

## Schwerpunktthema: Die Bedeutung der Zeit in den Umweltwissenschaften

**Teil I:** Die Vernachlässigung der Zeit in den Umweltwissenschaften. Beispiele – Folgen – Perspektiven  
**Teil II:** Die Umweltwissenschaften im Kontext von Zeit. Begriffe unter dem Aspekt der Zeit  
**Teil III:** Die Vielfalt der Zeit in den Umweltwissenschaften. Herausforderung und Hilfe

## Die Bedeutung der Zeit

**Teil I: Die Vernachlässigung der Zeit in den Umweltwissenschaften**  
**Beispiele – Folgen – Perspektiven**

Klaus Kümmerer

Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Hugstetterstr. 55, D-79106 Freiburg

### Zusammenfassung

In vielen Disziplinen, z.B. in der Philosophie, der Ökonomie und den Sozialwissenschaften hat die Auseinandersetzung mit dem Phänomen Zeit eine lange Tradition. Im Gegensatz dazu fand Zeit in den Umweltwissenschaften bisher noch nicht ausdrücklich die notwendige Aufmerksamkeit, obwohl ihre Bedeutung vielen in den Umweltwissenschaften Tätigen bekannt ist. Es soll deshalb verdeutlicht werden, in welchen Bereichen der Einbezug der Zeit in Ökologie und insbesondere Ökotoxikologie neue, veränderte Zugänge eröffnen kann. Dies betrifft beispielsweise unsere Vorstellung von Gleichgewicht und „gesunden“ Ökosystemen, aber auch praktische Auswirkungen unseres Tuns wie das „Ozonloch“, den Treibhauseffekt oder Hochwässer. Es ist aber nicht zuletzt von grundsätzlicher Bedeutung für unser wissenschaftliches Selbstverständnis und das sich daraus ableitende Instrumentarium, auch für die Umweltwissenschaft. Durch die Berücksichtigung der Zeit ergeben sich beispielsweise auch neue Zugänge für Zeitskalen und Rhythmen von innerer und äußerer Natur sowie menschlichem Handeln im Kontext der Umwelt.

**Schlagwörter:** Eigenzeit von Ökosystemen; Gleichgewicht von Ökosystemen; Ökologie der Zeit; Ökotoxikologie, Bedeutung der Zeit; Ozonabbau, zeitlicher Ablauf; Rhythmus von natürlichen Prozessen; Umweltwissenschaften, Bedeutung der Zeit; Zeitskala von natürlichen und anthropogenen Prozessen

### Abstract

**Neglecting Time in Environmental Sciences:  
 Examples, Effects and Perspectives**

Reflecting on time and its nature has a long tradition in such fields as philosophy, economy and the social sciences. In environmental sciences, however, time has not been taken into sufficient consideration to date, although many ecologists are indeed aware of its importance. Because of the importance of time for mankind, nature and the surrounding world, an outline incorporating time is possible and would lead to new insights in environmental sciences. Here, our idea of a balanced or "healthy" ecosystem, or the consequences of our actions such as depletion of the ozone layer, the greenhouse effect or floods are taken into consideration. A reflection on time is a basic requirement for our understanding of environmental science, its tools and our environmental and political actions. A

consideration of time in environmental sciences means, among other things, to think of and to act in accordance with time scales and the rhythms of man and nature.

**Keywords:** Ecology of time; ecotoxicology, importance of time; environmental science, importance of time; rhythm, of natural processes; time scale of natural and anthropogenic processes; intrinsic time of ecosystems

### 1 Zeit als Zugang zu Ökologie und Ökotoxikologie

Zeit ist das grundlegende Bindeglied zwischen Natur, Technik, Ökonomie und Gesellschaft. Im Unterschied zum Raum wurde die Zeit bisher nicht vergleichbar systematisch in Ökologie und Ökotoxikologie bearbeitet, obwohl ihre Bedeutung sehr wohl bekannt ist (Rat der Sachverständigen für Umweltfragen 1994). Die große Bedeutung der Zeit für ökologische Fragestellungen als zentrale Schnittstelle zwischen kulturellen Systemen (einschließlich technischen sowie ökonomischen) und natürlichen Systemen wird erst seit kurzem *explizit* berücksichtigt (ADAM 1994; Enquête-Kommission 1994; GRASSL 1993; HABER 1995; HELD 1995; HELD und GEISSLER 1995, 1995; KÜMMERER 1993a, 1995a; SCHÖNWIESE 1995). Die Umweltkrise dürfte darin eine ihrer Ursachen haben (KÜMMERER 1995b; HELD und GEISSLER 1993).

Eine nachhaltige Entwicklung ist ohne die ausdrückliche Berücksichtigung der Zeit nicht denkbar. Beispielsweise nutzen wir Böden nicht nachhaltig, was in Fachkreisen durchaus schon länger bekannt ist (Rat der Sachverständigen für Umweltfragen 1994). Die Zeitskalen, innerhalb derer sich Böden neu bilden können, sind gemessen an der Rate des Bodenverbrauchs z.B. durch Überbauung und an der Rate der Bodendegradation, z.B. durch Verdichtung, Versalzung oder Erosion sehr groß (PIMENTEL et al. 1995). Böden können sich zwar erneuern, da sie aber im Vergleich zu den uns Menschen vertrauten Zeitskalen sehr geringe Bildungsraten aufweisen (SCHEINOST 1995), müßten wir sie

wie eine nicht nachwachsende Ressource nutzen. Die notwendigen Regenerationszeiten werden beispielsweise nicht berücksichtigt. Die Zeitskalen der Böden und die globale Dimension der Bodendegradation (PIMENTEL et al. 1995) lassen vermuten, daß es sich um eine Veränderung handelt, deren Bedeutung von der gleichen Größenordnung wie „Ozonloch“ und Treibhauseffekt sein dürfte. Dennoch wird in Politik und Öffentlichkeit dieser Problematik nicht der notwendige Stellenwert eingeräumt, obwohl Zeit ein wesentlicher systemarer Parameter (KÜMMERER 1993b) für die Beschreibung und das Verständnis von Ökosystemen ist.

## 2 Die vernachlässigte Zeit

### 2.1 Entrhythmisierung der Natur

#### Naturschutz

Naturschutz wurde lange Zeit als der *statische* Erhalt einzelner Arten oder Lebensräume verstanden. Dabei wurde übersehen, daß der Zustand, der erhalten werden sollte, selbst das Ergebnis einer natürlichen *Entwicklung* war. Naturschutz kann demnach nicht statisch sein (Rat der Sachverständigen für Umweltfragen 1994). Dennoch bestimmt die statische Naturvorstellung noch häufig die Praxis des Naturschutzes vor Ort. Es ist offensichtlich, daß Natur dynamisch ist. Sie verändert sich laufend, auch ohne das Zutun der Menschheit. Das Verschwinden einzelner Arten an einem Standort kann durchaus Teil der natürlichen Entwicklungsdynamik sein. Die Frage ist also nicht die nach der Veränderung, sondern muß die nach der Geschwindigkeit der Veränderung sein. Darum bedeutet Naturschutz die Schaffung und Erhaltung der Voraussetzungen dafür, daß sich Natur gemäß der Natur weiterentwickeln kann. Unter anderem ist dazu notwendig, für den Naturschutz ausgewiesene Flächen zu *vernetzen* (Rat der Sachverständigen für Umweltfragen 1994). Damit wird auch die Vielfalt der Zeiten in einem Natur„schutz“gebiet erhöht. Der Erhalt von funktionierenden Systemen und ihrer zeitlichen Dynamik, die Vielfalt ihrer Rhythmen und Zeitskalen, d.h. die Vielfalt der Chronotope muß gewährleistet werden.

#### Hochwasser

Daß die Schutzmaßnahmen der Vergangenheit in der Gegenwart eher zu häufigen und intensiven Hochwasserereignissen führten, ist zwischenzeitlich bekannt: Die neuere Geschichte des Hochwasserschutzes ist wie die des Naturschutzes ein Beispiel des Versuchs, Natur zu entrhythmisieren. Der Ausbau von Flüssen, z.B. ihre „Kanalisierung“, führte zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des Wassers. Die zeitlichen Puffer zwischen Niederschlag und Abfluß wurden kleiner. Der Ausbau der Flüsse führte zu einer Entrhythmisierung der Abflüsse. Die Möglichkeit des Zusammentreffens verschiedener Hochwasserwellen wurde wahrscheinlicher. Verstärkt wurde diese Entwicklung durch die Beseitigung von Rückhalteflächen. Im Nachhinein ist dies leicht einsichtig. Hätte man die Bedeutung der Zeiten von Anfang an mit einbezogen, wären die Probleme in der heutigen Form erst gar nicht entstanden.

Der Versuch, natürliche Rhythmen auszuschalten, die Natur zu entrhythmisieren und als außerhalb der Zeit existierend zu betrachten, brachte neue, in Häufigkeit und Intensität ungewohnte Hochwasser mit sich.

### 2.2 Nichtbeachtung von Systemzeiten: FCKW und „Ozonloch“

Das Ausmaß der Störung des natürlichen Ozongehaltes, seiner Dynamik und des Chemismus der Stratosphäre, wie sie sich heute darstellt, hat ihre Ursachen maßgeblich in den vor zwanzig Jahren freigesetzten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW). Denn diese Zeitspanne brauchen die FCKW etwa, um in die Stratosphäre zu gelangen. Obwohl schon vor zwanzig Jahren auf den möglichen Einfluß der FCKW auf den Chemismus der Atmosphäre hingewiesen wurde (MOLINA und ROWLAND 1974), wurde die jährliche Produktionsmenge der FCKW noch bis Ende der achtziger Jahre stetig erhöht. Der begründete Verdacht, daß FCKW zum „Ozonloch“ führen können, hat *nicht* zu einer Drosselung der Produktion geführt. Selbst als in der Fachwelt schon lange Zeit klar war, daß die FCKW eine wichtige Rolle bei der Ozonzerstörung spielen, haben die Hersteller und Anwender immer noch *eindeutige* Nachweise für diese Aussage verlangt. Mehr als die Hälfte der FCKW wurde in den 80er Jahren produziert.

Das „Ozonloch“ und die damit verbundenen Gefahren werden in den nächsten zwanzig Jahren zunehmen, auch wenn wir ab sofort diese Stoffe nicht mehr in die Atmosphäre freisetzen würden. Erst in 40 bis 60 Jahren wird die Ozonschicht in der Stratosphäre wieder annähernd den heutigen Zustand erreicht haben, vorausgesetzt es werden keine weiteren Stoffe, die zum Ozonabbau beitragen, in die Atmosphäre eingetragen (Enquête-Kommission 1990; ZELLNER 1992). Durch die Forderung, daß Nachweise für unerwünschte und unerwartete Folgen erst eindeutig sein müßten, bevor man handeln könne, wurde die Zeitdimension aus den Überlegungen ausgeschlossen, und damit Zeit zum (proaktiven) Handeln verschenkt.

Dieses Beispiel illustriert die Bedeutung zeitlich orientierten Denkens für den Schutz der Umwelt: Die Vergangenheit bestimmt die Zukunft mit. Die Entscheidung, FCKW zu produzieren und anzuwenden, ist hinsichtlich ihrer Auswirkungen in der Atmosphäre zunächst (?) „irreversibel“ geworden, das „Ozonloch“ wird in den nächsten 40 Jahren weiter zunehmen<sup>1</sup>.

Die Lehre aus der Anwendung der FCKW in die künftige Praxis umzusetzen, hieße, sehr viel vorsichtiger zu sein bei

<sup>1</sup> Um in der Umwelt unerwünschte Stoffe zu identifizieren, wird neben der Persistenz die irreversible Schädigung von Ökosystemen oder Organismen häufig gebraucht. Allerdings ist bei Berücksichtigung von Zeiten zumindest eine differenzierte Betrachtung notwendig. In den 40 Jahren, die vergehen, bis die Wirkung von FCKW wieder auf dem heutigen Stand ist, verändert sich die Welt ohnehin. Der Ausgangszustand kann also auch nach dieser Zeit nicht wieder hergestellt werden. Von Irreversibilität zu sprechen, bedeutet genau genommen dem Newton'schen Zeitverständnis anzuhängen und anzunehmen, daß es Reversibilität gibt. Dies würde bedeuten, daß es *de facto* eine Welt oder Teile von ihr außerhalb der Zeit gäbe. Der Begriff Irreversibilität kann nur dazu dienen, darauf aufmerksam zu machen, daß Vorgänge ausgelöst werden und Systemveränderungen schneller ablaufen, als das zu erwarten und aus menschlicher Sicht zu wünschen ist. Die Vermeidung irreversibler Veränderungen als aus der Natur ableitbares Handlungsprinzip zu verstehen, hieße einem naturalistischen Fehlschluß zu erliegen.

der Anwendung neuer Technologien und Produkte oder bei der Freisetzung von Stoffen in die Umwelt. Aus den Beispielen zu lernen, hieße, die grundlegende Bedeutung der Zeitlichkeit ökologischer, aber auch ökonomischer und sozialer Systeme stärker zu berücksichtigen. Proaktives Handeln hätte bedeutet, die Unschärfe von Ursache-Wirkungsketten in komplexen Systemen und ihre langfristigen Folgen zu berücksichtigen und deshalb die Produktion während der achtziger Jahre aus Vorsorge in deutlich geringerem Umfang zu steigern, als es tatsächlich geschah. Mit dem „Montrealer Protokoll“ wurde ein weltweiter Ausstieg aus der FCKW-Produktion beschlossen, bevor der endgültige kausale Nachweis einer Schädigung der Atmosphäre vorlag. Die Kenntnisse, die Grundlage des „Montrealer Protokolls“ sind, waren aber schon Jahre zuvor vorhanden. Eine entsprechende Vereinbarung kam aber nicht zuletzt aufgrund der Zeitskalen der notwendigen politischen Prozesse nicht zustande. Nicht nur die Zeitskala der Atmosphärenvorgänge wurde nicht beachtet, auch die besser bekannten der politischen Ebene. Dadurch konnten, in der irrigen Annahme, daß ja noch genügend Zeit vorhanden sei, die Zeitskalen der Atmosphärenvorgänge erst ihre weitreichende und nun den Fortgang der Dinge bestimmende Bedeutung erlangen. Echtes proaktives Handeln hätte früher eingesetzt und die zu berücksichtigenden Zeitskalen sowie ihre Verschränkungen beachtet. Zusätzlich ist festzuhalten, daß die Verwendung von FCKW in Deutschland zwar ab 1995 verboten ist (in der EU erst ab dem Jahr 2000), weltweit aber erst ab 2005. Wie die Ersatzstoffe Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) zu bewerten sind, ist noch offen.

### 3 Gleichgewichte sind dynamisch

Natürliche Systeme können sich nur weiterentwickeln, wenn sie sich nicht im Gleichgewicht befinden (EIGEN und WINKLER 1983). Der Begriff des Gleichgewichts wird in der ökologischen Fachliteratur allerdings uneinheitlich gebraucht (JAX et al. 1993). Gemeinsam ist den meisten dieser Vorstellungen die Idee eines im wesentlichen statischen Gleichgewichts. Häufig wird der Begriff in der Ökologie als Synonym für Stabilität, für nicht stattfindende Änderung, für Konstanz in der Zeit gebraucht. Ebenso wird das Wort „ökologisch“ in der öffentlichen Diskussion verwendet. Der Ursprung der statischen Gleichgewichtsvorstellung liegt in der klassischen Mechanik und der Thermodynamik. Allerdings kommt Zeit gerade durch die Thermodynamik mit dem zweiten Hauptsatz über die Frage nach dem Unterschied zwischen Zukunft und Vergangenheit ins Spiel (VON WEIZÄCKER 1939; MÜLLER 1972). Die Thermodynamik ist ein Konzept der makroskopischen Beschreibung. Es sind nur die Anfangs- und Endzustände auf der makroskopischen Ebene einer Entwicklung von Bedeutung, nicht jedoch Zwischenzustände oder mikroskopische Vorgänge. Thermodynamik läßt nur Aussagen darüber zu, ob Vorgänge wie z.B. chemische Reaktionen von selbst ablaufen können oder nicht, und wo sich das Reaktionsgleichgewicht einstellen wird. Thermodynamik kann keine Aussage darüber machen, *wann und wie schnell* thermodynamisch mögliche Reaktionen ablaufen werden.

Die Vorstellung vom Gleichgewicht ist in weiten Bereichen durch die Thermodynamik bestimmt. Der makroskopisch sichtbare Gleichgewichtszustand erscheint unveränderlich. Die ihn bestimmenden, mikroskopischen Gleichgewichte weisen aber Schwankungen (Fluktuationen) auf. Nur im zeitlichen Mittel und in der Gesamtheit der ablaufenden Reaktionen ist der makroskopische Gleichgewichtszustand vorhanden. Die makroskopische Stabilität resultiert nicht aus einer mikroskopischen Starrheit, sondern aus Flexibilität der mikroskopischen Dynamik (dynamische Stabilität). Überschreiten die mikroskopischen Fluktuationen gewisse Grenzen, so wird sich auch makroskopisch eine andere Gleichgewichtslage einstellen. Dies gilt auch für Ökosysteme (HOLLING 1973). In ihnen sind die erreichten „Gleichgewichte“ nur fiktive Zustände, um die das System schwankt. Sie sind nicht von Dauer, sondern die Systeme entwickeln sich weiter, wie z.B. die Sukzession in einem Waldökosystem deutlich vor Augen führt. Nur wenn die Zeitskala von Veränderungen im Vergleich zu den uns vertrauten Zeitskalen langsam geschehen, erscheinen sie als Gleichgewichte oder als sich auf einen festen Endpunkt hin entwickelnd. Auch der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1994) weist auf die Zeitbezogenheit von ökologischen Gleichgewichten hin.

Vor allem die technisch-wissenschaftlich geprägte Vorstellung, daß natürliche Systeme oder „die Natur“ sich im Lauf der Zeit nicht ändern, bestimmt noch immer in vielerlei Hinsicht unser Denken und Handeln, nicht nur in der Ökonomie: Ziel des Umwelt- und Naturschutzes ist die Bewahrung oder Wiederherstellung des „ökologischen Gleichgewichts“. Auch die Vorstellung von Gesundheit und „gesunden Ökosystemen“ (CONSTANZA et al. 1992, RAPPORT et al. 1995) ist durch das Bild vom statischen Gleichgewicht geprägt, obwohl die Vorstellung „gesunder“ Ökosysteme nicht unumstritten ist (SUTER 1993, Rat der Sachverständigen für Umweltfragen 1994).

*Entwicklung* ist aber Voraussetzung allen Lebens. Zeitlich begrenzte Stabilität schließt Entwicklung nicht aus, sondern ermöglicht erst eine Entwicklung von Systemen. Entwicklung bedeutet Veränderung in der Zeit. Die geschieht allerdings selten in sichtbaren Sprüngen, d.h. es handelt sich im Vergleich zur Zeitskala des Systems oder des Beobachters *meist* nicht um kurzzeitige, sondern längerfristige Veränderungen. Die Grundlagen für das Verständnis der „Dynamik komplexer Systeme“ wurden schon von HOLLING (1973) beschrieben. Es ist eine Frage des Verhältnisses der Zeitskalen der betrachteten Prozesse und Systeme sowie der betrachteten (beobachteten) Zeiträume, ob Entwicklungen (Dynamik) oder Zustände (Statik) wahrgenommen werden; gleiches gilt für die Frage der Irreversibilität von Veränderungen (KÜMMERER 1993a).

## 4 Zeit der Natur, Wissenschaft und Technik

### 4.1 Die „zeitlose“ Naturwissenschaft

Der kreative Prozeß in der Wissenschaft, der letztlich Voraussetzung für eine abschließende Erkenntnis ist, unterscheidet sich wesentlich von dem, was sich später als Er-

gebnis dieses Prozesses in Form eines schriftlich fixierten, für möglichst lange Zeit, d.h. letztlich anscheinend zeitlos gültigen Ergebnisses, wiederfindet. Auf die Tendenz zur Vereinfachung bei der wissenschaftlichen Hypothesenbildung (Auswahl einfacher Tatsachen) wurde schon von dem Mathematiker Poincaré in seinem Buch „Wissenschaft und Hypothese“ Ende des letzten Jahrhunderts hingewiesen. Auch in der Quantentheorie ist das Ergebnis eines Experiments von der vom Beobachter gewählten Versuchsanordnung abhängig (z.B. Welle-Teilchen-Dualismus des Elektrons). Zu ähnlichen Schlußfolgerungen kommt der Konstruktivismus (WATZLAWICK 1985). Daß sich unser Naturverständnis im wesentlichen auf Objekte stütze, die sich repetitiv verhalten und deshalb von der Naturwissenschaft bevorzugte Untersuchungsgegenstände seien, wurde schon von Bergson vermutet (BERGSON 1912). Dadurch werde die subjektive Erfahrung, die in erster Linie Erfahrung von Dauer und Kreativität sei, ausgegrenzt. Dies gilt auch für die Bedeutung der Zeit. Entgegen unserer alltäglichen Erfahrung denken wir in wissenschaftlichen und technischen Zusammenhängen meist immer noch wie Newton: Zeit ist ein Skalar und kein Vektor: Zukunft und Vergangenheit erscheinen austauschbar. Aus den genannten Gründen steht der materielle, exakt quantifizierbare und wiederholbare Effekt im Zentrum unseres technisch-wissenschaftlichen Weltbilds. „Das zeitlich Unveränderliche, das Beharrende wird als Materie begriffen“ (DÜRR 1988). Das Unveränderliche, das Dauerhafte ist in ökologischen, ökonomischen und sozialen Systemen aber gerade nicht die Regel. Deshalb erscheint es unglücklich, den Begriff „sustainable development“ als nachhaltige oder gar dauerhafte Entwicklung zu übersetzen. Er sollte eher im Sinne von *zukunftsoffene* Entwicklung verstanden werden: Auch künftig sind Entwicklungen und freie Entscheidungen noch möglich, z.B. den Gebrauch von Energie, Rohstoffen und Materialien oder den Lebensstandard betreffend.<sup>2</sup>

#### 4.2 Reproduzierbarkeit und Naturgesetz

Wissenschaft und Technik leiten aus Beobachtungen der Natur Gesetzmäßigkeiten ab. Die Erscheinungen der Natur müssen dazu von ihrer Umgebung isoliert werden. Die Untersuchungsgegenstände sind von anderen Systemen, die mit ihnen in Wechselbeziehung stehen oder deren Teil sie sind, oft weitgehend isoliert („dekontextualisiert“). Die wesentlichen „Störungen“, d.h. die Wechselwirkungen mit anderen Systemen, werden während der Beobachtung und Messung mehr (Labor) oder weniger stark (z.B. Mesokosmos, Technikum) ausgeblendet, wie bei der Untersuchung der Auswirkungen *einer* Chemikalie auf *einen* Organismus *einer* Trophiestufe. Das Isolieren der Phänomene bzw. ihre isolierte Wahrnehmung ist Voraussetzung dafür, daß überhaupt ein reproduzierbares Meßergebnis erhalten werden kann (DÜRR 1988; MÜLLER 1972; VON WEIZSÄCKER 1990;

<sup>2</sup> Genau betrachtet handelt es sich beim Begriff „sustainable development“ um eine Rückübersetzung ins Deutsche, wo er als Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft gebraucht wird. Dabei stand jedoch auch der ökonomische Gesichtspunkt im Vordergrund. Der Holztertrag sollte gesichert werden, indem an einer bewährten Methode festgehalten wird, die beispielsweise die Anlage von Monokulturen nicht ausschloß. Insofern vermittelt auch der Begriff „Nachhaltigkeit“ Statik und den Versuch die Entwicklung der Natur auszublenden.

EIGEN und WINKLER 1983). Das Ziel, Ergebnisse in reproduzierbare, möglichst exakte Naturgesetze zu fassen, führt dazu, daß Ergebnisse und Gesetzmäßigkeiten „zeitlichen“ Charakter haben.<sup>3</sup>

Infolgedessen kann menschliches Verhalten, das auf „zeitlichen“ Voraussetzungen und Ergebnissen beruht, in zeitlicher Hinsicht nicht an die natürlichen Rahmenbedingungen angepaßt sein.

#### 4.3 Der Charakter von Messungen

Häufig ist der Zeithorizont der Messung oder Untersuchung ein anderer als der, auf den die gewonnenen Ergebnisse angewendet werden sollen. Chemische Analysen und biologische Wirkungsanalysen liefern nur Informationen über *einen* Zustand zu *einem* Zeitpunkt. Beispielsweise können Stoffarten und -mengen nur über die Analyse zu bestimmten Zeitpunkten erfaßt werden, ebenso deren Wirkung. Dies bedingt meist die selektive Erfassung einiger weniger Stoffe oder Stoffgruppen. Auch in der Auswahl der Parameter, die zur Erfassung einer bestimmten Wirkung dienen, ist eine Selektion enthalten, wie möglichst konstante und leicht reproduzierbare Empfindlichkeit und Wirkung. Tests mit Organismen liefern gegebenenfalls zwar Zeitreihen einer Entwicklung, jedoch sind auch die Testorganismen aus dem Zusammenhang ihres Lebensumfeldes und damit dem Netz der Zeiten gerissen.

Aus dem Blickwinkel der Zeit betrachtet, stützt sich die Beurteilung des Verhaltens von Chemikalien in der Umwelt derzeit noch maßgeblich auf eher praxisferne Untersuchungen. Sie geben zwar Hinweise auf Wirkungen, aber die aus diesen Wirkungen resultierenden Langzeitveränderungen in Ökosystemen auf systemarer Ebene, wie Veränderungen infolge anderer Populationsdynamiken werden kaum erfaßt. Das Erfassen der Veränderung von Strukturen und Funktionen von Ökosystemen infolge des Eintrags von Stoffen wird bisher oft vernachlässigt. Dies gilt tendenziell auch für Studien an Meso- oder Makrokosmen (ODUM 1984). Stoff- und Energieströme oder gar funktionale Zusammenhänge zwischen verschiedenen Organismen und Systemen können in Experiment und Modellierung nicht oder nur unzureichend nachgestellt und erfaßt werden. Nicht zuletzt deshalb rückt der *Zustand* der Umwelt zum Zeitpunkt der Messung und nicht ihre *Dynamik* in den Mittelpunkt des Interesses.

Ihrem Charakter nach „zeitliche“ Untersuchungen führen dazu, daß die Möglichkeit fehlt, zeitliche Unverträglichkeit auf systemarer Ebene zu erfassen. Die Dynamik der Natur kann durch Messungen nur schwer erfaßt werden, da es sich bei den wichtigen Parametern um nur indirekt zugängliche, in der Zeit sich ändernde Größen handelt. Dies scheint trivial zu sein. Die praktische Bedeutung von Kurzzeituntersuchungen für (umwelt)politisches Handeln und die oft überzogenen Erwartungen der Öffentlichkeit gegenüber Ökologie und Ökotoxikologie zeigen aber, daß dies eben nicht so klar ist. Langzeiterfahrungen sind nur

<sup>3</sup> Es gibt in der uns bekannten Welt nichts außerhalb oder ohne Zeit, sondern alles ist in der Zeit. Gleichwohl glauben wir aufgrund der uns vertrauten Zeitskalen, dies wäre möglich.

über die Erfassung von Zeitreihen möglich<sup>4</sup> deren Umfang nicht zuletzt durch die Zeitskalen der beteiligten Systeme bestimmt wird.

#### 4.4 Kritik am nachsorgenden Umweltschutz

In der Zeit, die für Messung, Auswertung und Bewertung benötigt wird, hat sich ein System je nach seiner Dynamik bereits mehr oder weniger stark verändert. Es gilt aber auch für Maßnahmen, die statischen und nachsorgenden Charakter haben wie der bisher betriebene, meist nachsorgende, technische Umweltschutz. Diese Art von Maßnahmen muß daher zwangsläufig immer zu spät kommen. Technischer Umweltschutz *beruht* bisher auf dem *Stand* der Technik, nicht auf einem aus ökologischen Gründen anzustrebenden *Ziel*. Durch technische Maßnahmen werden vielschichtige Zusammenhänge und Abhängigkeiten zeitlicher Entwicklung nicht systematisch berücksichtigt. Der bisherige technische Umweltschutz, der „azeitlichen“ Charakter aufweist, muß zwangsläufig immer auf Probleme zielen, deren Ursachen in der Vergangenheit und nicht in der Gegenwart liegen. Er kann nicht vorausschauend sein. Als Folge der dadurch bedingten nahezu ausschließlichen Wahrnehmung dessen, was war, zielen ergriffene Maßnahmen im allgemeinen auf die vergangenen Zustände eines Ökosystems und nicht auf die gegenwärtigen oder künftigen Entwicklungen. Ein Grund dafür liegt in dem Umstand begründet, daß technischer Umweltschutz und produktionsintegrierter Umweltschutz immer großmaßstäblich betrieben wird: entweder große Anlagen oder Großserien und beides gleichzeitig. Beides erfordert u.a. hohe Investition für Herstellung und Betrieb. Damit kommen aber große ökonomische Zeitskalen (z.B. Amortisation der Investitionen) und soziale Zeitskalen (z.B. Erhalt der mit der Produktion verbundenen Arbeitsplätze) zum tragen. Problemlösungen werden für einen längeren Zeitraum fest geschrieben und damit die Probleme eher erhalten als Anstrengungen zu ihrer Beseitigung unternommen. Alternativen könnten beispielsweise durch die Bionik geprägte und in die Natur besser eingebundene flexiblere Techniken sein.

## 5 Wechselwirkungen in Natur und Technik

Ein weiteres Kennzeichen der Technosphäre ist die beliebige und deshalb anscheinend zeitlose Wiederholung von Vorgängen oder Bewegungsabläufen. Erst durch starke, aber kurze Wechselwirkungen und Kopplungen mit möglichst geringer Unschärfe wird es möglich, massenhaft identische Produkte herzustellen. Starke, zeitlich kurze Wechselwirkungen von einheitlicher Dauer, die in der Labor- und Technikwelt bei Messung und Produktion erzwungen werden, sind in der Natur die Ausnahme (DÜRR 1988). In der Natur sind Wechselwirkungen zeitlich variabler Intensität die Regel. Technik und Wissenschaften haben demgegenüber den umgekehrten Ansatz: Wechselwirkungen sollen über eine möglichst genau definierte Zeit mit einer genau definierten Intensität stattfinden. Der Takt dominiert

in der Technik im Gegensatz zu den unschärferen und damit flexibleren Rhythmen der Natur. Die für Teile der technisch-wissenschaftlichen Wirklichkeit wie Labor, Konstruktionsbüro oder Produktion geltenden Gesetzmäßigkeiten werden früher oder später mit der Natur konfrontiert. Solche Konfrontationsstellen sind zum Beispiel Rohstoffentnahme, Energieverbrauch, Produkte und Abfälle. An den Berührungspunkten zwischen technischer, technisch-wissenschaftlicher und natürlicher Wirklichkeit treten dann notwendigerweise zeitliche Unverträglichkeiten auf. Dies gilt vor allem dann, wenn, wie derzeit noch üblich, seitens der Technik, Wissenschaft und Ökonomie oder sozialen Entwicklungen andere Zeitskalen vorgegeben werden, als die natürlichen Systemen eigenen (z.B. Geschwindigkeit des Rohstoffverbrauchs im Vergleich zu seiner Regeneration oder Neubildung).

## 6 Zeit in Ökologie und Ökotoxikologie

### 6.1 Zeitpunkt und Dauer

Die Einbeziehung der Zeit in ökologisch relevante Zusammenhänge ist notwendig, da *ein* wesentlicher Zugang zu systemaren Betrachtungen in Ökologie und Ökotoxikologie die Dimension der Zeit ist. Dies gilt sowohl für die Beschreibung von (Wald-)Ökosystemen (ULRICH 1993), als auch für die Erfassung, Beschreibung und Bewertung von Veränderungen in Ökosystemen. Ökosysteme sind durch *dynamische Stabilität* (Elastizität) gekennzeichnet (HOLLING 1973). Menschliche Eingriffe stören diese Art von Stabilität, indem sie in der Regel auf das Festhalten eines bestimmten Zustandes abzielen. Ihr Ziel ist eine statische Stabilität, die Kontrolle der Zeiten beispielsweise durch Ent-rhythmisierung oder Vorgabe von Zeitskalen. Sie ist durch das Zeitverständnis der klassischen Physik geprägt.

Zwei Aspekte von Zeit sind auch für die Umweltwissenschaften besonders hervorzuheben: Der *Zeitpunkt* und der *Zeitraum* (Zeitspanne, Dauer). Die Angabe eines *Zeitpunktes* erlaubt eine Aussage darüber, *wann* etwas geschieht, in welchem Entwicklungszustand beispielsweise ein Organismus mit einem Stoff konfrontiert wird. Liegt dieser Zeitpunkt in einer Wachstumsphase, werden die Folgen andere sein als wenn sich der Organismus oder betroffene Zellen in einer Ruhephase befinden. Mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Organismus in einer Wachstumsphase oder ein System in einer (instabilen) Änderungsphase betroffen sein wird, hängt maßgeblich von der Dauer der Stoffeinwirkung ab. Diese wiederum wird maßgeblich durch seine Lebens- und Verweildauer (Persistenz) im Ökosystem bestimmt. Die Wirkung von Xenoöstrogenen bzw. das Hormonsystem beeinflussenden Substanzen *beruht* maßgeblich in der zeitlichen Änderung von Vorgängen im Körper mit langfristigen Auswirkung beim Individuum und der Population (COLBURN et al. 1996).

Der Zeitpunkt und die Dauer eines Geschehens, sein Beginn und sein Ende haben also Einfluß darauf, welches die Folgen eines Ereignisses sein werden. Der Bedeutung des Zeitpunktes entsprechend gibt es für ihn in der griechischen Philosophie ein eigenes Wort: *Kairos* bezeichnet den günstigen oder glücklich gewählten Zeitpunkt. Im Gegensatz dazu wird für Zeit im Sinne von Dauer das Wort *Chronos* verwendet. Das

<sup>4</sup> Auch Computermodelle benötigen zu ihrer Kalibrierung und Validierung umfangreiche Datensätze, wenn sie realistische Ergebnisse liefern sollen

ist die Art von Zeit, die wir mit der Uhr (Chronometer) messen. Zeitdauer und Zeitpunkt sind aber relative Angaben, sie benötigen ein Vergleichssystem (FRASER 1991). Die *Dauer* macht eine Aussage darüber, *wie lange* ein Ereignis oder ein Einfluß andauert. Sowohl Zeitpunkt als auch Dauer sind implizit mit Geschwindigkeit, mit Änderung in der Zeit verknüpft: Beginn (Ursache), Dauer (Wirkung) und Ende (Ergebnis). Dies gilt es auch in der Ökologie und insbesondere der Ökotoxikologie stärker zu beachten.

## 6.2 Ökologie der Zeit

Unter dem Aspekt der Zeit betrachtet, zeigen in der Ökotoxikologie und Umweltchemie wichtige Kriterien neue Facetten. Bisher fehlt vor allem, die Erkenntnisse der Umweltwissenschaften mit zeitrelevanten Ergebnissen anderer Wissenschaften zusammenzubringen. Führt die Raumperspektive der Ökologie zur Landschaftsökologie, wäre für die Zeit komplementär dazu eine „Ökologie der Zeit“ zu entwickeln (ADAM et al. 1997). Allerdings sollten ökologisch relevanten Fragestellungen nicht einfach Zeitaspekte hinzugefügt werden. Dies hieße, die vor uns liegende Aufgabe zu verkennen. Vielmehr wird es darum gehen müssen, die natürliche und die kulturelle Zeitordnung besser zu verstehen und, darauf aufbauend, angemessene Zeitmaße für unseren Umgang mit der natürlichen Mitwelt und unserer eigenen Natur zu finden. Die „Ökologie der Zeit“ ist kein Generalschlüssel zur Lösung aller Umweltprobleme. Sie ermöglicht aber einen Zugang quer zur medialen, stofflichen und energetischen Betrachtungsweise. Neue Sichtweisen ergeben sich unter dem Aspekt der Zeit für unser Naturverständnis und die Art und Weise wie wir Ökologie und Ökotoxikologie betreiben. Dies betrifft für die Umweltwissenschaften wichtige Begriffe, beispielsweise Irreversibilität, Wirkung, Störung oder Elastizität. Die Bedeutung von systemaren Parametern wie inhärenten Systemzeiten, Eigenzeiten und Rhythmen von ökologischen Systemen für diese Systeme selbst, aber auch für die innere Natur des Menschen und seinen Umgang mit der äußeren Natur. Die Stoffwirtschaft und eine nachhaltige Entwicklung wird dadurch erst deutlich und ermöglicht auch langfristig angemessenes und erfolgreiches Handeln.

## 7 Literatur

- ADAM, B. (1994): Time watch. The social analysis of time. Oxford: Polity Press
- ADAM, B., K.A. GEISSLER, M. HELD, K. KÜMMERER, M. SCHNEIDER (1997): Time for the Environment. The Tutzing Project „Time Ecology“. *Time & Society*, 6, im Druck
- BERGSON, H. (1912): Schöpferische Entwicklung. Jena, zitiert nach DURR (1988)
- COLBURN, T., DUMANOWSKI, D., PETERSON MYERS, J. (1996): Die bedrohte Zukunft. Gefährden wir unsere Fruchtbarkeit und Überlebensfähigkeit? München, Droemer Knauer
- CONSTANZA, R., B.G. NORTON und B.D. HASKELL (Hrsg.) (1992): Ecosystem health. New goals for environmental management. Washington D.C.: Island Press
- DURR, H.-P. (1988): Das Netz des Physikers. Naturwissenschaftliche Erkenntnis in der Verantwortung. München: Carl Hanser
- EIGEN, M. und R. WINKLER (1983): Das Spiel. München: Piper, S. 164
- Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ (1990): Bonn: Deutscher Bundestag.
- Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ (1994): Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn: Economica.
- FRASER, J.T. (1991): Die Zeit. Auf den Spuren eines vertrauten und doch fremden Phänomens. München: Deutscher Taschenbuch Verlag
- GRASSL, H. (1993): Umwelt- und Klimaforschung. Von ungewohnten Zeit- und Raumskalen für Politik und Öffentlichkeit. In: HELD, M. und K. GEISSLER (Hrsg.): Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße. S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 75–84, Stuttgart, 1993
- HABER, W. (1995): Zeitmaße der Natur – ökologische Betrachtungen zur Zeit. In: HELD, M. und K. GEISSLER (Hrsg.): Von Rhythmen und Eigenzeiten. Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 31–41
- HELD, M. (1995): Rhythmen und Eigenzeiten als angemessene Zeitmaße. Perspektiven einer Öko-sozialen Zeitpolitik. In: HELD, M. und K.A. GEISSLER (Hrsg.): Von Rhythmen und Eigenzeiten. Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 169–191
- HELD, M. und K.A. GEISSLER (Hrsg.) (1993): Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße.: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart
- HELD, M. und K.A. GEISSLER (Hrsg.) (1995): Von Rhythmen und Eigenzeiten. Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- HOLLING, C.S. (1973): Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1–23
- JAX, K; E. VARESCHI und G.-P. ZAUKE (1993): Ökosystemforschung Wattenmeer. Teilvorhaben Niedersächsisches Wattenmeer. Teilprojekt Entwicklung eines theoretischen Konzepts zur Ökosystemforschung Wattenmeer. Berlin: Umweltbundesamt Texte 47/93, S. 126
- KÜMMERER, K. (1993a): Zeiten der Natur – Zeiten des Menschen. In: HELD, M. und K. A. GEISSLER (Hrsg.) Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße. S. 85–104, Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- KÜMMERER, K. (1993b): Systemare Betrachtungen in der Ökotoxikologie. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 6, 1–2
- KÜMMERER, K. (1995a): Rhythmen in der Natur. Die Bedeutung von Eigenzeiten und Systemzeiten. In: HELD, M. und K. A. GEISSLER (Hrsg.): Von Rhythmen und Eigenzeiten. Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 97–118
- KÜMMERER, K. (1995b): The ecological impact of time. *Time & Soc.* 5, 209–235
- MOLINA, F.S. und ROWLAND, M.J. (1974): Stratospheric sink for chlorofluoromethanes, chlorine atoms catalyzed destruction of ozone. *Nature* 249: 810
- MÜLLER, A.M.K. (1972): Die präparierte Zeit. Der Mensch in der Krise seiner eigenen Zielsetzungen. Stuttgart: Radius
- ODUM, E.P. (1984): The mesocosm. *BioScience* 34: 558–562
- PIMENTEL et al. (1995): Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117
- SCHINOST, A. (1995): Entstehen, wachsen und vergehen. Von den Zeitmaßen der Ressource Boden. In: SCHNEIDER, M., K.A. GEISSLER und M. HELD (Hrsg.): Von Lebewesen und Lebensmitteln – Zeit-Fraß. Zur Ökologie der Zeit in Landwirtschaft und Ernährung. Sonderheft Politische Ökologie 9, S. 35–38
- SCHÖNWIESE, C.D. (1995): Klima-Rhythmen. Phänomene, Ursachen und Störungen. In: HELD, M. und K.A. GEISSLER (Hrsg.): Von Rhythmen und Eigenzeiten. S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 81–96, Stuttgart, 1995
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1994): Umweltgutachten 1994. Stuttgart: Metzler-Poeschel
- RAPPORT, G.J., C.L. GAUDET und P. CALOW (Hrsg.) (1995): Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems. New York Berlin: Springer
- SUTER, G.W. (1993): A critique of ecosystem health concepts and indices. *Environ. Toxicol. Chem.* 12: 1533–1539
- ULRICH, B. (1993): Prozeßhierarchie in Waldökosystemen. Ein integrierender ökosystemtheoretischer Ansatz. *Biologie in unserer Zeit* 23: 322–329
- WATZLAWICK, P. (1985): Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus. München: Piper
- VON WEIZSÄCKER, C.F. (1939): Der zweite Hauptsatz und der Unterschied zwischen Zukunft und Vergangenheit. *Annalen der Physik*: 36, 275
- VON WEIZSÄCKER, C.F. (1990): Zum Weltbild der Physik. Stuttgart: S. Hirzel Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 173
- ZELLNER, R. (1992): Ozonabbau in der Stratosphäre. *Nachr. Chem. Tech. Lab.* 40: 801