänzen, dass sich der Gesellschaftsbezug nicht nur *im Anschluss* an die Forschungsarbeiten herstellen lässt, sondern auch schon *vor dem Beginn* der eigentlichen Forschungsarbeiten gesucht werden sollte, nämlich durch die Wahl der Erkenntnisziele, Forschungsfragen und Methoden.

3. Wir kommen damit zu einer für uns zentralen Aussage: Auch bei der – notwendigen – disziplinären Einbindung umweltwissenschaftlicher Forschungsarbeit besteht eine gewisse Freiheit in der Wahl der Forschungsfragen und Erkenntnisziele (SCHERINGER und JAEGER 2008). Dabei ergeben sich zwei Aspekte: *Welche Fragen und Probleme* sollte die Umweltforschung untersuchen, und *welche Fragen* sollte sie *nicht* untersuchen?

Zum ersten Aspekt: Bei der Konzipierung einer Forschungsarbeit ist es möglich, die Themen und Forschungsfragen so zu wählen, dass die Resultate der Umweltforschung relevanter für die Lösung von Umweltproblemen werden als bei anderen, rein disziplinär orientierten Formulierungen der Forschungsfragen. Hierbei geht es um die Anbindung der Forschungsfragen an die lebensweltliche Problematik im Gegensatz zu rein disziplinär relevanten Fragestellungen (Abb. 4).

Damit reden wir nicht einer von außen, z. B. durch die Politik, gesteuerten Wissenschaft das Wort, in der die Wissenschaftler dem Diktat der „Praxis“ unterliegen. Vielmehr geht es uns um die selbstbestimmte Ausrichtung der Forschung auf lebensweltliche Probleme. Weil diese Forschung keine gesteuerte Forschung oder Auftragsforschung ist, wird es dabei immer einen erheblichen Anteil an Resultaten geben, der nicht unmittelbar praktisch verwertbar ist. Aber ein gewisser Anteil sollte im Hinblick auf lebensweltliche Probleme ver-

wertbar sein, und auch die nicht unmittelbar verwertbaren Resultate sollten in der richtigen Richtung liegen, das heisst, bei weiterem Ausbau, weiterer Ergänzung dann doch praxisrelevant werden können.

Für die Umweltforschung sind sowohl wissenschaftsinterne als auch wissenschaftsexterne Leitbilder relevant (Tab. 1). Das wissenschaftsinterne Leitbild ist das der modernen Naturwissenschaften mit ihrem Anspruch reiner Naturerkenntnis und mit den üblichen Qualitätsstandards (adäquater und kompetenter Einsatz der Methoden, Einbettung in den bisherigen Stand der Forschung, Stringenz, Publikation in anerkannten Fachzeitschriften, etc.), jedoch mit einer weitgehend unreflektierten Interpretation bzw. Vernachlässigung von Handlungsbezügen. Wissenschaftsexterne Leitbilder sind Nachhaltigkeit, Fehlerfreundlichkeit und Vorsorgeprinzip mit dem Ziel, das Mensch-Umwelt-Verhältnis zu verstehen und zu gestalten, wobei Handlungsbezüge und Nichtwissen eine zentrale Rolle bekommen.

Diese Leitbilder sind verschieden und werden sich daher auch in Zukunft nicht zur Deckung bringen lassen. Sie lassen jedoch so viel Spielraum zu, dass eine „Passung“ zwischen wissenschaftlichen Fragen und Resultaten einerseits und ausserwissenschaftlichem Bedarf andererseits zu gewissem Ausmass möglich sein sollte, um das Datendilemma zu überbrücken (Abb. 4).

In der Bemühung um diese Passung muss die Umweltforschung nicht notwendigerweise „holistisch“ oder „integrativ“ sein. Sie muss vielmehr – beispielsweise – einen aussagekräftigen, handlungsrelevanten Indikator für ein Umweltproblem definieren oder wählen und dann Daten erheben, die es ermöglichen, diesen Indikator tatsächlich zu bestimmen und anzuwenden (z. B. SCHERINGER 1996 für Umweltchemikalien, SCHUPP 2005 und JAEGER et al. 2008 für die Landschaftszerschneidung und SCHWICK et al. 2010 für die Zersiedelung). Indikatoren können als Bindeglieder zwischen Sachverhalten und Werturteilen dienen. Die Erhebung solcher Daten kann dann im Einzelnen mithilfe etablierter,

„konventioneller“ Methoden erfolgen, aber die – normativ relevante und normativ gesteuerte – Wahl eines Indikators kann diese Forschung in eine gänzlich andere Richtung bringen als disziplinär motivierte Forschung.

Es geht somit nicht darum, die wissenschaftsinternen Orientierungen zu verwerfen, sondern darum, diese Leitvorstellungen so zu ergänzen und anzupassen, dass entscheidungsorientierte Komplexitätsreduktion und Handlungsbezug leichter in die Forschung zu integrieren sind.

Zum zweiten Aspekt: Hier geht es um das Problem, welche Fragen die Umweltforschung *nicht* oder zumindest nicht ohne eine kritische Analyse der Anforderungen (methodisch, erkenntnistheoretisch, etc.), die solche Fragen stellen, untersuchen sollte. Wichtig ist hier die Erkenntnis, dass es wissenschaftlich formulierbare Fragen gibt, die nicht beantwortbar sind (transwissenschaftliche Fragen, s. Abschnitt 4). Fragen nach den Effekten von Umwelteingriffen auf komplexe Ökosysteme können von solcher Art sein. Diese Fragen sollte die Umweltforschung daher nicht ohne weiteres zu Forschungsfragen erheben, denn beim Versuch, solche Fragen zu beantworten, läuft sie Gefahr, ihren eigenen Anspruch sowie die Erwartungen von Behörden, Industrie und Öffentlichkeit nicht zu erfüllen. Vielmehr muss sie in einer Analyse der methodischen Anforderungen solcher Fragen untersuchen, welche Fragen mit realistischen Erfolgsaussichten bearbeitbar sind, und welche nicht. WEINBERG (1972) rät, transwissenschaftliche Fragen zu vermeiden, er unterschätzt jedoch, welche umfassende und methodisch schwierige Aufgabe dies darstellt. Umweltforschung soll unlösbare Fragen nicht unreflektiert so angehen, als ob sie lösbar wären – aber auch nicht vor ihnen kapitulieren. Vielmehr besteht eine spezifische Aufgabe der Umweltforschung darin, unlösbare Fragen durch Umformulieren und Vereinfachen in – vermutlich – lösbare Fragen zu überführen (HÖFFE 1993: 184). Dies bezeichnet einen wichtigen Unterschied zwischen Umweltforschung und sonstiger naturwissenschaftlicher Forschung. Diese Zielsetzung darf keineswegs dahingehend missverstanden werden, dass sich die Umweltforschung auf behandelbare, aber wenig relevante Einzelfragen zurückziehen sollte (Fehler 3. Art, s. oben). Vielmehr geht es darum, die Strategie der Umwandlung unlösbarer Probleme in leichter behandelbare Fragen vor allem auf die großen und bisher ungelösten Umweltprobleme anzuwenden.

Bei der Überführung unlösbarer Fragen in behandelbare Fragen besteht ein Schlüsselproblem darin, was zulässige und zweckmässige Vereinfachungen und Komplexitätsreduktionen sind. Da gerade bei großen und komplexen Umweltproblemen nicht offensichtlich ist, wo Ansatzpunkte in Form von behandelbaren Fragen liegen, bildet die Suche nach zulässigen und zweckmässigen Vereinfachungen selbst eine zentrale umweltwissenschaftliche Aufgabe.

Ein Beispiel für eine umweltwissenschaftliche Fragestellung, die durch Vereinfachung eines komplexen Umweltproblems gewonnen wurde, ist das Reichweitenkonzept (SCHERINGER 1996, 2000). Das Problem besteht in der Beurteilung der toxischen Wirkungen mehrerer 10 000 kommerziell relevanter Substanzen auf eine Vielzahl von Organismen und Ökosystemen.

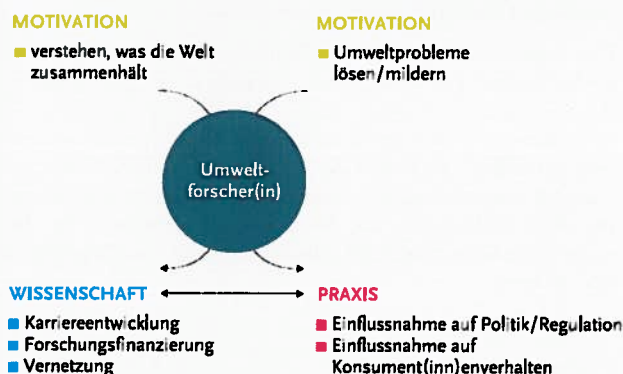


Abb. 4: Umweltforschende arbeiten im Spannungsfeld zwischen ihrer Motivation, praxisrelevante Probleme zu lösen, und den Ansprüchen des Wissenschaftssystems (modifiziert nach FENNER und ESCHER 2006, ähnlich auch JAHN und KEIL 2006). Durch die selbstbestimmte Wahl der Erkenntnisziele und Forschungsfragen richten sie ihre Forschung bewusst in diesem Spannungsfeld aus (sofern das Wissenschaftssystem dies nicht verhindert).

men. Für viele dieser Substanzen sind die toxischen Wirkungen jedoch nicht oder nur unzureichend bekannt. Eine Vorfrage dieses Problems betrifft das Verteilungsverhalten der Substanzen in der Umwelt: Bevor ein toxischer Effekt auftritt, muss die betreffende Substanz an den Ort gelangen, an dem der Effekt sich manifestieren könnte. Zwei Maßzahlen, die die Verteilung chemischer Substanzen in der Umwelt beschreiben, sind Persistenz (Dauer der Exposition) und Reichweite (räumliche Ausdehnung der Exposition). Diese Maßzahlen lassen sich unabhängig von der Kenntnis der toxischen Wirkungen einer Substanz bestimmen; wenn Substanzen mit hoher Persistenz und Reichweite durch solche mit kürzerer ersetzt werden, lässt sich das Ausmass der Exposition, die zu toxischen Effekten führen könnte, gezielt reduzieren. Toxikologische Untersuchungen können sich dann auf Substanzen mit kurzer Persistenz und Reichweite konzentrieren.

6 Fazit: sechs Thesen

Wir fassen unsere Überlegungen abschließend in Thesenform zusammen:

1. Nach einer innovativen Entwicklungsphase in den 1980er und 1990er Jahren bewegt sich die Umweltforschung heute wieder verstärkt innerhalb der disziplinären Paradigmen klassischer naturwissenschaftlicher Forschung. Viele der heute drängenden Umweltprobleme werden daher nicht mit der nötigen transdisziplinären Offenheit bearbeitet.
2. Die Umweltforschung ist trotz aller Erfolge insgesamt in einer schwierigen Lage. Wichtig ist, dass die Umweltforschung nach einer starken Phase in den 1990er Jahren ihren Impuls nun nicht verliert, sondern sich neben aller konkreten Alltagsarbeit und Professionalisierung auch konzeptionell weiterentwickelt. Öffentlichkeit, Behörden und Industrie sind dabei wichtige Partner, aber zuallererst ist es die Aufgabe der Umweltforscher(innen) selbst, neue Konzepte für das Verständnis und die Lösung der weiter wachsenden Umweltprobleme zu erarbeiten.
3. Umweltforschung ist problemorientiert. Problemorientierte Forschung kann umsetzungsorientiert, aber auch theorieorientiert sein. Die Problemorientierung wird durch unmittelbare Umsetzungsorientierung nicht notwendigerweise erhöht. Die konzeptionelle Weiterentwicklung der Umweltforschung sollte daher nicht durch die Forderung nach *unmittelbarer* Umsetzbarkeit der Resultate in der Praxis verhindert werden.
4. Umweltforschung verlangt von den Forschenden die Bereitschaft, die Grenzen rein disziplinär geprägter Betrachtungsweisen zu überschreiten. Dies ist nötig, um ein umfassenderes und disziplinenübergreifendes Verständnis von Umweltproblemen zu erzielen, die Umweltforschung konzeptionell weiterzuentwickeln und genügend Flexibilität in der Methodenwahl zu erreichen. Ein „Dialog der Disziplinen“ ist nicht ausreichend. Vielmehr ist ein größeres Engagement von Wissenschaftlern in der Forschung über die wirklich relevanten Fragen nötig. Das Wissenschaftssystem sollte diesen Prozess unterstützen und die bestehenden institutionellen Hindernisse erkennen und abbauen.
5. Dies umfasst insbesondere die Wahl von *Beurteilungskriterien* für Forschungsprojekte und Projektanträge: Die Vorherrschaft von disziplinären Beurteilungskriterien hinsichtlich der finanziellen Förderung von Projekten bewirkt eine Einengung der Umweltforschung und verhindert ihre konzeptionelle Weiterentwicklung. Diese Einseitigkeit kann dadurch überwunden werden, dass andere Kriterien, die sich auf die Relevanz der Projekte für Problemverständnis und Problemlösung beziehen und mit dem Leitbild der „reflexiven Umweltforschung“ korrespondieren, zumindest gleich stark gewichtet werden. Die Beurteilungskriterien müssen der Tatsache Rechnung tragen, dass sich die Umweltforschung von klassischer naturwissenschaftlicher Forschung unterscheidet. Beurteilungskriterien sollten Wissenschaftler zu interessanten und vielversprechenden Forschungsprojekten anregen und sollten es ermöglichen, dass Umweltforschende größere Forschungsrisiken als bisher eingehen können, um Neuland zu betreten.
6. Der Umgang mit unhintergehbarem Nichtwissen erfordert die Umsetzung qualitativ neuer Konzepte, wie z. B. das Gefährdungskonzept, Fehlerfreundlichkeit, das Vorsorgeprinzip und die Vorschläge des WBGU (1999). *Gefährdungsbegrenzung* kann hier als zentrales Ziel bezeichnet werden (SCHERINGER 2002, JAEGER 1998), d. h. es sollte eine gefährdungsorientierte oder eine vorsorgeorientierte Nichtwissenskultur entwickelt werden (auf wissenschaftlicher Basis). Die Entwicklung einer solchen Nichtwissenskultur, die das Nichtwissen und die Grenzen der Erforschbarkeit anerkennt und *konstruktiv in die Forschung einbezieht*, hat das Potenzial weitreichender Konsequenzen.

Der ökologische Strukturwandel stellt neuartige Anforderungen an das Wissenschaftssystem. Ein entsprechender Wandel des Wissenschaftssystems ist nötig und dringlich, um den Beitrag der Wissenschaften zur Lösung heutiger und künftiger Umweltprobleme zu erhöhen.

Der aufgeklärte Umgang mit Nichtwissen kommt einem neuen Paradigma gleich. Sein Kern besteht darin, die Grenzen des Wissbaren anzuerkennen, den Anspruch aufzugeben, alles Nichtwissen prinzipiell in Wissen überführen zu können, und das Selbstverständnis der Naturwissenschaften entsprechend zu reformieren. Das Vorsorgeprinzip liefert ein hervorragendes Instrument, um diese Reformation auch in die rechtlichen Grundlagen für umweltrelevante Entscheidungen einzuführen.

7 Zusammenfassung

Umweltforschung hat den Anspruch, zur Lösung von anthropogenen Umweltproblemen beizutragen („Umweltproblemforschung“). Trotz der erfolgreichen Professionalisierung der Umweltforschung während der letzten 20 Jahre ist das Ziel, wirksames „Wissen zum Handeln“ bereitzustellen,

nur partiell erreicht worden. Wir konstatieren daher, dass die Umweltforschung sich zu stark auf innerwissenschaftliche Fragen zurückgezogen hat. Nicht nur politische Handlungsblockaden erschweren die Umsetzung von Resultaten der Umweltforschung, sondern es bestehen auch wissenschaftsinterne Hindernisse. Was lässt sich innerhalb des Wissenschaftssystems verbessern, um die Umweltforschung handlungs- und entscheidungsrelevanter zu machen, und wie können Wissenschaftler ihre Forschungsbeiträge lösungswirksamer machen?

Umweltforschung untersucht einerseits die Folgen von Umwelteingriffen, und andererseits sollen die Forschungsergebnisse als Grundlage für Maßnahmen und Verhaltensänderungen dienen. Das Spannungsverhältnis zwischen den beiden Hauptaufgaben der Umweltforschung, (1) innovative Forschungsergebnisse zu produzieren und (2) zur Lösung konkreter Umweltprobleme beizutragen, manifestiert sich im „Dilemma“: Einerseits ist der Bestand an verfügbaren Forschungsergebnissen so umfangreich und heterogen geworden, dass sich unterschiedliche und zum Teil auch widersprüchliche Schlussfolgerungen daraus ziehen lassen, und andererseits ist in vielen Fällen immer noch keine ausreichende wissenschaftliche Grundlage für die Entwicklung und Bewertung von Handlungsalternativen verfügbar (Handlungsbezug). Die Resultate, die die Umweltforschung heute produziert, „passen“ oftmals nicht wirklich zum Wissensbedarf der Entscheidungsträger. Die Umweltforschung unterscheidet sich von der klassischen naturwissenschaftlichen Forschung in wesentlichen Punkten: Für sie ist es neben der Orientierung an wissenschaftlichen Standards wichtig, die eigene wissenschaftliche Position im gesellschaftlichen Umfeld zu reflektieren („reflexive Umweltforschung“).

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Frage, wie ein konstruktiver Umgang mit Unsicherheit und Nichtwissen gefunden werden kann. Die verschiedenen Formen des Nichtwissens in der Umweltforschung haben weitreichende Konsequenzen, weil die Gewinnung neuen Wissens gleichzeitig neues Nichtwissen erzeugt. Dem Bestreben der Wissenschaft, Nichtwissen nach und nach in Wissen zu transformieren, sind fundamentale Grenzen gesetzt. Daher müssen verstärkt neue Forschungsansätze entwickelt werden, die sich auf das Vorsorgeprinzip und das Prinzip der Fehlerfreundlichkeit stützen. Es ist deshalb sinnvoller, Konzepte zum Umgang mit verschiedenen Formen des Nichtwissens zu entwickeln, als weiterhin ausschließlich darauf zu setzen, Nichtwissen durch noch mehr Forschung in Wissen zu überführen. Erforderlich ist hingegen die Entwicklung einer Nichtwissenskultur, die das Nichtwissen und die Grenzen der Erforschbarkeit anerkennt und konstruktiv in die Forschung einbezieht. Umweltforschung sollte unlösbare Fragen daher nicht unreflektiert so angehen, als ob sie lösbar wären, aber auch nicht vor ihnen kapitulieren. Vielmehr besteht eine spezifische Aufgabe der Umweltforschung darin, unlösbare Fragen durch Umformulieren und Vereinfachen in – vermutlich – lösbare Fragen zu überführen. Dazu ist es nötig, dass sich die Umweltforschung neben aller konkreten Alltagsarbeit und Professionalisierung auch konzeptionell weiterentwickelt. Initiativen, um ein größeres Engagement von Wissenschaftlern in der

Forschung zu entscheidungsrelevanten Fragen zu stimulieren, können nur dann fruchten, wenn die Rahmenbedingungen, die durch das Wissenschaftssystem gesetzt werden (Finanzierung, Karrieremöglichkeiten), solches Engagement nicht verhindern, wie dies heute jedoch noch der Fall ist.

Anmerkungen und Danksagung

Um diese Diskussion weiterzuführen, bauen wir derzeit eine Webseite auf (www.env-science.ethz.ch), auf der wir relevante Diskussionsbeiträge zusammenstellen und Hinweise auf weitere Diskussionsgruppen und Aktivitäten geben. Rückmeldungen und Beiträge zu dieser Webseite sind willkommen. Der vorliegende Beitrag basiert überwiegend auf den Beiträgen zum Themenschwerpunkt „Umweltforschung“ der Zeitschrift *GAIA*, Vol. 15–17 (2006–2008) und den Aufsätzen von SCHERINGER et al. (2001) und BOSCHEN et al. (2001). Für hilfreiche Kommentare zum Manuskript danken wir Wolfgang Haber, Charlotte Klank, Irina Laube, Andrea Pluess und Michael Stauffacher.

8 Literatur

- ALBRECHT, H. (1994): Nachdenken – Vorausdenken. Versuch zu einer angemessenen Aufgaben- und Handlungsorientierung der Universität in einer gefährdeten Welt. – In: ALBRECHT, H. (Hrsg.): *Einsicht als Agens des Handelns*. – Margraf, Weikersheim, S. 295–321.
- AMMANN, K., JACOT, Y., RUFENER AL MAZYAD, P. (1996): Field release of transgenic crops in Switzerland: an ecological risk assessment of vertical gene flow. – In: SCHULTE, E., KÄPPELI O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band I (Materialien)*. – Bats, Basel, S. 101–157.
- ANTCLIFFE, B.L. (1999): Environmental impact assessment and monitoring: the role of statistical power analysis. – *Impact assessment and project appraisal* 17(1): 33–43.
- BACCINI, P. (2006): Überleben mit Umweltforschung? – *GAIA* 15(1): 24–29.
- BALMFORD, A., BOND, W. (2005): Trends in the state of nature and their implications for human well-being. – *Ecology Letters* 8: 1218–1234.
- BECK, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. – Suhrkamp, Frankfurt am Main, 396 S.
- BECKER, E. (1993): Wissenschaft als ökologisches Risiko. – In: HIEBER, L. (Hrsg.): *Utopie Wissenschaft*. – Profil, München, S. 33–51.
- BOSCHEN, S., SCHERINGER, M., JAEGER, J. (2001): Wozu Umweltforschung? – Über das Spannungsverhältnis zwischen Forschungstraditionen und umweltpolitischen Leitbildern. Teil II: Zum Leitbild „Reflexive Umweltforschung“ – *GAIA* 10(3): 203–212.
- BURKE, M. (2000): Assessing the environmental health of Europe. – *Environmental Science and Technology* 34: 76A–80A.

- DUINKER, P.N., GREIG, L.A. (2006): The impotence of cumulative effects assessment in Canada: ailments and ideas for redeployment. – *Environmental Management* 37(2): 153–161.
- DU BOIS-REYMOND, E. (1872/1961): Über die Grenzen des Naturerkennens. – Nachdruck der 9. Aufl. Leipzig 1903. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2000): Communication from the Commission on the Precautionary Principle. – Europäische Kommission, Brüssel, 2.2.2000. Verfügbar unter http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/library/pub/pub07_en.pdf (abgerufen am 2.1.2010).
- EWALD, K.C. (1978): Der Landschaftswandel – Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. – *Tätigkeitsberichte der naturforschenden Gesellschaft Baselland* 30: 55–308.
- FAIRWATHER, P.G. (1993): Links between ecology and ecophilosophy, ethics and the requirements of environmental management. – *Australian Journal of Ecology* 18: 3–19.
- FENNER, K., ESCHER, B. (2006): Umweltchemie und Ökotoxikologie im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis. – *GAIA* 15: 121–126.
- GENELETTI, D. (2006): Some common shortcomings in the treatment of impacts of linear infrastructures on natural habitat. – *Environmental Impact Assessment Review* 26: 257–267.
- GLEICH, A. VON (1988): Werkzeugcharakter, Eingriffstiefe und Mitproduktivität als zentrale Kriterien der Technikbewertung und Technikwahl. – In: RAUNER, F. (Hrsg.): „Gestalten“ – eine neue gesellschaftliche Praxis. – Verlag Neue Gesellschaft, Bonn, S. 115–147.
- GLEICH, A. VON (1989): Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur. Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften. – Campus Verlag, Frankfurt/M., New York, 200 S.
- GONTIER, M., BOLFORS, B., MÖRTBERG, U. (2006): Biodiversity in environmental assessment – current practice and tools for prediction. – *Environmental Impact Assessment Review* 26: 268–286.
- GRUNWALD, A. (2006): Umweltforschung – vom Wissen zum Handeln? Editorial. – *GAIA* 15: 1.
- HARDIN, G. (1968): The Tragedy of the Commons. – *Science* 162: 1243–1248.
- HAUHS, M., LANGE, H. (2008): Die Waldbilder der Forstwissenschaften aus der Sicht der ökologischen Modellbildung. – *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179 (8/9): 154–160.
- HENTIG, H. VON (1971): Interdisziplinarität, Wissenschaftsdidaktik, Wissenschaftspropädeutik. – *Merkur* 25: 855–871.
- HIRSCH HADORN, G., HOFFMANN-RIEM, H., BIBER-KLEMM, S., GROSSENBACHER-MANSUY, W., JOYE, D., POHL, C.; WIESMANN, U., ZEMP, E. (eds.) 2008. Handbook of transdisciplinary research. – Springer, Heidelberg.
- HÖFFE, O. 1993. Moral als Preis der Moderne. – Suhrkamp.
- HOMER-DIXON, T. (2000): The ingenuity gap. Can we solve the problems of the future? – Alfred A. Knopf Canada, Toronto, 386 S.
- HOVERMAN, J. S. (1989): Scientists must punt or be damned. – *Search* 20(5): 147–148.
- JAEGER, J. (1998): Exposition und Konfiguration als Bewertungsebenen für Umweltgefährdungen. – *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU)* 11(3/4): 444–466.
- JAEGER, J. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. – Eugen Ulmer, Stuttgart. 447 S.
- JAEGER, J., SCHERINGER, M. (1998): Transdisziplinarität: Problemorientierung ohne Methodenzwang. – *GAIA* 7(1): 10–25.
- JAEGER, J., SCHERINGER, M. (2006): Einführung: Warum trägt die Umweltforschung nicht stärker zur Lösung von Umweltproblemen bei? Ausgangstext zum Themenschwerpunkt Umweltforschung. – *GAIA* 15(1): 20–23.
- JAEGER, J.A.G., BERTILLER, R., SCHWICK, C., MÜLLER, K., STEINMEIER, C., EWALD, K.C., GHAZOUL, J. (2008): Implementing landscape fragmentation as an indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (MONET). – *Journal of Environmental Management* 88(4): 737–751.
- JAHN, T., KEIL, F. (2006): Transdisziplinärer Forschungsprozess. – In: BECKER, E., JAHN, T. (Hrsg.): Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. – Campus, Frankfurt am Main, S. 319–329.
- JAHN, T., E. SCHRAMM. (2006): Wissenschaft und Gesellschaft. – In: BECKER, E., JAHN, T. (Hrsg.): Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. – Campus, Frankfurt am Main, S. 96–109.
- KRIEBEL, D., TICKNER, J., EPSTEIN, P., LEMONS, J., LEVINS, R., LOECHLER, E.L., QUINN, M., RUDEL, R., SCHETTLER, T., STOTO, M. (2001): The precautionary principle in environmental science. – *Environmental Health Perspectives* 109(9): 871–876.
- LOW, R. (1987): Ethik und Technik. – In: LÖBBE, H. (Hrsg.): Fortschritt der Technik – gesellschaftliche und ökonomische Auswirkungen. – Honnefer Protokolle Bd. 3, R. v. Decker's Verlag, S. 29–48.
- LUBCHENCO, J., OLSON, A.M., BRUBAKER, L.B., et al. (1991): The sustainable biosphere initiative: An ecological research agenda. – *Ecology* 72: 371–412.
- MERTON, R. (1985): Entwicklung und Wandel von Forschungsinteressen – Aufsätze zur Wissenschaftssoziologie. – Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- MIEG, H. A. (2001): Umwelt und Profession – Ein Status-Bericht aus der Schweiz. – *GAIA* 10(3): 182–189.
- MITTELSTRASS, J. (1989): Der Flug der Eule – Von der Vernunft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie. – Suhrkamp, Frankfurt am Main.

- MOROSINI, M. (2006): Umweltproblemforschung heißt auch Aufklärung. – GAIA 15: 110–114.
- MÜLLER-HEROLD, U. (2001): Umwelt und Beruf. Zur Professionalisierung im Umweltbereich. – GAIA 10(3): 161–162.
- MYERS, N. (1995): Environmental Unknowns. – Science 269: 358–360.
- ORR, D. (1994): Earth in mind. On education, environment, and the human prospect. – Washington, Island Press, 221 S.
- OSTROM, E. (1990): Governing the commons. The evolution of institutions for collective action. – Cambridge University Press, 280 S.
- PERROW, C. (1987): Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Grosstechnik. – Reihe Campus, Frankfurt/New York (engl. Original 1984: „Normal accidents. Living with high-risk technologies.“) 434 S.
- PETERMAN, R.M., M'GONIGLE, M. (1992): Statistical power analysis and the precautionary principle. – Marine Pollution Bulletin 24(5): 231–234.
- PETERSON, C.H. (1993): Improvement of environmental impact analysis by application of principles derived from manipulative ecology: Lessons from coastal marine case histories. – Australian Journal of Ecology 18: 21–52.
- PICHT, G. (1989): Der Begriff der Natur und seine Geschichte. – Klett-Cotta, Stuttgart.
- PRIMAS, H. (1992): Umdenken in der Naturwissenschaft. – GAIA 1(1): 5–15.
- QUINN, D. (1992): Ishmael. An adventure of the mind and spirit. – Bantam/Turner, New York etc., 266 S.
- RENN, O. (2005): Risk governance: towards an integrative approach. – International risk governance council, Geneva. White paper no 1. Online: www.irgc.org (abgerufen am 10.12.2009).
- RENN, O. (2008): Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World. – Earthscan, London, 455 S.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN – SRU (1998): Umweltgutachten 1998. – Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- SCHÄFER, L. (1993): Das Bacon-Projekt. Von der Erkenntnis, Nutzung und Schonung der Natur. – Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- SCHERINGER, M. (1996): Persistence and spatial range as endpoints of an exposure-based assessment of organic chemicals. – Environmental Science & Technology 30: 1652–1659.
- SCHERINGER, M. (2000): Globale Verteilung. – In: SCHRÖDER, W., FRÄNZLE, O., MÜLLER, F. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Kap. VI-2.1.12, 1–18. – ecomed, 1. Aufl. 1997.
- SCHERINGER, M. (2002): Persistence and Spatial Range of Environmental Chemicals. – Wiley-VCH, Weinheim. 294 S.
- SCHERINGER, M., BÖSCHEN, S., JAEGER, J. (2001): Wozu Umweltforschung? – Über das Spannungsverhältnis zwischen Forschungstraditionen und umweltpolitischen Leitbildern. Teil I: Das Beispiel „Ökologische Chemie“ – GAIA 10(2): 125–135.
- SCHERINGER, M., FIEDLER, H., SUZUKI, N., HOLOUBEK, I., ZETZSCH, C., BERMAN, A. (2006): Initiative for an international panel on chemical pollution (IPCP). – Environmental Science and Pollution Research 13(6): 432–434.
- SCHERINGER, M., JAEGER, J. (2008): Umweltforschung in der Krise? Fazit und Ausblick. Abschlusstext zum Themenschwerpunkt Umweltforschung. – GAIA 17(1): 31–35.
- SCHINDLER, D.W. (1976): The impact statement boondoggle. – Science 192, No. 4239, 509.
- SCHINDLER, D. (2010): Tar sands need solid science. – Nature 468: 499–501.
- SCHUPP, D. (2005): Umweltindikator Landschaftszerschneidung – Ein zentrales Element zur Verknüpfung von Wissenschaft und Politik. – GAIA 14(2): 101–106.
- SCHWICK, C., JAEGER, J., BERTILLER, R., KIENAST, F. (2010): Zersiedelung der Schweiz – unaufhaltsam? Quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung. Bristol-Schriftenreihe, Haupt-Verlag, Bern/Stuttgart/Wien. 114 S. und 4 Karten.
- STÄRK, G. (2007): Vom Umweltwissen zum Umwelthandeln: Von den Ingenieurwissenschaften lernen. Reaktion auf den Schwerpunkt Umweltforschung in GAIA 15/1 und GAIA 15/2 (2006). – GAIA 16: 170–175.
- SUTHERLAND, W.J., ARMSTRONG-BROWN, S., ARMSWORTH, P.R., und 36 weitere Autoren (2006): The identification of 100 ecological questions of high policy relevance in the UK. – Journal of Applied Ecology 43: 617–627.
- TURNER, G.M. (2008): A comparison of *The Limits to Growth* with 30 years of reality. – Global Environmental Change 18: 397–411.
- WEHLING, P. (2006): Im Schatten des Wissens? Perspektiven der Soziologie des Nichtwissens. – UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz. 362 S.
- WEINBERG, A. (1972): Science and trans-science. – Minerva 10: 209–222.
- WEIZSÄCKER, C. VON und E. U. VON (1984): Fehlerfreundlichkeit. – In: KORNWACHS, K. (Hrsg.): Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität: Zur Theorie der offenen Systeme. – Campus, Frankfurt/Main und New York, S. 167–201.
- WEIZSÄCKER, C. VON und E. U. VON (2008): Fehlerfreundlichkeit: Eigenschaft alles Lebendigen, Technikkriterium, Zivilisationsleistung. – Erwägen Wissen Ethik 19(3): 291–299.
- WBGU WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (1999): Welt im Wandel. Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998. – Springer, Heidelberg und Berlin.

