XIV. Die Grenzüberschreitungen?

- Das Leben, die Umwelt und der Mensch -

Michelangelos „Erschaffung des Adam“ (ein Ausschnitt)
(Quelle: pro-medienmagazin.de)

Vorbemerkung: Der Paradigma-Begriff

1 Der systemische Denkansatz

1.1 Der Systembegriff

1.2 Das offene System

2 Der ökologische Denkansatz

2.1 Der Begriff Ökologie

2.2 Das Ökosystem

3 Die Evolution des Systems Erde

3.1 Die frühe Entwicklung

3.2 Die biologische Evolution

3.3 Die Dynamik der Biosphäre

4 Die Erde als Ökosystem

5 Der Mensch (die Anthroposphäre)

5.1 Die evolutive Entstehung

5.2 Die historische Entwicklung

5.3 Die Raumnutzung

6 Das verantwortliche Handeln

6.1 Die ethische Orientierung

6.2 Die Konkretisierung durch Wissenschaft

6.3 Das Umwelthandeln

7 Die offene kulturelle Evolution

Ergebnis der Klimakonferenz von LIMA 2014

Die Menschheit schaut in einen Abgrund und findet ihn nicht abstoßend.

Hans Langer

2014

Vorbemerkung: Der Paradigma-Begriff

Ein Paradigma spiegelt grundsätzliche Annahmen, Vorstellungen und Sichtweisen wider, die es ermöglichen, für eine Vielzahl von Fragestellungen Lösungen zu bieten. In der Wissenschaft verwendet man dabei auch oft Modellvorstellungen, anhand derer man Phänomene zu erklären versucht.

1 Der systemische Denkansatz

Die moderne Gesellschaft hat aus Wissenschaft, Logik und Reduktionismus viel Nutzen gezogen und schwierige Probleme sind durch diese Hilfsmittel gelöst worden. Doch die Welt ist ein äußerst komplexes System in dem lineare und sektorale Lösungen aber letztlich nur weitere Probleme schaffen. Entgegen dem immer wieder geäußerten Anspruch ist auch die systemische Sichtweise sicherlich kein universell gültiges Paradigma. Aber immerhin handelt es sich um eine Denkweise, die gegenüber dem bisherigen Verständnis weitergehende Erkenntnis- und Handlungsmöglichkeiten zu erschließen vermag. In der Anmerkung zu dem nach ihrem Tod 2010 veröffentlichten Buch *„Die Grenzen des Denkens“* schreibt. D. H. MEADOWS: *„Systemisches Denken ist ein viel, viel weiteres Feld, als hier gezeigt wird… Ich will ihr Interesse wecken und ihnen hauptsächlich Grundlagen vermitteln, komplexe Systeme zu verstehen...“.*

Der folgende Abschnitt versucht Kernpunkte der systemischen Sichtweise zusammenfassend aufzuzeigen, durch die heute anstehende komplexe Leben-Umwelt-Probleme verständlicher und zugänglicher werden.

1.1 Der Systembegriff

Die Bezeichnung System leitet sich her vom griechischen Wort *systema* und bedeutet so viel wie das Zusammengestellte, Verbundene oder Zusammengeordnete. Die Bereiche der Sachverhalte, die ein System bilden können, sind unendlich groß und folglich unbestimmt. Der Begriff kann in unterschiedlichster Weise verwendet werden, sowohl für materielle Erscheinungen der erfahrbaren Welt als auch für logisch-theoretische Verknüpfungen sowie für Aussagen darüber. Die Bezeichnung System kann somit inhaltlich verschiedene Bedeutungen haben, die jedoch grundsätzlich immer einem durch Wechselbeziehungen zwischen Teilen verbundenen Ganzen entsprechen, das dadurch eine jeweils spezifische Struktur sowie ein entsprechendes charakteristisches Verhalten aufweist.

Im 20. Jahrhundert erfuhr der Begriff System eine Wiederbelebung. Das Konzept Allgemeine Systemtheorie geht auf den Biologen L. v. BERTALANFFY (1949, 1950, 1956) zurück. Seine Arbeiten bilden zusammen mit den Arbeiten zur Kybernetik von N. WIENER (1948, 1971) und W. R. ASHBY (1956, 1974, 1985) die Grundlagen für diesen Wissenschaftsansatzes. Das von H. MUTARANA und F. VARELA entwickelte Konzept der Autopoiese von Systemen erweist sich inzwischen in diesem Zusammenhang als zentrale und verbindende Überlegung (F. VARELA 1979; F. VARELA, H. MATURANA, R. URIBE 1974; H. MATURANA 1982; H. MATURANA, F. VARELA 1987).

L . v . BERTALANFFY (1949, 1950) führte mit dem Systembegriff ein neues wissenschaftliches Paradigma ein. Der isolierten Betrachtung von Einzelphänomenen setzte er die Systembetrachtung entgegen. Gemeint ist damit ein geordnetes Ganzes als Menge von Elementen und deren Beziehungen untereinander. L. v. BETALANFFY spricht zudem von offenen Systemen und verbindet damit die Vorstellung einer organisierten dynamischen Komplexität, die einen Austausch mit der Systemumwelt voraussetzt und ermöglicht. Ein solches offenes System verfügt über variable Beziehungen seiner Elemente, wodurch es der Umwelt gegenüber reagieren und agieren kann. Solche Systeme können sich einer dynamischen Umwelt anpassen, auf sie reagieren und sich relativ stabilisieren. Offene Systeme können im Austausch mit ihrer Umwelt ihre Zustände variieren, ohne jedoch ihren jeweiligen Systemcharakter ändern zu müssen. L. v. BERTALANFFY konzipierte seine Vorstellung bezogen auf Lebewesen. Lebewesen als offene Systeme können aus ihrer Umgebung Energie aufnehmen und Entropie lokal umgehen. Sie sind in der Lage, ihre interne Organisation zu entwickeln und bei Umweltveränderungen diese selbst umzustellen. Diese Selbstorganisation gilt als entscheidendes Merkmal organisierter Komplexität.

N. WIENER (1949,1971) hat die Kybernetik als *„die Wissenschaft von Steuerung und Kommunikation in Lebewesen und Maschinen“* definiert. Die Kybernetik wurde als Regelungs- und Kommunikationstheorie konzipiert. Die auch für W. R. ASHBY (1974, 1985) im Mittelpunkt stehenden komplexen Systeme *„sind in einem solchen Ausmaß dynamisch und von so starker Interdependenz, dass die Veränderung eines Faktors sofort die Veränderung anderer, möglicherweise vieler anderer Faktoren verursacht“.* Von entscheidender Bedeutung werden die Art und der Umfang der das System determinierenden und beeinflussenden Faktoren gesehen. Die zentralen Fragen gelten den Mechanismen für Koordinierung, Regelung und Steuerung. Der Kybernetik geht es im Kern um das Verhalten (Erhaltung, Entwicklung) von Systemen und der dafür verantwortlichen Strukturen.

Ursprünglich hat sich L. v. BERTALANFFY gegen die Vermischung seiner Systemlehre und der Kybernetik ausgesprochen. Die seiner Meinung nach mechanistische Denkweise des von N. WIENER entwickelten kybernetischen Ansatzes hielt L. v. BERTALANFFY zur Beschreibung von Leben für nicht brauchbar. Heute wird die Bezeichnung Systemtheorie übergreifend und integrativ für beide Ansätze verwendet. Grundlage der von L. v. BERTALANFFY entworfenen Allgemeinen Systemtheorie sind die Ähnlichkeiten der Struktur, Ordnung und Organisation solcher offenen Systeme. Im Mittelpunkt des von N. WIENER entworfenen Konzeptes stehen die für das Funktionieren solcher Systeme verantwortlichen operativen Mechanismen.

Im Zusammenhang mit dem Prozess der Selbstorganisation vermerken H. HAKEN, A. WUNDERLICH (1986): *„Bekanntlich zeichnen sich diese faszinierenden Erscheinungen, die in physikalischen, chemischen und biologischen Systemen fern vom thermischen Gleichgewicht beobachtet werden, durch ihre besondere Vielfältigkeit und Komplexität aus. Spontan organisieren sich derartige Systeme selbst hin zu einem wohlgeordneten Verhalten auf einen makroskopischen Maßstab, das in vielen Fällen sogar direkt unseren Sinnen zugänglich wird. Die Vielfalt der geordneten Zustände reicht von verhältnismäßig einfachen räumlichen oder zeitlichen Organisationsformen bis zu komplizierten raum-zeitlichen Mustern und schließlich weiter zum Wechselspiel zwischen Ordnung und Funktion in komplizierten biologischen Syste-*

men". Die von H. MATURANA, F. VARELA (1987) entwickelte Vorstellung der Autopoiese weist den verantwortlichen operativen Strukturen die entscheidende Qualität zu. Das Konzept ist integraler Teil der Systemtheorie und maßgebliches Scharnier zwischen den beiden Grundansätzen. H. MATURANA und F. VARELA haben gezeigt, dass Autopoiese ein Ordnungsprinzip der Lebewesen ist und mit Selbstorganisation gleichgesetzt werden kann. Nach Ansicht der Autoren ist *„der Mechanismus, der Lebewesen zu autonomen Systemen macht, die Autopoiese; sie kennzeichnet Lebewesen als autonom"* (H. MATURANA, F. VARELA 1987). Autopoietische Systeme zeigen eine operative Geschlossenheit, d.h. eine Strukturveränderung kann nur aus dem System selbst heraus entstehen. Gemeint ist damit, dass vor dem Hintergrund stofflicher, energetischer und/oder informationeller Offenheit des Systems gegenüber der Umwelt Systemzustände nur systemintern bestimmt werden. Ein autopoietisches System kann deshalb als selbstorganisierend, selbstherstellend und selbsterhaltend beschrieben werden (G. ROTH 1986).
Mit dem Begriff System verbinden sich grundsätzlich heute die Ideen der Ordnung, Organisation und Anpassung einschließlich ihrer Entwicklung und Erhaltung sowie die Vorstellung von einem Weg zum Erkennen, zur Analyse und Beschreibung komplexer Systeme (Abb. 9).

1.2 Das offene System

1.2.1 Das System als operatives Ganzes

Offene Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass sie mit ihrer Umgebung in Kontakt stehen, mit ihr Stoffe, Energie und/oder Informationen austauschen. Ihre Autonomie gegenüber der jeweiligen Umgebung/Umwelt können offene Systeme aber nur wahren, weil sie jeweils ein **operatives Ganzes** bilden, das aus dem geordneten Zusammenwirken seiner Teile agiert und reagiert. Derartige Systeme müssen in der Lage sein, ihre in der Umgebung/Umwelt vorhandenen existenziellen Voraussetzungen so optimal wie nur möglich zu nutzen und zugleich die Fähigkeit besitzen auf Störeinflüsse zu reagieren, um das System zu erhalten.

Die Eigenschaften eines solchen Systems lassen sich nicht allein aus den Eigenschaften der beteiligten Teile/Elemente erklären. Vielmehr handelt es sich um autopoietische, selbstorganisierendes Systeme, in denen sich jeweils eine Menge von Teilen/Elementen so organisiert und verknüpft, dass daraus spezifische, **emergente Systemeigenschaften** entstehen. *„Ein System ist mehr als die Summe seiner Teile. Es kann anpassungsfähiges, dynamisches, zielorientiertes, selbsterhaltendes und manchmal evolutionäres Verhalten zeigen"* (D. H. MEADOWS 2010).

1.2.2 Die Systemstruktur

Ein System besteht aus einer Vielzahl von Teilen/Elementen, das dadurch als Ganzes erscheint, weil die Teile/Elemente in geordneter und spezieller Beziehung zueinander stehen. Dieser innere Aufbau entspricht der **Systemstruktur.** Gemeint ist die Ordnung/Organisation der daran beteiligten Teile/Elemente, d.h. ihre Art und ihr stoffliches, energetisches und/oder informelles Zusammenwirken, die **operative Struktur**, durch die das System reagiert und agiert.

Die Komplexität ist dabei ein entscheidendes Merkmal solcher Systeme. Diese **Systemkomplexität** resultiert aus dem Umfang der beteiligten Elemente und der Dichte der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen, d.h. aus der Vernetzungsdichte stofflicher, energetischer und/oder informeller Art. Komplexität umschreibt Art und Ausmaß der Interaktionsstruktur in einem System, also die funktionale Differenzierung und Vielschichtigkeit der Systemstruktur.

Elemente organisieren sich zu Systemen, die sich ihrerseits zu übergeordneten Systemen zusammenfügen. Der Begriff **Systemhierarchie** hebt den Umstand hervor, dass die Definition offenes System die Möglichkeit enthält, ein Phänomen in Abhängigkeit vom Betrachtungsstandpunkt als eigenes System oder als Element eines übergeordneten Systems zu sehen.

1.2.3 Das Systemverhalten

Für das Verständnis offener System ist es entscheidend, die **Systemumgebung** mit einzubeziehen. Grundsätzlich gilt: Die Umgebung eines Systems besteht aus der Gesamtheit aller umgebenden Systeme, die mit ihm mindesten eine Input- oder Output-Beziehung besitzen. Systemumgebung ist ein von vornherein relationaler Begriff und muss für jedes in Frage stehende System eigens definiert werden. Es hängt vom jeweiligen System ab, welche Systemumgebung relevant ist, denn nicht alle ihre Bereiche, Situationen oder Ereignisse sind von gleicher Bedeutung für ein System.

Inwieweit der stoffliche, energetische und/oder informelle Austausch mit der Umgebung /Umwelt für das System nützlich oder störend ist, hat dabei grundsätzliche Bedeutung. Für ein offenes System ist es wesentlich:

- das Umgebungspotenzial selektiv und existenzfördernd zu nutzen;
- auf existenzbeeinträchtigende Einflüsse aus der Umgebung zu reagieren, sie zu umgehen, zu minimieren oder auszuschalten.

In solchen Systemen erfolgt die Auseinandersetzung mit der Umgebung/Umwelt im Wesentlichen über drei Funktionsfelder:

- die strukturellen und funktionalen Verknüpfungen im System;
- die Reaktionen/Aktionen, die vom System aus möglich sind;
- die Potenz der Umgebung/Umwelt, die relevant für das System ist.

Das **Systemverhalten** eines offenen Systems drückt sich dabei über zwei Aspekte aus:

- in der Verhaltensform = das Verhalten eines Systems seiner Umgebung/Umwelt gegenüber;
- in der Verhaltensstruktur = die für dieses Verhalten erforderliche strukturelle Basis.

Die Auseinandersetzung offener Systeme mit ihrer Umgebung/Umwelt beruht auf zwei grundsätzlichen Fähigkeiten und äußert sich in entsprechenden **Verhaltensformen** (Abb. 1).

- Offene Systeme sind in der Lage, die systemtypische Struktur (Ordnung/Organisation) trotz/wegen der Einflussgrößen aus der Umgebung/Umwelt in bestimmten Grenzen

aufrecht zu erhalten, sich als spezifisches System in der Zeit zu behaupten (**Strukturstabilität**);

- Offene Systeme sind in der Lage, falls die Einflussgrößen aus der Umgebung/Umwelt das systemrelevante, das systemverträgliche Maß überschreiten, sich strukturell den neuen Einflussgrößen, der veränderten Umgebung/Umwelt anzupassen, sich entsprechend zu verändern (**Trajektorische Stabilität**) und einen anderen Systemcharakter mit neuer Strukturstabilität anzunehmen

(A. GIGON, H. BOLZERN 1988).

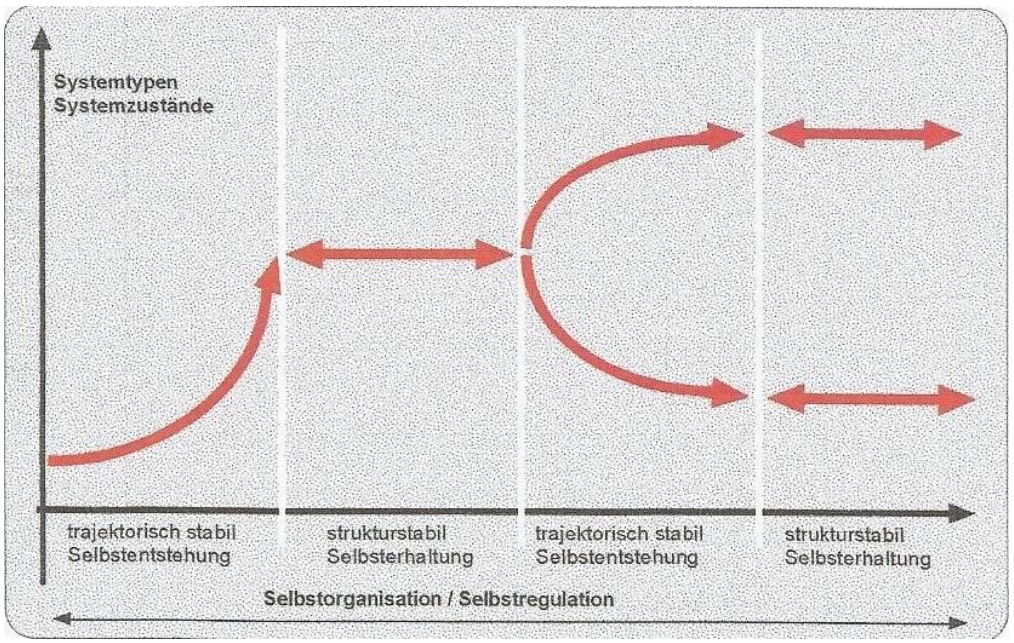


Abb. 1 Verhaltensformen offener Systeme

Als Grundtypen der Strukturstabilität lassen sich erkennen:

- Konstanz = das System zeigt von sich aus keine Neigung zur Strukturveränderung;
- Zyklizität = das System zeigt von sich aus periodische Strukturveränderungen, die jedoch zum Systemcharakter gehören;
- Resistenz = das System zeigt trotz Störgrößen keine bzw. kaum Strukturveränderung;
- Elastizität = das System zeigt während einer Störung eine Strukturveränderung, kehrt aber danach in die Ausgangslage zurück.

Für das Verhalten eines offenen Systems, das es gegenüber seiner Umgebung/Umwelt aktions- und reaktionsfähig macht und es als operatives Ganzes ausweist, sind die Art der beteiligten Elemente und ihrer Bindungen/Kopplungen (**Verhaltensstruktur**) wesentlich. Dabei lassen sich zwei Grundtypen erkennen.

- Lineare Kopplungen bzw. Vorwärtskopplungen mit dem Spezialfall Steuerung;
- Rückkopplungen mit dem Spezialfall Regelung.

Lineare Kopplungen treten als Reihen- oder Parallel-Kopplungen auf. Ein Element oder mehrere üben Einfluss/Wirkung auf ein anderes Element in der Form aus, dass dieses in seiner Funktion davon abhängig ist. Bei einer Steuerung löst ein bestimmter Einfluss (Input) auf das Eingangselement, die sogenannte Steuerstrecke, immer einen bestimmten Effekt (Output) im Ausgangselement aus. Steuerstrecken/Steuerungsstrukturen reagieren auf bestimmte Ursachen immer mit bestimmten Wirkungen (Abb. 2).

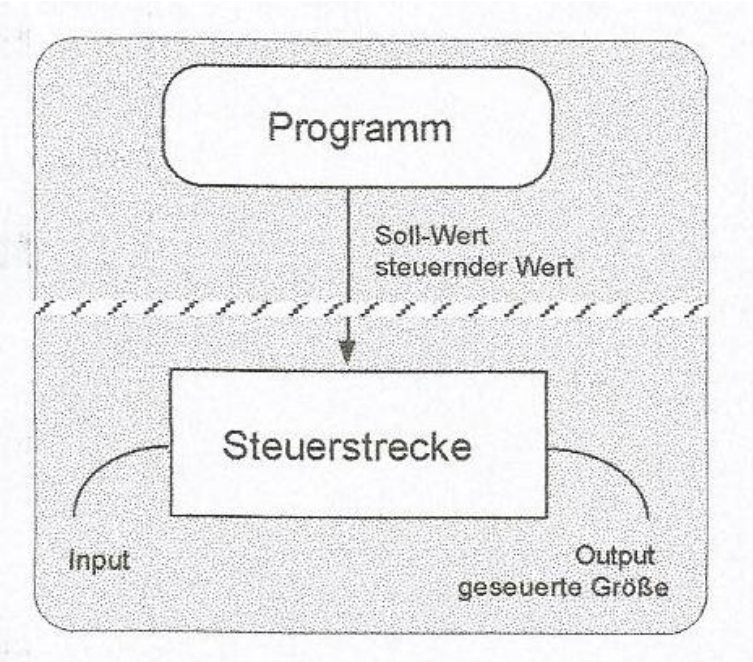


Abb. 2 Modell Steuerung

Rückkopplung in einem System besagt, dass an einer oder mehreren Stellen Rückwirkungen (Schleife) auf das Anfangsglied oder die vorhergegangene Glieder erfolgen. Unterschieden werden direkte und indirekte sowie positive und negative Rückkopplungen. Direkte Rückkopplungen zeichnen sich durch kurze Rektionszeiten aus. Bei indirekten Rückkopplungen hängt die Ansprechzeit ab von der Anzahl der beteiligten Elemente und den Reaktionszeiten zwischen ihnen. Positive Rückkopplungen sind gleichsinnig zu den anderen Beziehungen gerichtet, wirken verstärkend, schaukeln einen Prozess/Effekt auf. Negative Rückkopplugen wirken den anderen Beziehungen entgegen, wirken daher kompensierend, dämpfend und ermöglichen ein Pendeln um ein bestimmtes Niveau. Die Regelung beinhaltet die Möglichkeit einer Verhaltenskontrolle und Verhaltenskorrektur zu dem Zweck, das mit seiner Umgebung/Umwelt in Beziehung stehende System zu stabilisieren, zu erhalten (Abb. 3).

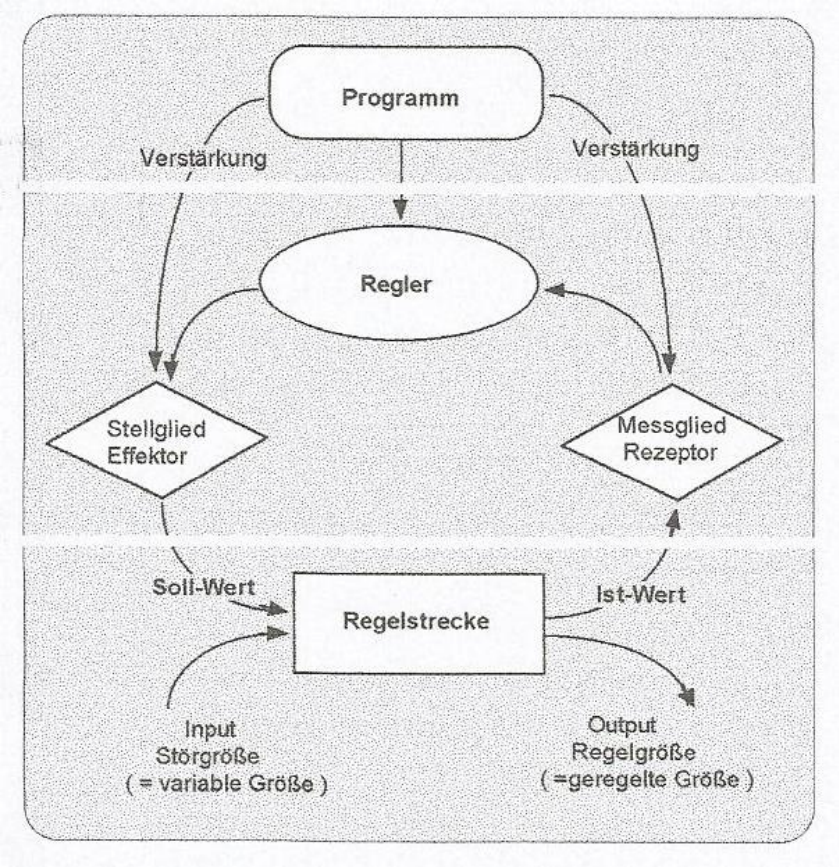


Abb. 3 Modell Regelung

Offene Systeme sind nie statisch sondern immer als dynamisch und variabel zu verstehen.

2 Der ökologische Denkansatz

2.1 Der Begriff Ökologie

Der Begriff Ökologie leitet sich her von den griechischen Wörtern oikos (= Hausgemeinschaft, Haus, Ort zum Leben, Haushalt) und logos (= Wort, Sprache, Lehre, Vernunft). Die Bezeichnung Ökologie geht auf den Zoologen E. HAECKEL zurück, der den Begriff erstmals 1866 prägte und definierte. *„Unter Oecologie verstehen wir die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle Existenzbedingungen rechnen können".* Später ergänzte E. HAECKEL (1869) einen weiteren Gesichtspunkt, *„die Wechselbeziehungen aller Organismen, welche an einem und demselben Ort miteinander leben".*

Für E. HAECKEL stand der Organismus in seiner Auseinandersetzung mit der Umwelt im Mittelpunkt des Ökologieverständnisses. Dabei wird aber ebenso deutlich, dass E. HAECKEL seine Vorstellung aus Sicht des Zoologen formulierte, wenn er von *„Tierökologie*" als der *„Lehre von der Ökonomie, dem Haushalt der tierischen Organismen"* spricht. *„Diese hat die gesamten Beziehungen des Tieres sowohl zu seiner anorganischen als auch zu seiner organischen Umgebung zu untersuchen… mit anderen Worten alle diejenigen verwickelten Wechselbeziehungen welche DARWIN als die Bedingungen des Kampfes ums Dasein bezeichnet".*
Fragestellungen und Aussagen, die heute als ökologisch eingestuft würden, gab es aber ohne Zweifel schon früher. Doch erst die Definition von E. HAECKEL eröffnete naturwissenschaftli-

che Erklärungsmöglichkeiten, für die Ökologie der Einzelart in ihrer Umwelt (Autökologie), der Population (Demökologie) und der Lebensgemeinschaft an ihrem Lebensort (Synökologie). In der Zeit nach E. HAECKEL entwickelte sich ökologisches Denken und Wissen aber keineswegs gleich als geschlossenes und einheitliches Lehr-und Forschungsgebiet. Die Vorstellung von einer umfassenden Ökologie bestand damals noch nicht. Ökologie wurde lange Zeit nur als rein beschreibende Naturgeschichte gesehen. Erst seit Ende des 19. Jahrhunderts begannen sich jedoch mehrere naturwissenschaftliche Wissensrichtungen ökologisch zu orientieren (Tierökologie, Pflanzenökologie, Limnologie, Meereskunde und Landschaftsökologie) und zunächst mehr oder weniger unabhängig voneinander zu entwickeln. Seither erfuhr die Ökologie eine sehr differenzierte Entwicklung (Humanökologie, politische und globale Impulse) und weitgehende Auffächerung in verschiedene Arbeitsbereiche und ein weites Feld von Fragestellungen. Doch bis heute ist ein gemeinsames Verständnis von Ökologie immer noch streitig sowie Missverständnissen und Missdeutungen ausgesetzt.

2.2 Das Ökosystem

2.2.1 Der Begriff

Als Ökosystem wird eine funktionale Einheit verstanden, die sich durch das Zusammenwirken verschiedener pflanzlicher und tierischer Organismenarten und mit unbelebten Umweltkomponenten ergibt. Die Abhängigkeiten zwischen Tieren und Pflanzen hatten bereits V. HENSEN (1887) und K. BRANDT (1890) bei ihren marinen Studien klar erkannt. Das bevorzugte Studienobjekt war aber zunächst über längere Zeit der Süßwassersee. Die in diesem Zusammenhang entwickelten Bezeichnungen „*Leben erfüllte Lebensstätte*“ oder „*Biosystem*“ bei A. F. THIENEMANN (1926, 1939, 1956) entsprechen dem Ökosystembegriff. Damit gleichzusetzen ist ebenso der für solche aquatischen und terrestrischen überindividuellen Gefüge aus Lebensgemeinschaft und Lebensstätte von K. FRIEDERICHS (1927, 1937) geprägte Begriff *„Holozön“.* Eine solche Ganzheit aus Biozönose und Biotop meinte auch V. N. SUKACHEV (1944, 1959) mit dem Terminus „*Geobiozönose*“.

G. TANSLEY (1935) wählte für solche Gefüge mit Wechselbeziehungen zwischen Organismen und diesen mit unbelebten Faktoren die Bezeichnung *„ecosystem*“. Ein solches System ist *„not only the organism-complex, but also the whole complex of physical factors, forming what we call environment”.* Nach F. C. EVENS (1956) ist der Begriff sogar für jede Art ökologischer Gefüge verwendbar. In das Begriffsfeld reiht sich auch der auf E. SUESS (1883) zurückgehende Begriff *„Biosphäre“* ein. R. BORNKAMP (1971) führte dazu aus: *„Ein realer Ausschnitt aus der Biosphäre mit seinen lebenden und nicht lebenden Bestandteilen wird als Ökosystem bezeichnet. Der Umfang des Ausschnittes ist nicht definiert. Alle Organismen mit ihrer Umwelt bilden das Ökosystem Biosphäre“*. Näheres zur Begriffsentwicklung führte J. MAJOR (1969) aus.

Einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung und Förderung des Ökosystembegriffs und der Ökosystemforschung leistete P. ODUM mit seinen 1953 erstmals veröffentlichten *„Fundamentals of Ecology“*, den mehrfachen Auflagen und der 1980 erfolgten deutschen Übersetzung. M. BEGON, J. L. HARPER und C. R. TOWNSEND weisen bereits mit dem Titel ihres Buches *„Ecology-Individuals, Populations, Communities“* auf die für sie entscheidenden Begriff-

lichkeiten. In der erstmals 1986 erschienen Veröffentlichung, einschließlich der späteren Auflagen und den in den 1990er Jahren erfolgten deutschsprachigen Ausgaben, erscheint der Begriff Ökosystem zwar nicht. Für die Autoren sind Individuum, Population und Lebensgemeinschaft ausreichende Begrifflichkeiten, die entsprechende Umweltfaktoren implizieren und ohne Umweltfaktoren nicht funktionieren würden.

Erst in den 1960er Jahren setzte eine intensivere Forschung auf der Basis des Ökosystemkonzeptes ein, unter Zusammenarbeit bisher mehr oder weniger unabhängiger bioökologischer sowie chemischer und physikalischer Teildisziplinen. Einen starken Impuls und Erkenntniszuwachs brachte das Internationale Biologische Programm (IBP) 1964 - 1974. Ursprünglich geplant als *„the biological basis of productivity and human welfare“*, entwickelte es sich letztlich zum grundlegenden Programm der Ökosystemforschung. Von H. ELLENBERG (1973) wurden entsprechende Ergebnisse aus Untersuchungen im deutschsprachigen Raum veröffentlicht. In diesem Zusammenhang stellte H. ELLENBERG auch fest, *„ein Ökosystem ist ein Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt, das zwar offen, aber bis zu einem gewissen Grad zur Selbstregulation befähigt ist“*. Er fügte hinzu, nur wenn wir weiter Ökosysteme unterschiedlichster Größenordnung *„so genau und so lange wie nötig und so vielseitig wie möglich in wirklicher Zusammenarbeit aller Beteiligten Disziplinen studieren, werden wir den Grund legen können zu einer allgemeinen Ökosystemforschung“*.

Nach heutigem Verständnis handelt es sich bei allen Beziehungen zwischen Lebenseinheiten und ihrer Umwelt um ökologische Systeme. Die Bezeichnung Ökosystem wird jedoch in der Regel für ein Beziehungsgefüge zwischen einer heterotypischen Lebensgemeinschaft und ihrer Umwelt verwendet. E. P. ODUM (1980) definiert: *„Jede Einheit, die alle Organismen in einem gegebenen Areal umfasst und die mit der physikalischen und chemischen Umwelt in Austausch steht, so dass ein Energiefluss klar definierbare Nahrungsketten, Mannigfaltigkeit und biologische Beziehungen und Kreisläufe schafft, ist ein ökologisches System oder Ökosystem“.* Nach H. LESER (1991) ist das Ökosystem *„eine sich aus abiotischen und biotischen Faktoren… aggregierende Funktionseinheit der hochkomplexen realen Umwelt, die somit ein Modell eines Ausschnittes aus der Geosphäre bildet, der ein sich selbst regulierendes Wirkungsgefüge darstellt, dessen stets offenes stoffliches und energetisches System sich in einem dynamischen Gleichgewicht befindet“*.

Der Begriff Ökosystem bezeichnet das organisierte Wirkungs- und Abhängigkeitsgefüge innerhalb einer mehrartigen Biozönose (Lebensgemeinschaft) sowie zwischen dieser und dem entsprechenden Biotop (Lebensraum). **Es ist ein System, das sich unter natürlichen oder naturnahen Bedingungen über seine organismischen Komponenten organisiert, operiert und in Grenzen reguliert und erhält.**

2.2.2 Das Grundmodell

Trotz mannigfaltiger Unterschiede in Größe, Struktur, Funktion sowie Dynamik und Entwicklung bestehen zwischen den existierenden Ökosystemen grundlegende Gemeinsamkeiten. Ihre Organisation und Ordnung ergibt sich, i**ndem über interaktive Beziehungen Individuen unterschiedlicher Arten zu Lebensgemeinschaften zusammenfinden und über Beziehungen**

zur unbelebten Umwelt das gesamte Gefüge zum Ökosystem integrieren. Über ein Grundmodell (Abb. 4) für ein vollständiges Ökosystem, das die interne Struktur (Elemente und deren Funktionszusammenhang) und seine externe Offenheit aufzeigt, lassen sich alle terrestrischen wie aquatischen Bereiche entsprechend verstehen und interpretieren. Mit dem Denkansatz Ökosystem ist die Vorstellung einer hochkomplexen Leben-Umwelt-Beziehung verbunden sowie die damit zusammenhängenden Interaktionen und Energie- und Stoffflüsse (H. ELLENBERG 1973).

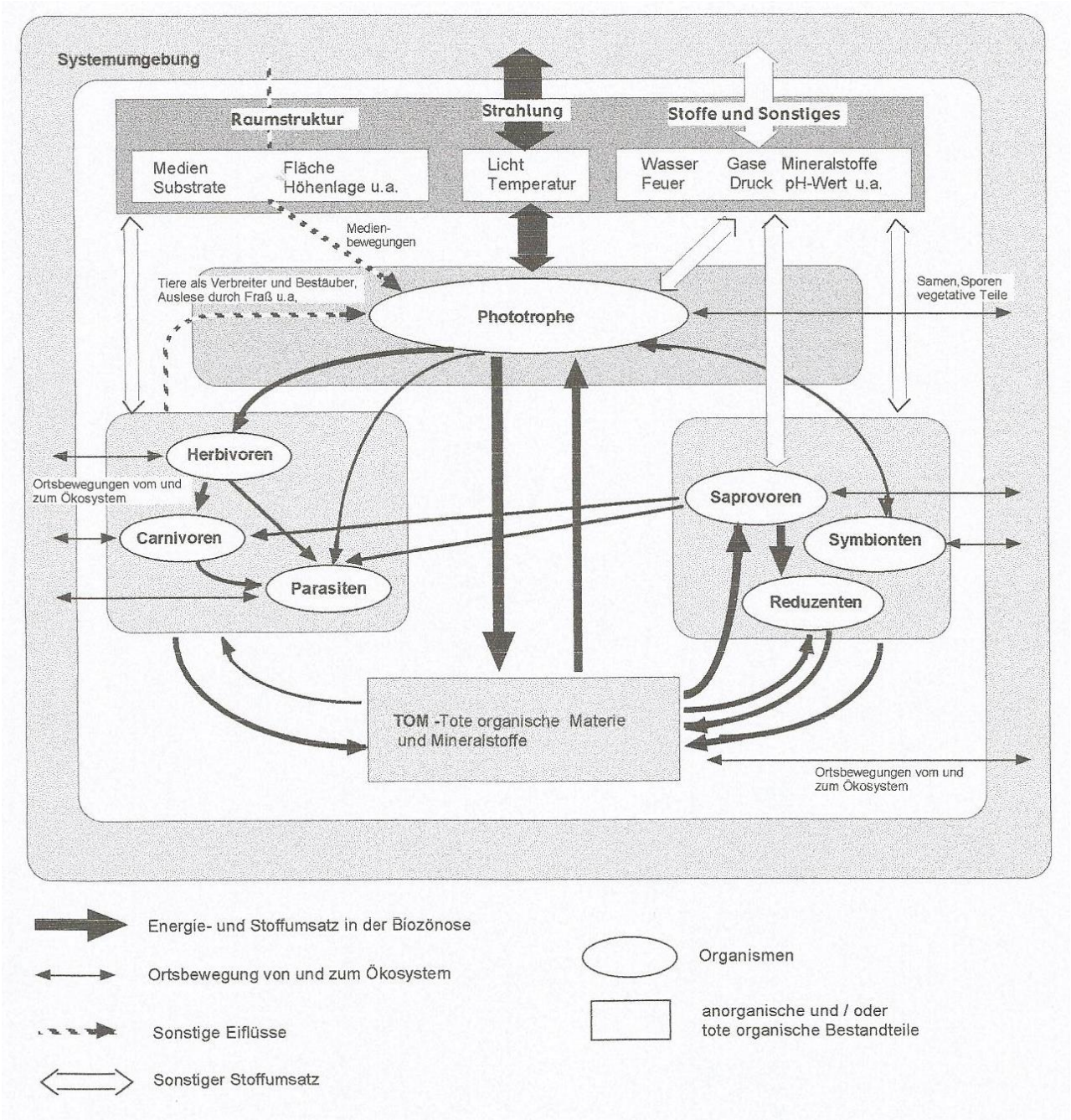


Abb. 4 Modell eines vollständigen terrestrischen Ökosystems

(Quelle: H. ELLENBERG 1973, verändert)

Existierende Ökosysteme, gleich welcher Ausprägung, erfordern bei der Analyse ihrer vielseitigen und komplexen Phänomene interdisziplinäre Zusammenarbeit, um ausreichende und

gesicherte Kenntnisse über ihre jeweilige strukturelle und funktionale sowie räumliche und zeitliche Dimension zu erlangen (H. ELLENBERG 1973). Reale Ökosysteme sind in ihrer komplexen Erscheinung jedoch nicht unmittelbar als Ganzes zugänglich.

Der entscheidende konzeptionelle Schritt und Voraussetzung einer **Systemanalyse** ist die Modellbildung, die **Modellierung des jeweiligen Systems**. Damit wird die Wirklichkeit zwar vereinfachend, in den entscheidenden Sachverhalten aber richtig und zutreffend dargestellt. Das **Wortmodell** formuliert und beschreibt die Systemstruktur, d.h. die entsprechenden Bestandteile/Komponenten, deren Prozesse und Zusammenhänge im System sowie zur Umgebung. Das **Bildmodell** gestattet schwierige und umständlich formulierbare vielfältige und komplexe Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Unterschiede verschiedener Ökosysteme qualitativ aber auch quantitativ klarer und überschaubarer herauszustellen. Die Möglichkeit zur Detaillierung und Präzisierung bieten Modelle für einzelne Kompartimente, die im Hinblick auf bestimmte Fragestellungen als Teilsysteme herausgegriffen und entsprechend strukturiert werden. **Das mathematische Modell** liefert schließlich die Grundlage zu elektronischen Datenverarbeitung und quantitativen Simulation.

(1) Die Struktur des Ökosystems

Das terrestrische Ökosystem dient als Beispiel für die Interpretation.

(a) Die Komponente: Lebensgemeinschaft/Biozönose

Durch Vereinigung von Individuen unterschiedlicher Arten bildet sich eine heterotypische Gemeinschaft. Der Begriff **Biozönose** bezeichnet eine solche Lebensgemeinschaft aus Individuen verschiedener Pflanzen- und Tierpopulationen, die sich qualitativ und quantitativ entsprechend den Gegebenheiten des Raumes einstellt und zwischen den Gliedern der Gemeinschaft ein Beziehungssystem entwickelt (H. J. MÜLLER 1984). Solange sich die Umweltverhältnisse nicht grundsätzlich ändern, bleibt die Biozönose in ihrer Ausprägung bestehen. Die Bezeichnungen Zönose oder Biozön sind Kurzformen. Manche Autoren verwenden als Synonym den Begriff Biosystem. Andere Autoren beschränken den Begriff Biosystem lediglich auf Interaktionen zwischen Individuen verschiedener Arten zum gegenseitigen (Symbiose) oder einseitigen Nutzen (Parasiten) der beteiligten Organismen (W. TISCHLER 1975).

Die Gesamtheit der pflanzlichen Individuen, also der pflanzliche Anteil in einer Biozönose, wird als **Phytozönose** bezeichnet. Die aus verschiedenen Arten zusammengesetzte Pflanzengesellschaft ist nicht zufällig, sondern durch Auslese aufgrund von Wettbewerb entstanden. Sie spiegelt die Konkurrenzfähigkeit der Arten unter den bestehenden Umweltgegebenheiten wider und ist somit ein ausgezeichneter Standortzeiger.

Die **Zoozönose** entspricht der Gesamtheit der tierischen Individuen, dem tierischen Anteil in der Biozönose. Dabei können einzelne Tierarten übergreifend an mehreren Biozönosen beteiligt sein.

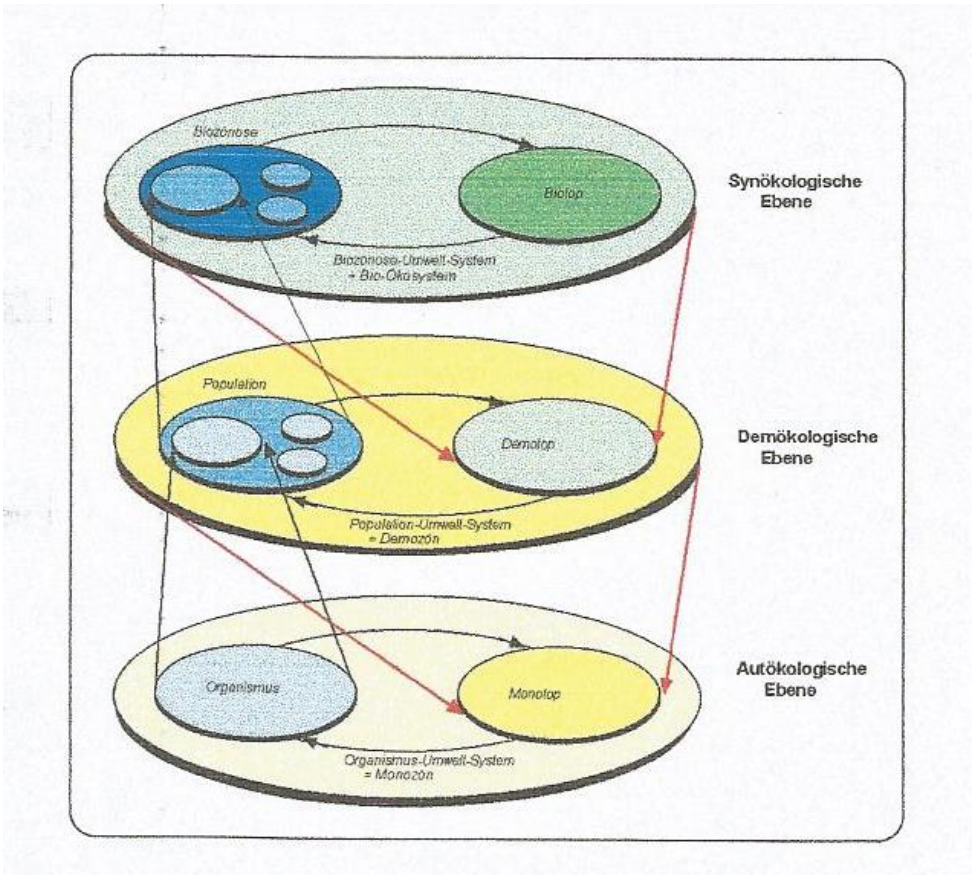


Abb. 5 Ebenen der ökologischen Grundkonzepte

Für die Komponente Biozönose stehen auf der Ebene Ökosystem nicht Taxonomie oder Herkunft der Arten Vordergrund, sondern die Funktionen, die von dem jeweiligen Arteninventar in einer solchen heterotypischen Lebensgemeinschaft für den Aufbau und den Zusammenhalt des Ökosystems übernommen werden. **Die Biozönose ist die operative Komponente im Ökosystem.** Entscheidend dabei sind die Lebensformen. Diese Basisstruktur ist durch drei ökologisch fundamentale Lebensformtypen gekennzeichnet, die Produzenten, Konsumenten und Destruenten, die verschiedenen operativen Ebenen zuzuordnen sind (W. TISCHLER 1975; H. J. MÜLLER 1984; G. CZIHAK, H. LANGER, H. ZIEGLER 1992).

Zu den **Produzenten**, auch als Primärproduzenten bezeichnet, zählen alle zur Photosynthese befähigten Organismen, d.h. grüne Pflanzen, gleichgültig ob es sich um Bäume, Sträucher, Kräuter, Gräser, Farne, Moose oder Algen handelt. Sie bilden die Basis der Lebensgemeinschaft, die mit Hilfe der Sonnenenergie Biomasse produziert, die von anderen Gliedern der Lebensgemeinschaft direkt oder indirekt genutzt wird. In ganz spezifischen lichtlosen Ökosystemen, z.B. der Tiefsee, erzeugen chemotrophe Mikroorganismen die basisbildende Biomasse.

Als **Konsumenten** werden alle Organismen bezeichnet, deren Stoff- und Energiehaushalt von der Zufuhr lebender und/oder toter organischer Substanz abhängt. Die Herbivoren/Pflanzenfresser ernähren sich unmittelbar von lebenden pflanzlichen Teilen. Die Nahrungsgrundlage der Karnivoren/Fleischfresser bildet lebende und tote tierische Substanz.

Dazwischen gibt es die Omnivoren/Allesfresser, die sich von unterschiedlicher und wechselnder organischer Substanz ernähren.

Da in jedem Ökosystem im Laufe der Zeit mehr oder weniger große Mengen toter organischer Substanz anfallen, muss dieser Abfall, damit er sich nicht häuft, in der Regel beseitigt werden. Diese für ein Ökosystem unentbehrliche Funktion übernehmen die **Destruenten/Zersetzer**. Durch sie werden anorganische Stoffe wieder verfügbar. Im Wesentlichen lassen sich dabei zwei Hauptgruppen unterscheiden. Die **Saprophoren** (eigentliche Abfallfresser) verwerten totes organisches, pflanzliches oder tierisches Material in großen Mengen, zumal dessen Nährwert verhältnismäßig gering ist. Bei den **Reduzenten** (Mineralisierer) handelt es sich um Pilze, Bakterien und andere Mikroorganismen, die Ausscheidungsreste der Saprophoren, direkt totes organisches Material oder im Wasser gelöste organische Stoffe verarbeiten und zu anorganischen Stoffen abbauen. Wird die Artenzahl und Aktivität dieser Organismen durch bestimmte Umweltgegebenheiten (z.B. Nässe, Kälte) eingeschränkt, bleibt ein mehr oder weniger großer Teil des toten organischen Materials gering zersetzt (z.B. als Rohhumus, Torf) erhalten.

Viele Tierarten ordnen sich jedoch nicht nur an einer Stelle dieser Trophieebenen ein, sondern können sich teils als Herbivor, als Karnivor verschiedenen Grades oder auch als Saprophor ernähren. Eine spezifische Rolle für den Stoff- und Energieumsatz spielen Symbionten, wie z.B. Mykorrhizapilze, oder Parasiten, die von lebenden Pflanzen oder Tieren zehren und gleichsam Endglieder der jeweiligen Nahrungszusammenhänge sind.

Aus dem Zusammenwirken dieser Lebensformen ergeben sich die **operativen Leistungen der Biozönose** (Abb. 6):

- Trophiestruktur
- Stoff- und Energieumsatz
- Produktion von Biomasse
- Dynamik/Stabilität der Biozönose

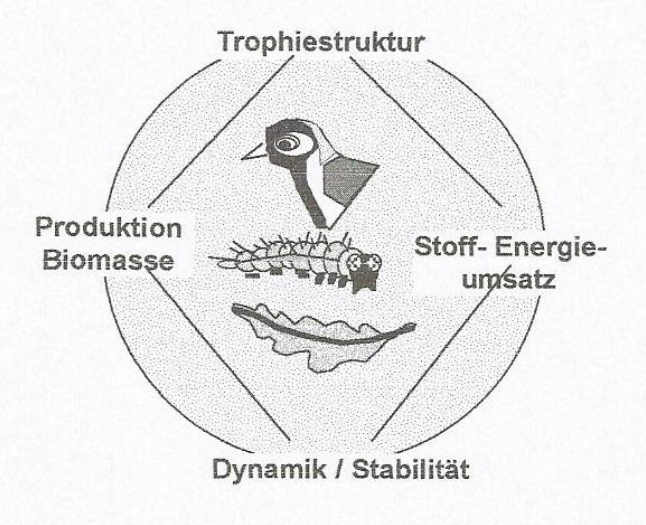


Abb. 6 Operative Kennzeichen der Biozönose

(B) Die Komponente: abiotische Umwelt/Biotop

Umwelt als verkürzte Form von Lebensumwelt umfasst alle Bedingungen und Gegebenheiten, die für das Leben der jeweiligen Lebenseinheiten und die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen relevant sind. Die Umwelt einer Lebensgemeinschaft/Biozönose entspricht demnach der Gesamtheit aller Faktoren, die direkt und indirekt, als erforderlich und beeinflussend auf die Lebensgemeinschaft wirken und somit existenzielle Bedeutung haben. Mit **Biotop** wird der Lebensraum einer Biozönose, der Siedlungsraum einer mehrartigen Lebensgemeinschaft bezeichnet, der die für die Existenz der Lebensgemeinschaft notwendigen und sie beeinflussenden unbelebten/abiotischen Faktoren einschließt. Analog zum Raumbegriff Biotop dient der Begriff **Phytotop** zur Bezeichnung für den Siedlungsbereich aller Pflanzen einer Biozönose, der die existenziell relevanten unbelebten/abiotischen und belebten/biotischen Faktoren einschließt. Entsprechend wird der Begriff **Zootop** zur Bezeichnung für den Siedlungsraum aller Tiere eine Biozönose verwendet, der gleichfalls alle existenziell relevanten Faktoren einschließt.

Der Begriff **Ökotop** wird unterschiedlich verwendet (W. TISCHLER 1975). Doch logischerweise ist er die Bezeichnung für einen räumlichen Ausschnitt der Erdoberfläche, in dessen Bereich abiotische und biotische Faktoren/Komponenten ein ökologisches Wirkungsgefüge, ein Ökosystem bilden. Die Bezeichnung Ökotop repräsentiert somit eine nach Inhalt und Struktur abgrenzbare Raumeinheit eines Ökosystems. Die Bezeichnung **Ökoton** betrifft Grenz- bzw. Übergangsbereiche zwischen verschiedenen Ökotopen, die oft vielfältigere Lebensmöglichkeiten und Lebensformen auszeichnen als die jeweiligen Ökotope (W. TISCHLER 1975; G. CZIHAK, H. LANGER, H. ZIEGLER 1992). Eine terrestrische regionale ökologische Einheit, ein mit entsprechender charakteristischer Vegetation und Fauna ausgestatteter Bereich, wird als **Biom** bezeichnet. Unterschieden werden Zonobiome, Orobiome und Pedobiome. Das bezeichnende Merkmal für **Zonobiome** ist das Großklima, das die Bodenbildung und die Vegetation aufs stärkste beeinflusst. Gebirge bilden die **Orobiome**, die durch eine vertikale Höhenstufenfolge und vertikale Klimagliederung charakterisiert sind. **Pedobiome** sind Bereiche innerhalb der Zonobiome, in denen sich eine besondere Bodenbeschaffenheit stärker auswirkt als das Klima (H. WALTER, S. W. BRECKLE 1983; G. CZIHAK, H. LANGER, H. ZIEGLER 1992).

Die Komponente Umwelt in einem Ökosystem ist abiotischer Ausprägung und setzt sich im Allgemeinen aus drei Kategorien zusammen: Strahlung, Raumstruktur und anorganische Stoffe.

Die **Strahlung** äußert sich im Wesentlichen in den Licht- und Temperaturverhältnissen. Das Licht ist im Regelfall die entscheidende Energiequelle für das Ökosystem, da es Photosynthese ermöglicht. Zudem beeinflusst es Wachstumsvorgänge und hat Bedeutung für Aktivitätsrhythmen. Die Einstrahlung wirkt sich auch als Wärme aus. Damit werden der Wasserkreislauf und die physikalischen Raumbedingungen beeinflusst und für jeden Organismus lebensnotwendige Bedingung bereitgestellt.

Die **Raumstruktur** ist eine Voraussetzung dafür, dass sich Ökosysteme spezifisch ausprägen können. Von wesentlicher Bedeutung sind dabei die Medien Atmosphäre, Boden und Wasser in ihrer unterschiedlichen Gestalt, Dynamik und speziellen Ausprägung, wie z.B. flächige Ausdehnung, Höhenlage oder Wassertiefe, Wind- und Strömungsverhältnisse.

Die dritte Kategorie umfasst vor allem **Gase, Wasser und Mineralstoffe**. Der Gaswechsel ist dabei ein wesentlicher Teil des Stoffumsatzes in einem Ökosystem. Jedes Lebewesen muss atmen, braucht Sauerstoff und scheidet Kohlendioxyd aus. Das gilt auch für die grüne Pflanze, bei der jedoch tagsüber die Kohlendioxyd-Assimilation und Sauerstoff-Ausscheidung überwiegt. Kohlenstoff und Sauerstoff sind zusammen mit dem Wasserstoff Grundbausteine organischer Substanz. Alles Leben benötigt auch Wasser, vor allem zur Aufrechterhaltung eines zell- und körpereigenen Wasserhaushaltes sowie zur chemischen Synthese. Der Wasserumsatz verbindet fast alle Kompartimente eines Ökosystems. Alle Lebewesen benötigen ebenso mineralische Stoffe, wie z.B. Stickstoff, Phosphor und Schwefel, zum Aufbau von Eiweißen und anderen lebenswichtigen Zellbestandteilen. Für den Stoffwechsel von Bedeutung sind auch Kalzium, Magnesium, Kalium oder Eisen. Zwischen Pflanzen und Tieren gibt es bezüglich der Mineralstoffe stärkere Abweichungen. Wirksam für die Ausprägung von Ökosystemen ist auch eine spezifische Gruppe von Einflussgrößen, die zu den vorher genannten Komponenten nur mittelbarem Bezug hat, wie z.B. Feuer, Druck oder pH-Wert.

(2) Die Funktionen im Ökosystem

Der Zusammenschluss zu heterotypischen Gemeinschaften unter jeweils bestimmten anorganischen Bedingungen beruht auf Wechselbeziehungen zwischen Organismen, die für sie von Interesse sind, letztlich von ihnen ausgehen und so die übergeordnete funktionale Einheit Ökosystem entstehen lassen. Ein Charakteristikum des Ökosystems sind die funktionalen Verknüpfungen seiner Glieder über den Energiefluss, Stoffumsatz und Wasserfluss.

(A) Die Nahrungsbeziehungen

Unter den zahlreichen Interaktionen zwischen den lebenden Gliedern eines Ökosystems sind in erster Linie die trophischen Beziehungen entscheidend für die operative Einheit Biozönose.

Die Produktion pflanzlicher Biomasse bildet die Basis für alle Nahrungsbeziehungen, Nahrungsketten und Nahrungsnetze. Dabei lassen sich drei grundsätzliche Ebenen der Nahrungszusammenhänge unterscheiden (Abb. 7). Eine Grundnahrungsbeziehung verläuft von den Pflanzen über die Herbivoren zu den Karnivoren mit verschiedenen Zwischenstufen. Eine zweite Nahrungsbeziehung verläuft von den Pflanzen, Herbivoren und Karnivoren zu den jeweiligen parasitären Endkonsumenten. Beide sind mit der dritten Nahrungsebene verbunden, die sich aus Destruenten (Saprophoren und Reduzenten) zusammensetzt.

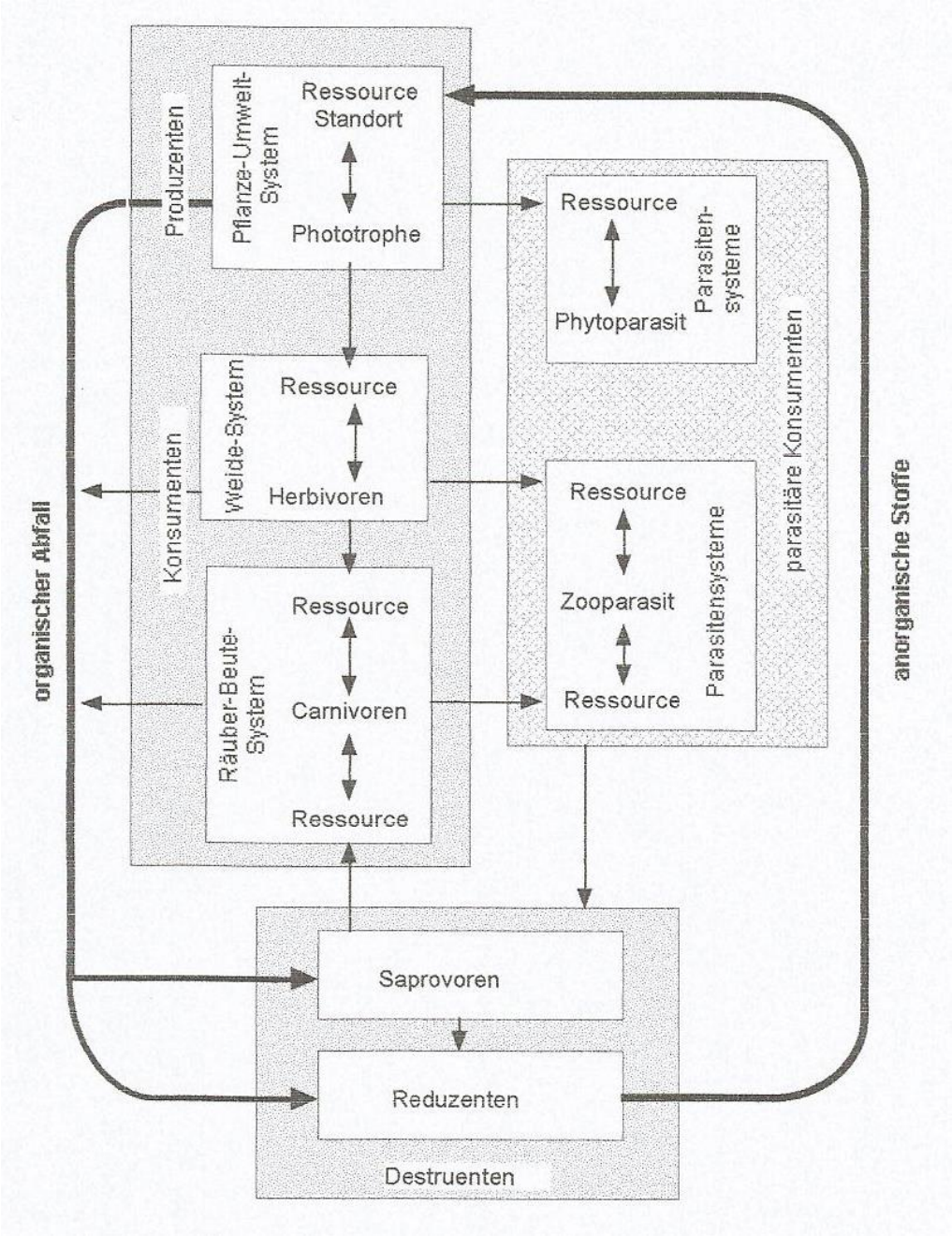


Abb. 7 Grundsätzliche trophische Zusammenhänge

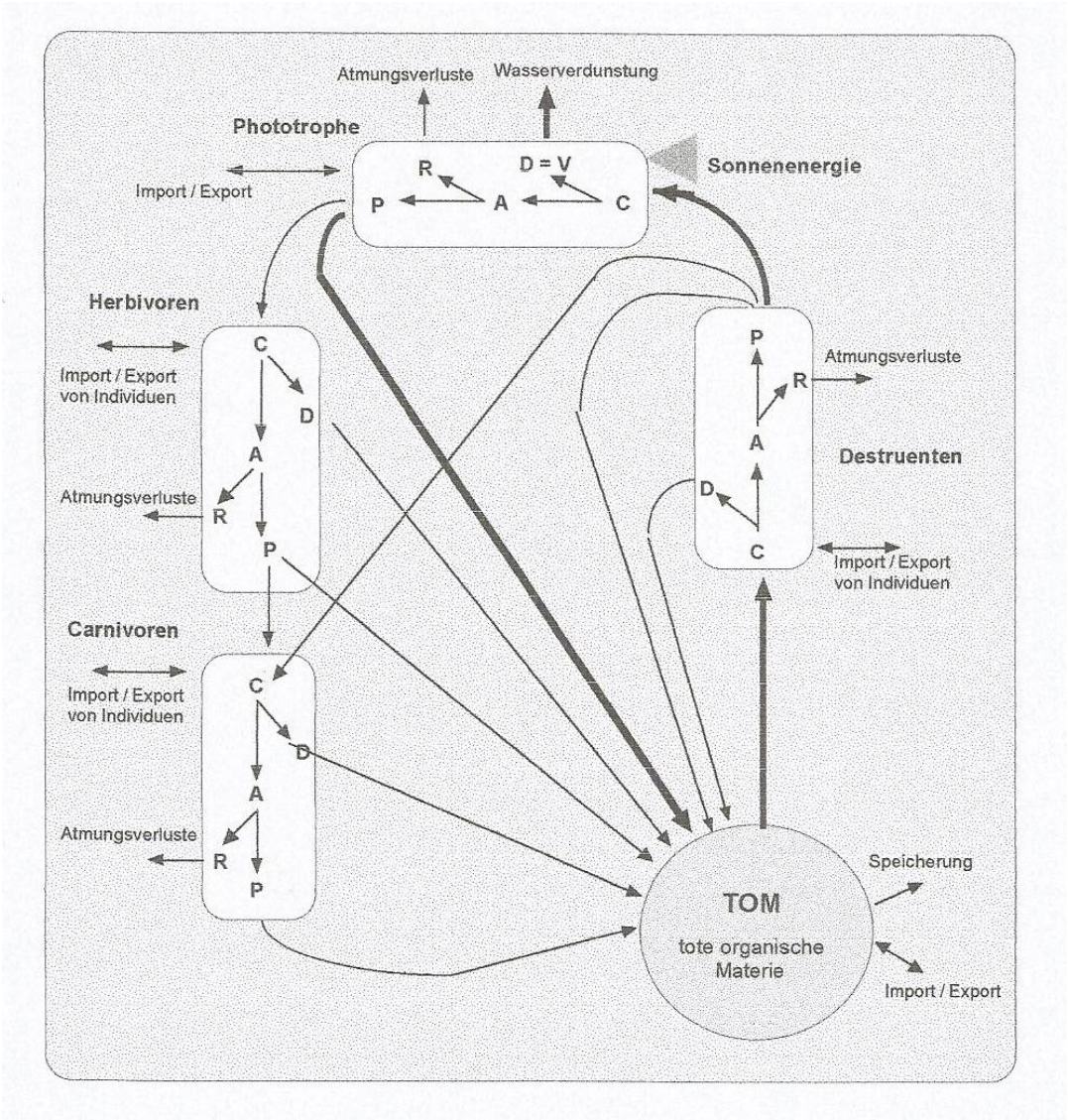
Die Komplexität der Nahrungsbeziehungen ist Ausdruck für den Struktur- und Funktionsreichtum eines Ökosystems, der Artenreichtum und Nischenvielfalt einschließt. Vielfalt sowie hohe Variabilität im Nahrungsspektrum und in der räumlichen Verteilung der Organismen dienen außerdem der Risikominderung und erweisen sich als stabilitätsfördernd

(B) Der Energiefluss und Stoffumsatz

(a) Der Energiefluss

Die entscheidende Energiequelle für alle Lebensprozesse ist direkt oder indirekt die Sonnenenergie. Bei dem erforderlichen **Energietransfer** sind Umwandlung, Speicherung, Weitergabe und Verteilung wichtige Vorgänge. Der Energiefluss wird über die biotischen Komponen-

ten des Ökosystems in Gang gehalten. Abb. 8 fasst den Energietransfer zwischen den vier entscheidenden biotischen Komponenten (Phototrophe, Herbivoren, Karnivoren, Destruenten) eines Landökosystems zusammen.



C=aufgenommene Energie; A=assimilierte Energie; D=nicht assimilierte Energie; R=Stoffwechsel; P=Stoffproduktion/Biomasse.

Abb. 8 Vereinfachte Darstellung des Energietransfers zwischen den biotischen Komponenten eines Landökosystems

(b) Der Stoffumsatz

Energie fließt immer in eine Richtung, von der Sonneneinstrahlung ausgehend über die Produzenten bis hin zu den Destruenten. Stoffe hingegen vollziehen zumindest teilweise einen Kreislauf. Als wichtige Stoffgruppen kommen in Frage: lebende und tote Substanz sowie anorganische Materie. In Abb. 9 ist ein Beispiel zum Umsatz der Mineralstoffe zwischen den Trophieebenen und ihrer Rückführung dargestellt.

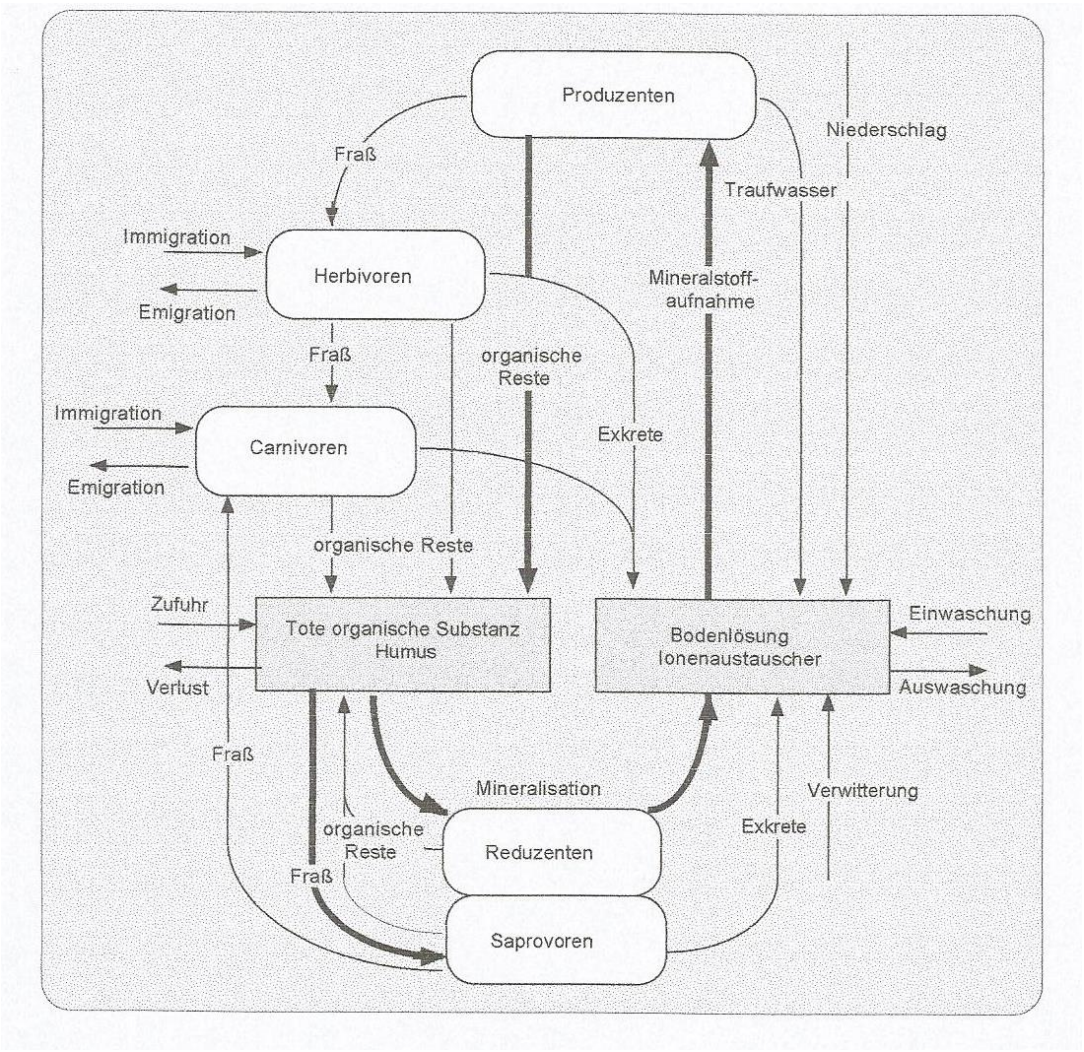
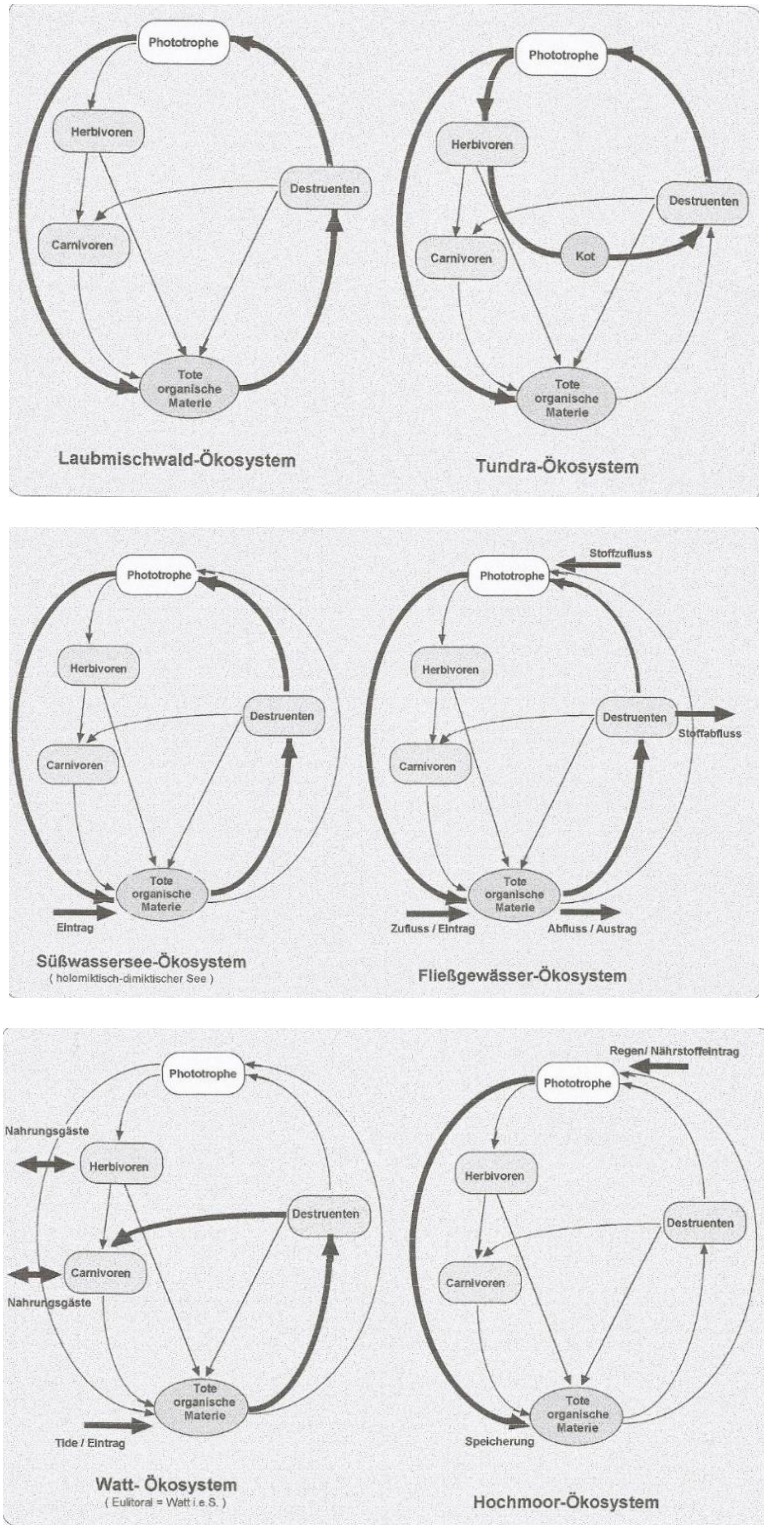


Abb. 9 Umsatz und Rückführung der Mineralstoffe in einem terrestrischen Ökosystem
(Quelle: W. J. KLOFT 1978, verändert)

Der **Stofftransfe**r beginnt mit dem Umbau anorganischer Stoffe in organische Substanz durch die Produzenten und führt über Zwischenverbraucher, wie Herbivoren und Karnivoren und letztlich über die Mineralisierungsprodukte der Reduzenten, wieder zum Ausgangspunkt Mineralstoffe zurück. Dazu muss das organische Material zunächst erschlossen werden. Das geschieht durch die Fresstätigkeit der Makrofauna, wie z.B. der Asseln, Tausendfüßler, Insektenlarven oder Schnecken. Das Streumaterial wird zerkleinert und damit für kleinere Saprophage, wie z.B. Collembolen, Milben und Nematoden, zugänglich. In erheblichem Umfang sind Regenwürmer am Abbau beteiligt, die nicht nur unversehrte Streu fressen, sondern beim Graben auch Erde aufnehmen und dann bereits mit Mikroorganismen infizierten Kot abgeben. Der von Destruenten ausgeschiedene Kot wird von den Bodenmikroorganismen, wie Pilzen und Bakterien, schließlich endgültig zersetzt und in anorganische Bestandteile zerlegt. Abbau und Mineralisation des toten organischen Materials durch Saprophoren und Reduzenten erfolgt nicht nur im Nacheinander dieser Trophiegruppen, sondern ebenso im Wechselspiel und ohne scharfe Trennung der Abbaustufen.

Für einen Stoffumsatz sind zwei Voraussetzungen besonders wichtig. Es sollte ein ununterbrochener Stofftransport gewährleistet sein. Ferner sollte ein Stoffreservoir bestehen, aus dem bei Bedarf Stoffe eingeschleust werden können (H. J. MÜLLER 1984). Bei den verschiedenen Ökosystemen sind vor allem das Klima und die dominanten Medien Richtung weisend für die umgesetzten Stoffmengen, die Umsatzgeschwindigkeiten und Umsatzwege.



Hervorgehoben sind jeweils die nach Menge bzw. Bedeutung bezeichnenden Transferwege

Abb. 10 Vereinfachte Muster des Stoffumsatzes für sechs Ökosystemtypen

Das **sommergrüne Laubmischwald-Ökosystem** besitzt einen ausgeprägten Stoffkreislauf. Die entscheidende Phase ist, indem der pflanzliche Abfall von Saprophoren abgebaut, von Reduzenten mineralisiert und somit wieder pflanzenverfügbar wird (Abb. 10).

Das **Tundra-Ökosystem** umfasst ein sehr begrenztes Abbaupotenzial (Abb. 10). Das Fehlen ektothermer Herbivoren, die Selektion und geringe Effektivität der Destruenten durch klimatische Bedingungen sowie Bodennässe und Bodenversauerung haben zu Folge, dass der größte Teil des organischen Materials unzersetzt festgelegt wird, als Rohhumus oder bei nassen Bedingungen als Torf.

Im **See-Ökosystem** verläuft der wesentliche Stoffumsatz wiederum über die Destruenten und Reduzenten, die bei ausreichendem Sauerstoff den organischen Abfall abbauen, mineralisieren und damit wieder pflanzenverfügbar machen (Abb. 10). Von wesentlicher Bedeutung für den Stoffhaushalt und die Organismen in stehenden Gewässern ist dabei die Dichteanomalie des Wassers.

Der Nährstoffhaushalt im **Fließgewässer-Ökosystem** zeigt deutliche Unterschiede gegenüber anderen Ökosystemen. Das Fließgewässer-Ökosystem ist im wahrsten Sinne des Wortes ein Durchflusssystem (H. W. BOHLE 1995) (Abb. 10). In Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit werden überschüssige organische Stoffe und gelöste Nährstoffe im Fließgewässerkontinuum weiter transportiert und zum Unterlauf hin findet eine zunehmende Anreicherung und Sedimentation statt.

Das **Watt-Ökosystem** der Nordsee ist natürlicherweise ein primär von externer Zufuhr (Tide) organischer fester und gelöster Stoffe abhängiges System (Abb. 10). Das Eulitoral (Watt i.e.S.) wirkt als Sinkstofffalle. Seine Substratbeschaffenheit sowie die Verteilung der Nährstoffe und der Organismen werden im Wesentlichen durch die Dauer der Gezeiten sowie durch die Strömungsverhältnisse und den Wellengang bestimmt. Der Stoffumsatz verläuft hauptsächlich über die Destruenten (überwiegend Detritus- und Bodensubstratfresser) zu den Konsumenten, die das Eulitoral als ständigen und/oder zeitweiligen Nahrungsraum nutzen.

Im **Hochmoor-Ökosystem** führen Wasserreichtum, Sauerstoffmangel und niedere pH-Werte zu einem äußerst gebremsten Abbau des pflanzlichen Materials, das durch Anreicherung und Humifizierung zur Torfbildung führt (Abb. 10). Für die Entstehung von Mooren ist immer ein ständig mit Wasser durchtränktes, sauerstoffarmes Bodenmilieu Vorrausetzung, in dem der pflanzliche Abfall (Detritus) nicht mehr rasch und vollständig zersetzt wird (J. SCHULTZ 1988).

(c) Der Wasserumsatz

Wasser ist ein lebenswichtiger und oft limitierender Faktor, der das Leben von Pflanzen und Tieren in starkem Maß beeinflusst. Wasser ist Bestandteil der Organismen, Baustein für die Photosynthese, Lösungsmittel für Bodennährstoffe, Transportmittel, Energieträger und Energieregler für den Wärmehaushalt. Seine Verfügbarkeit und Verteilung im Ökosystem

spielt deshalb eine wichtige Rolle. Abb. 11 zeigt dazu die wesentlichen Strukturen zum Wasserumsatz in einem terrestrischen Ökosystem.

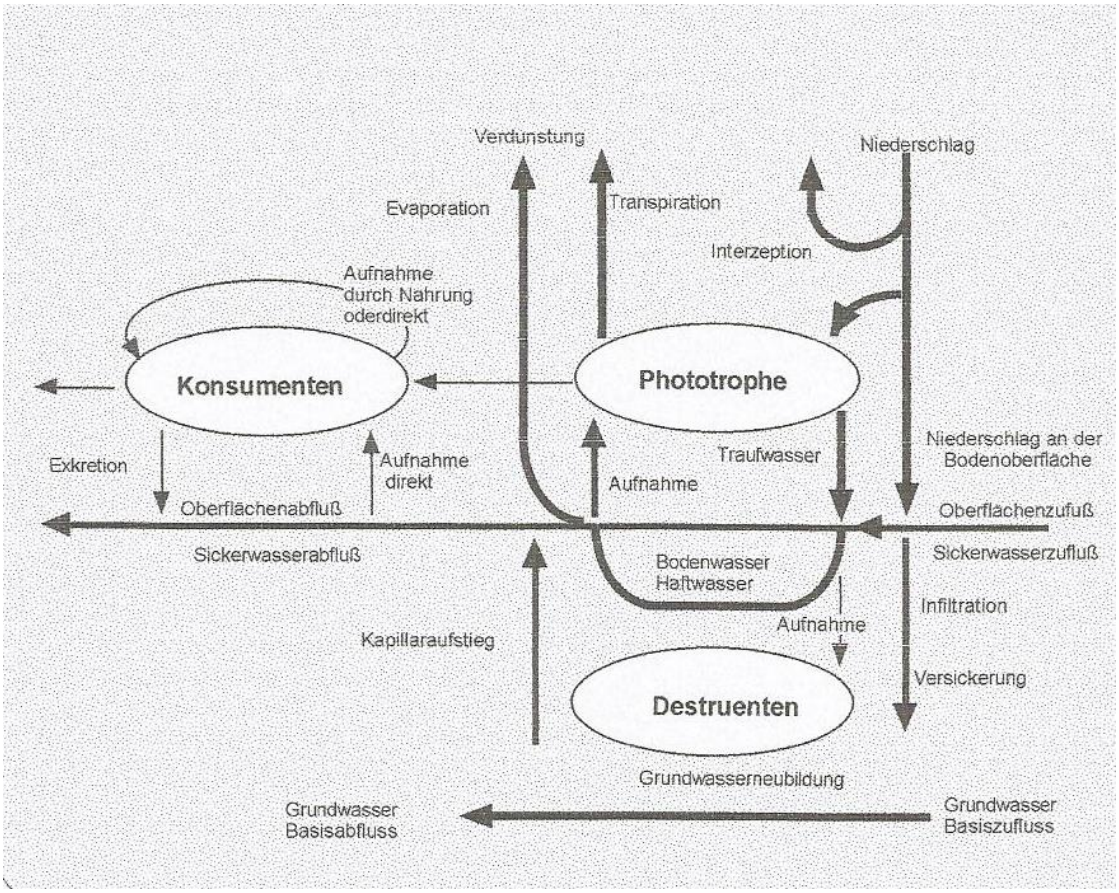


Abb. 11 Wasserumsatz in einem terrestrischen Ökosystem

Der Niederschlag wird bereits zum Teil durch Interzeption (Benetzung und Verdunstung) von der Vegetation eines Ökosystems verbraucht. Das restliche Niederschlagwasser gelangt bis zum Boden. Soweit das Wasser an der Bodenoberfläche nicht verdunstet (Evaporation) und/oder abfließt, dringt es als Sickerwasser (Infiltration) in den Boden, wird dort als Haftwasser festgehalten oder gelangt teils weiter zum Grundwasser. Sofern die Wurzeln der Pflanzen das Grundwasser nicht erreichen, steht ihnen zur Wasseraufnahme das Haftwasser und Bodenwasser über den Kapillaraufstieg zu Verfügung. In geringem Umfang wird Wasser auch über die Blattoberflächen der Pflanzen ausgenommen. Das von Pflanzen aufgenommene Wasser wird wieder verdunstet (Transpiration), um den internen Nährstofftransport in Gang zu halten. Auch für Konsumenten und Destruenten ist Wasser zwar lebensnotwenig, doch ihr Anteil am Wasserumsatz im Ökosystem ist mengenmäßig sehr gering.

(3) Die Entwicklung und Dynamik des Ökosystems

(A) Die Sukzession

Die Sukzession/Entwicklung von Ökosystemen unter gegenwärtigen Bedingungen kann an zwei Stellen ansetzen. Die **primäre Sukzession** entspricht einem völligen Neuaufbau einer ökologischen Struktur in besiedlungsfähiger Umwelt (Abb. 12). Die **sekundäre Sukzession**

setzt bei einem vorhandenen Organismenbestand an, dessen bisherige Existenzbedingungen sich ändern, entfallen. Ein solcher Fall ist, wenn z.B. eine landwirtschaftliche Nutzung aufgegeben wird, die Fläche brachfällt und die Entwicklung sich selbst überlassen wird (Abb. 13).

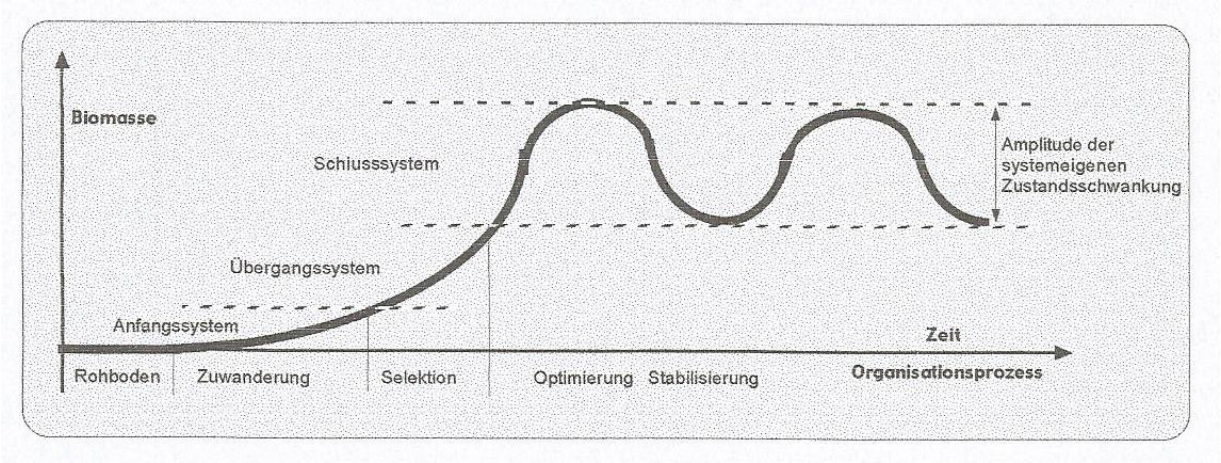


Abb. 12 Primärsukzession - Entwicklung zu einem natürlichen zyklischen Ökosystem

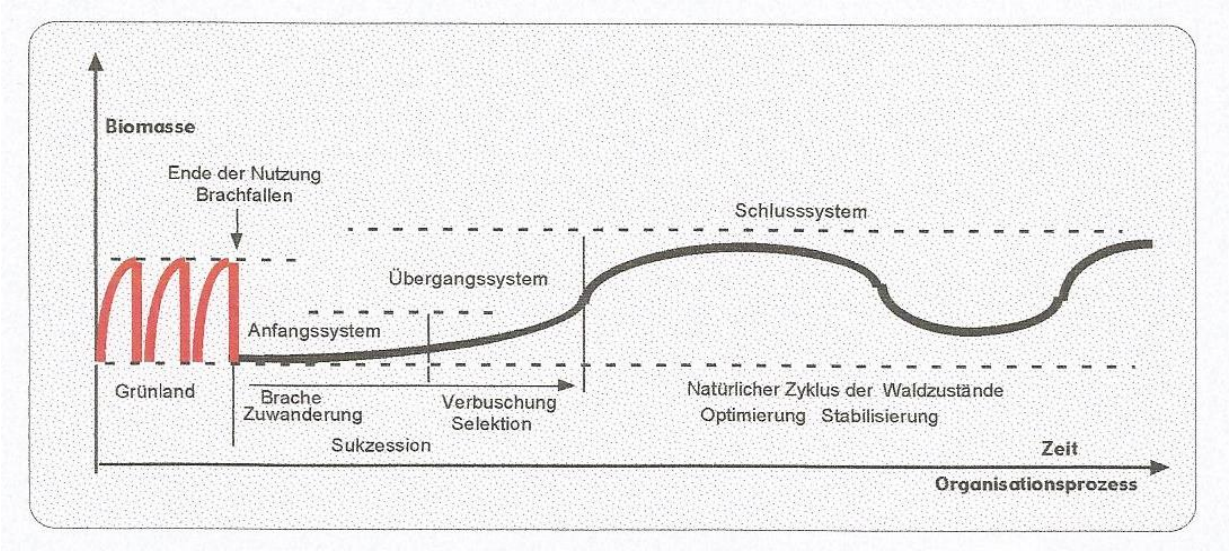


Abb. 13 Sekundärsukzession - Entwicklung eines Agrosystems zu einem natürlichen zyklischem Ökosystem

Die Sukzession eines Ökosystems ist die zeitliche Abfolge unterschiedlicher Entwicklungsphasen, die sich infolge gerichteter, endogen und exogen bedingter Veränderungen ergibt. Dabei gleichen sich die auftretenden Schwankungen und Unterschiede im Verlauf nicht aus. Vielmehr nimmt die Divergenz zwischen dem Ausgangsstadium und den weiteren Sukzessionsstadien ständig zu. Zwischenzeitlich können allerdings längerfristige Zustände mit nur geringen Veränderungen der Artenzusammensetzung auftreten.

Im Bestreben das Umweltangebot so effektiv wie möglich zu nutzen, erfolgt ein Artenwechsel und infolge dessen auch eine Veränderung der biotischen Beziehungen. Die Fähigkeit der R-Strategen, die als Pionierarten fungieren, reichen schließlich nicht mehr aus, sich gegenüber den K-Arten durchzusetzen, die sich nun einfinden. Während die Pionierarten sich hauptsächlich mit den abiotischen Faktoren auseinandersetzen und Verluste durch eine

hohe Vermehrung der Nachkommen kompensieren, sind die neuen Arten in der Lage, trotz geringerer Nachkommen aber bei besserer Ausnutzung der Umweltgegebenheiten, sich auch gegenüber biotischen Konkurrenten und Widersachern zu behaupten. Die Besitznahme führt in zunehmendem Maße zum Wettbewerb um Ressourcen und endet aber mit einer Artenzusammensetzung (Diversität) und Artenverteilung (Dispersion), die den jeweiligen Lebensmöglichkeiten entspricht (H. J. MÜLLER 1984).

Mit der Artenzahl verschieben sich nicht nur die Dominanzverhältnisse, im Verlauf der Sukzession steigt auch die Biomasse (standing crop). Die kurzlebigen autotrophen R-Strategen sind als Anfangsarten auf schnelles Wachstum und eine hohe Brutto-Primärproduktion ausgerichtet. Zwischen Pioniergesellschaft und Lebensstätte besteht zunächst eine positive Rückkopplung. Mit der Zunahme der neuen Arten steigt die trophische Diversität und ein immer geringerer Anteil der Primärproduktion wird von Konsumenten verbraucht. Ältere Sukzessionsstadien neigen mehr zur Biomasse, so dass sich das Verhältnis von Energieumsatz und Biomasse zu Gunsten der Biomasse verschiebt. Der Systemhaushalt wird immer effektiver. Der Abbau des organischen Abfalls erhält eine zentrale Rolle, um Anreicherungen toter organischer Substanz so gering wie möglich zu halten und die bestmöglichste Rückführung von Mineralstoffen zu erreichen. Die K-Strategen sind auf Grund ihrer besseren Umweltausnutzung anpassungs- und durchsetzungsfähiger. Mit einem ausbalancierten Stoff- und Energieumsatz hat das Ökosystem seinen Reifezustand erreicht. Die negative Rückkopplung bestimmt jetzt das System.

Bei einer Sukzession wird davon ausgegangen, dass sie, sofern sich die Umweltbedingungen nicht entscheidend ändern, mit einem vorläufigen Schlussökosystem (Klimax) endet, in dem Pflanzen und Tiere eine Lebensgemeinschaft entwickelt haben, deren Systemrhythmus jetzt vorwiegend durch endogene Lebensprozesse bestimmt wird. Im europäischen Klimabereich sind es natürlicherweise immer den örtlichen Gegebenheiten entsprechende Waldökosysteme, sofern z.B. der Boden nicht zu nass oder nicht zu trocken ist. In solchen Fällen bilden beispielsweise Flach-, Zwischen- und Hochmoore, Seemarschen, Dünen oder alpine Rasen und Heiden die Schlussökosysteme.

Die menschliche Nutzung unterbricht die Sukzession, schafft und fixiert anthropogen überformte Ausprägungen. In einem natürlichen Waldökosystem der gemäßigten Breiten ist die stationäre Biomasse der Phototrophen (Baumbestand) maximal, die Netto-Primärproduktion hingegen minimal. Produziert wird nur so viel, wie wieder veratmet wird (W. LARCHER 1984) (Abb. 14). Die Nutzung eines solchen Waldökosystems versetzt es hingegen immer wieder in Zustände zurück, deren Netto-Primärproduktion größer ist als die Gesamtatmung. Je näher deshalb das aktuelle Waldökosystem dem zonalen Schlussökosystem ist, umso geringer wird der Nettoertrag. *„Es kann der wirtschaftende Mensch also kaum hohe Erträge aus klimaxnahen Ökosystemen herausholen. Er ist auf unreife Ökosysteme angewiesen, die eine hohe Produktion aufweisen und somit hohe Erträge abwerfen*“ (F. A. KLÖTZLI 1989).

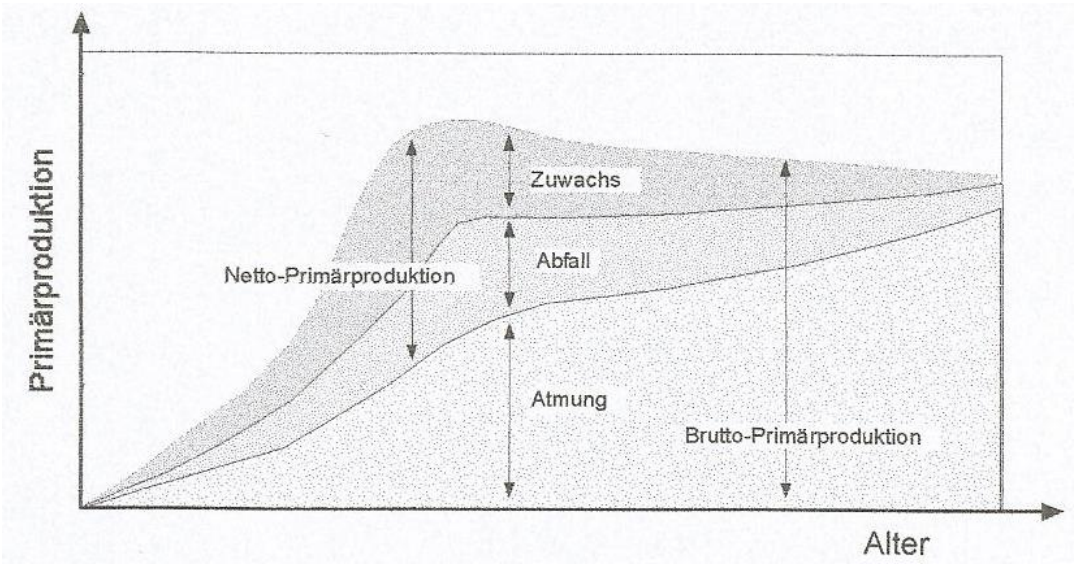


Abb. 14 Brutto- und Netto-Primärproduktion und Gesamtatmung in einer Waldformation bei zunehmendem Bestandsalter
(Quelle: W. LARCHER 1984, verändert)

(B) Das Gleichgewicht und die Stabilität

Die Begriffe ökologisches Gleichgewicht und ökologische Stabilität werden in der Regel als charakteristische Eigenschaften von Ökosystemen genannt. Beide beziehen sich auf den gleichen Sachverhalt, nähern sich aber jeweils von verschiedenen Betrachtungsstandpunkten aus dem Ökosystem. Beide Begriffe sollen das Verstehen der Selbstorganisation und Selbsterhaltung ökologischer Systeme erleichtern. **Gleichgewicht und Stabilität** werden hier jedoch nicht im üblichen Sinn verstanden, sondern als Phänomene, die durch das Wirken der Lebensgemeinschaft oder von Teilen davon als jeweils operatives Ganzes zustande kommen. Beide beschreiben jedoch verkürzt und missverständlich Sachverhalte, die zutreffender und umfassender als **dynamisches Systemverhalten** einzuordnen sind, d.h. als **dynamisches Gleichgewicht** und **dynamische Strukturstabilität.**

Das dynamische Systemverhalten natürlicher Ökosysteme ist nicht nur das Ergebnis stattgefundener, sondern auch die Basis möglicher künftiger evolutiver Prozesse.

(a) Das dynamische Gleichgewicht

Als Gleichgewicht wird allgemein ein Zustand bezeichnet, bei dem die Gewichtung gleichmäßig verteilt ist und sich die Waage hält. Das Bild der Waage verdeutlicht dabei, dass unterschiedliche Substanzen beteiligt sein können, die jeweiligen Kräfte aber von gleicher Bedeutung sind.

L. v. BERTALANFFY entwickelte bereits 1953 den Begriff des **Fließgleichgewichts**, der die dynamische Situation eines ökologischen Systems treffend ausdrückt. Solche Systeme sind zu keiner Zeit in einem ruhenden Gleichgewichtszustand. Schwankungen bei den abiotischen Umweltkomponenten und lebenszeitliche Veränderungen bei den biogenen Komponenten bewirken durch ihren Einfluss einen stetig in bestimmten Grenzen sich verändernden und

wechselnden Stoff- und Energiefluss, verbunden mit entsprechend variierenden Systemzuständen. Eine Veränderung des Systemcharakters erfolgt erst dann, wenn für die biogene Systemkomponente die existenziellen Vorrausetzungen nicht mehr gegeben sind.

Dieses dynamische Gleichgewicht beschreibt Systemsituationen in denen die beteiligten biotischen und abiotischen Komponenten zusammenwirken. Arten und Artengruppe, Strukturen und Funktionen stehen in einem spezifischen Verhältnis zueinander (A. GIGON, H. BOLZERN 1988), das sich aber nur ausbilden kann, wenn die erforderlichen Umweltbedingungen andauern. Dabei werden die Zustände der Ökosysteme hauptsächlich von zwei Kräftegruppen geprägt, von den exogenen jahreszeitlichen und tageszeitlichen Rhythmen, die das Verhalten und die Lebensweise der biogenen Komponenten steuern, sowie von endogenen Kräften der biogenen Komponenten der Biozönose, wie z.B. durch Lebensdauer und Alter der Individuen, Geburten- und Sterberaten, Individuendichte oder Veränderungen im Stoff-Wasser- und Energieumsatz, die regulativ wirksam werden.

Mit dynamischem Gleichgewicht bzw. Fließgleichgewicht ist gemeint, dass trotz regelmäßiger oder unregelmäßiger Zustandsänderungen die systemimmanenten Grenzen nicht überschritten werden und das jeweils charakteristische Beziehungs- und Interaktionsgefüge im Ökosystem bzw. der Biozönose fortbesteht. Ein Charakteristikum ist, dass die operativ beteiligten biogenen Komponenten der Biozönose durch Evolution und Koevolution sich selbst entwickelten und verändern.

Mit direktem Blick auf die Biozönose, der operativen Komponente, wurde auch der Begriff *biozönotisches Gleichgewicht* konzipiert (H. J. MÜLLER 1984). Er bezieht sich auf den gleichen Sachverhalt, auf Zustände, bei denen trotz Variabilität und Schwankungen der biogenen Strukturen das charakteristische Abhängigkeits- und Wirkungsgefüge der jeweiligen Biozönose fortbesteht. Von besonderer Bedeutung erweisen sich dabei *„die qualitativen, spezifischen und oft koevolutiven Beziehungen zwischen Arten, Populationen oder Artengruppen“* (A. GIGON, H. BOLZERN 1988). Dazu gehören z.B. Beutegreifer-Beute-Beziehungen, Wirt-Parasit-Beziehungen oder Symbiosen.

Das dynamische Gleichgewicht erweist sich somit als komplexes natürliches Phänomen, das aber als Ganzes kaum fassbar ist und lediglich durch Herausgreifen einzelner quantitativer und qualitativer Aspekte zugänglich wird. Im Vordergrund einer quantitativen Betrachtung stehen Energiefluss, Stoffumsatz, Biomasse sowie Arten- und Individueninventar. Aus qualitativer Sicht handelt es sich in erster Linie um die trophischen Funktionen der beteiligten Arten. Unter diesen Gesichtspunkten lassen sich so die Verhältnisse zwischen verschiedenen Teilen des ökologischen Systems feststellen, z.B. als entsprechender Energiefluss, Stoffumsatz oder entsprechende Verteilung der Ressourcen. Für die verschiedenen Aspekte bedeutet das, ob ihre Verfügbarkeit für die jeweiligen lebensdienlichen Erfordernisse in relevanten Grenzen gewährleistet. Das gleiche gilt ebenso für das Verhältnis der von den Arten wahrgenommenen Funktionen hinsichtlich Produktion, Konsumtion und Abbau.

Zur Verdeutlichung eines dynamischen Gleichgewichts sollen die natürlichen Vegetationsverhältnisse im Bergmischwald dienen. Im aktuellen Erscheinungsbild lässt sich ein Nebenei-

nander verschieden großer Teilbereiche erkennen, die sich nach Zusammensetzung und Alter der Baumarten unterscheiden. Doch dieses Mosaik ist nur ein Ausschnitt/Moment aus einem räumlich und zeitlich ablaufenden Prozess, bei dem sich in den Teilflächen diese verschiedenen, nach Alter und Baumartenzusammensetzung strukturierten Bestandsphasen abwechselnd entwickeln. Diese Dynamik orientiert sich dabei am Wachstum und Absterben der Baumarten, wobei jeweils das ganze Spektrum von der Verjüngungs-, Jugend-, Optimal- und Alterungsphase durchlaufen wird (Abb. 15). In den Teilflächen selbst herrschen verschiedene Verhältnisse zwischen Aufbau und Abbau als Ausdruck der jeweiligen Zustandsphase. Im Gesamtbestand hingegen halten sich Aufbau und Abbau die Waage solange sich die erforderlichen Umweltbedingungen nicht ändern.

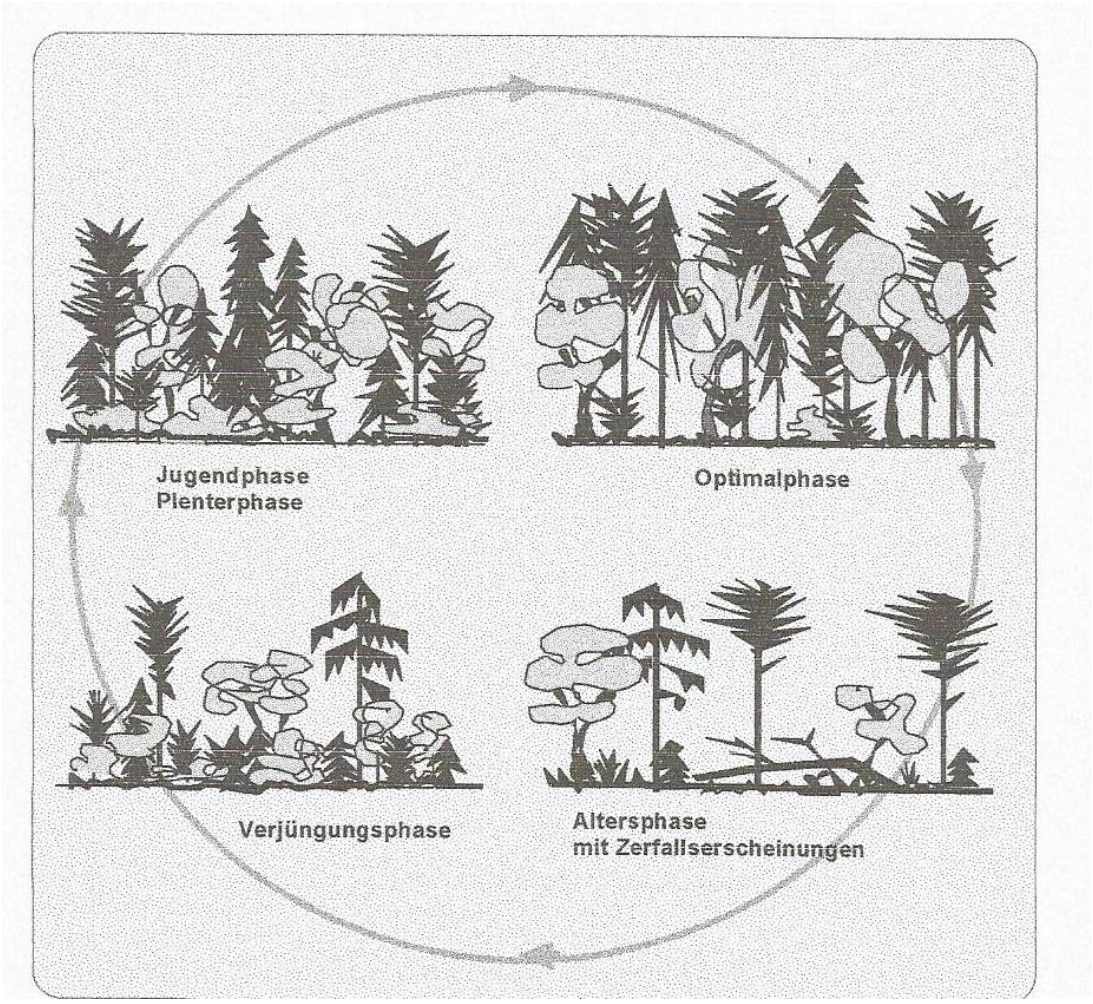


Abb. 15 Bestandsphasen im natürlichen Bergmischwald

(b) Die dynamische Strukturstabilität

Mit Stabilität wird allgemein die Fähigkeit bezeichnet, bei sich ändernden Bedingungen z.B. die eigene Situation, den eignen Zustand oder die eigenen Leistungen weitgehend beizubehalten. Stabilität bezieht sich auf ein Widerstandspotenzial im Spannungsfeld zwischen vorhandener Situation und Veränderung der Bedingungen. Als Bild dient die Blattfeder, die sich bei Zugkräften verbiegt, nach Beendigung jedoch wieder in die Ausgangsposition zurück-

kehrt. Beim Überschreiten einer bestimmten Zugkraft wird jedoch der Biegungswiderstand aufgehoben und die Feder bricht.

Die **dynamische Strukturstabilität** eines Ökosystems entspricht gleichfalls der Fähigkeit, auch bei Veränderungen der Umweltbedingungen in bestimmten Grenzen den Charakter, die Struktur sowie die Funktion und Leistungen des biotischen Systemteils weitgehend zu erhalten. Im Vergleich zum dynamischen Gleichgewicht, das auf den Systemzustand gerichtet ist, impliziert die dynamische Strukturstabilität in erster Linie die Fähigkeit, Umweltveränderungen bzw. Störungen durch die operativen biogenen Komponenten im System strukturell zu kompensieren oder sich anzupassen (A. GIGON 1983).

Auch die ökologische Stabilität ist ein komplexes und dynamisches Phänomen, das als Ganzes kaum fassbar ist und nur über die einzelnen **stabilisierenden Strukturen** zugänglich wird. Das sind in erster Linie solche der Pufferung, Reservefunktion, Risikoverteilung, effizienten energetischen und stofflichen Nutzung und der Funktion von Biosystemen (Abb. 16). Ihre Ausprägung und Bedeutung kann jedoch in den jeweiligen Ökosystemen sehr unterschiedlich sein.

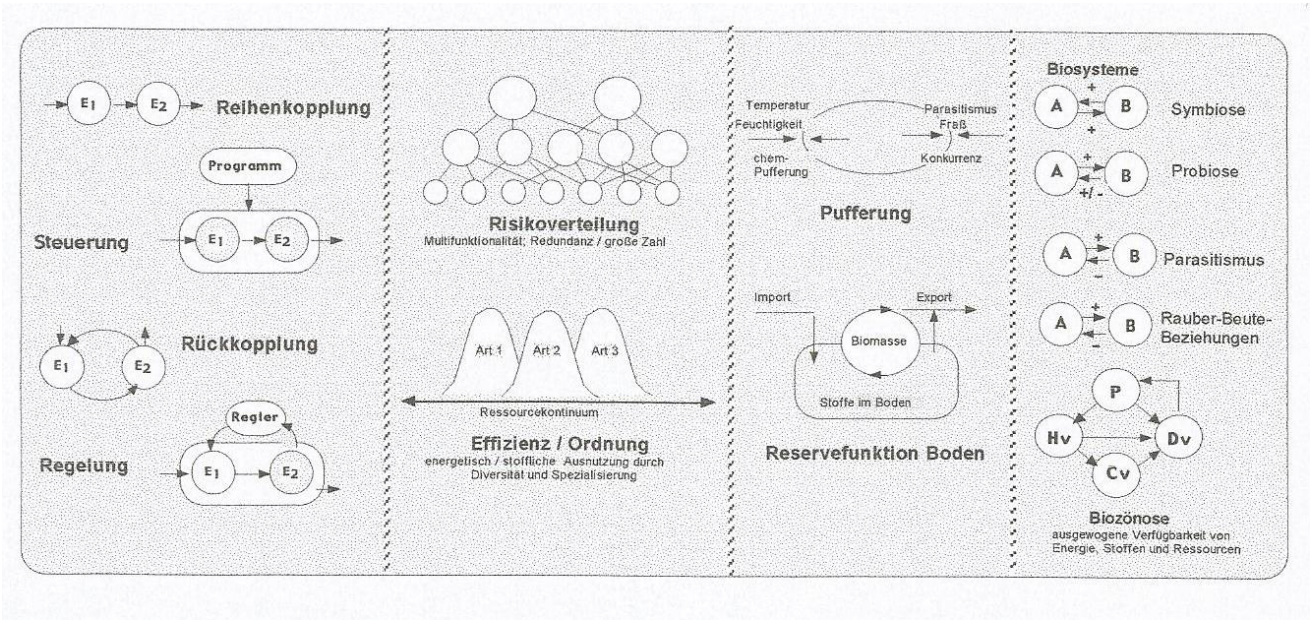


Abb. 16 Stabilisierende Strukturen in Ökosystemen

In terrestrischen Biozönosen bilden z.B. Strukturen wie Bestandsschichtung, Artengarnitur oder Bodeneigenschaften Puffer gegen klimatische Einflüsse, eindringende Arten oder chemische Einflüsse aus dem Umfeld des Ökosystems. Kurzfristige Änderungen im Stoffimport und Stoffexport wirken sich auf den Stoffkreislauf zumindest in den gemäßigten Breiten wenig aus. Der Stoffkreislauf reagiert träge und die hier um ein Vielfaches größeren und mobilisierbaren Stoffreserven im Boden sind ein wesentliches stabilisierendes Element. Viele Arten besitzen ein relativ breites Nahrungsspektrum wodurch das Risiko einer Nahrungsverknappung gemildert wird. Eine Risikoverteilung gilt in allen Fällen, wenn durch Vielfalt oder Vielzahl Komponenten stellvertretend wirksam werden. Durch Vielfalt und Spezialisierung ergibt sich eine effizientere Nutzung der Energie und Stoffe. Nicht zuletzt sind es die systemischen

Beziehungen zwischen Arten selbst, die einen wesentlichen stabilisierenden Beitrag leisten und von Biosystemen wie Symbiose und Probiose, Parasitismus und Beutegreifer-Beute-Systemen bis hin zur strukturierten Lebensgemeinschaft Biozönose reichen (Abb. 17). Die jeweiligen funktionalen Bindungen sind Kopplung bzw. Steuerung und Rückkopplung bzw. Regelung (A. GIGON, H. BOLZERN 1988).

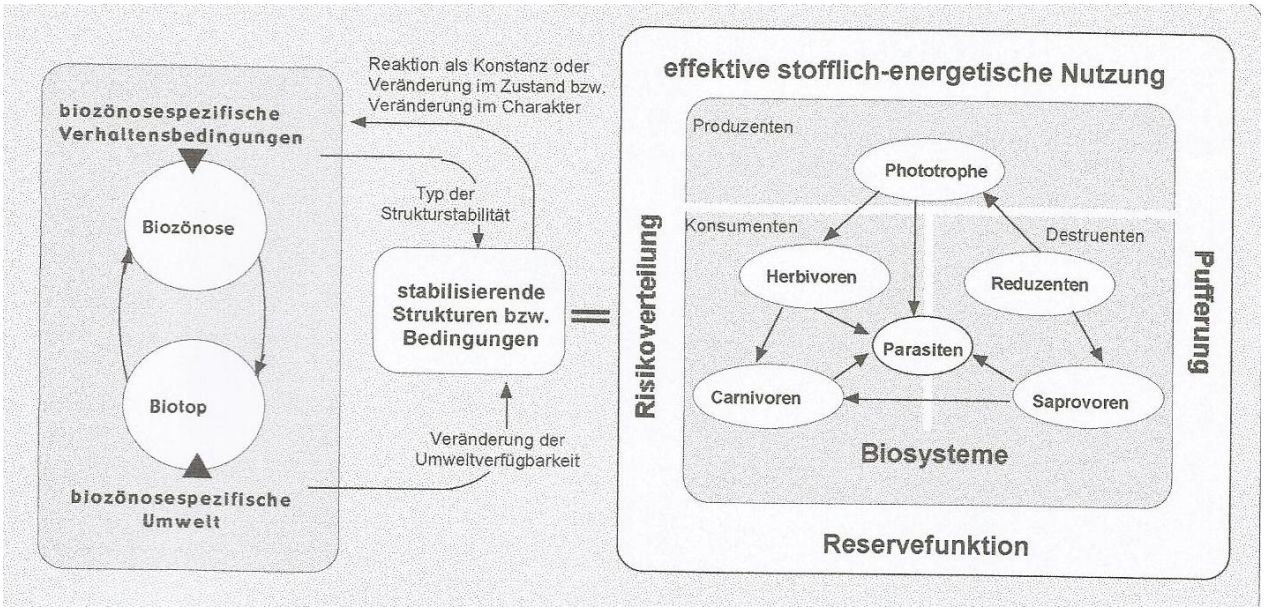


Abb. 17 Stabilisierende synökologische Regelungsstrukturen

Das Bestreben natürlicher Ökosysteme, ihren jeweiligen Charakter und ein entsprechendes Systemniveau beizubehalten, bewegt sich immer zwischen stabilitätsrelevanten Strukturen der Biozönose und eventuellen Störfaktoren der Umwelt. Als **Grundtypen für das Stabilitätsverhalten sind Konstanz, Zyklizität, Resistenz und Elastizität** erkennbar.

Konstanz und **Zyklizität** beziehen sich auf Systeme, die von sich aus keine Neigung zeigen, einen gleichbleibenden bzw. zyklisch verlaufenden Strukturzustand zu verändern. **Resistenz** zeigen Systeme, die Störfaktoren Widerstand entgegen setzen und in gewissen Grenzen keine Zustandsänderung erkennen lassen. **Elastizität** weisen Systeme auf, die bei Störfaktoren in Grenzen Veränderungen zeigen, nach Ende der Störung aber den Ausgangszustand wieder einnehmen. Der Grad der Rückkehrbarkeit ist dabei systemspezifisch (A. GIGON 1984; A. GIGON, H. BOLZERN 1988; F. A. KLÖTZLI 1989).

Das ökosystemische Verhalten lässt sich an unterschiedlichen Beispielen verdeutlichen.

- Der tropische Regenwald ist ein hochgradig strukturiertes und durch eine hohe Nischendichte geprägtes Ökosystem. Auf Grund der gegebenen Bedingungen, insbesondere seines schnellen Energie- und Stoffumsatzes wegen, ist er ein strukturstabiles Ökosystem. Die außergewöhnliche Artenvielfalt und ihre extreme Spezialisierung, die Strukturkomplexität und teilweise Langlebigkeit der bestandsbildenden Arten sowie eine mangelnde Reservefunktion der Böden implizieren aber zugleich eine äußerste Empfindlichkeit gegenüber Störung und Veränderung seiner Bedingungen. In-

tensive selektive Holznutzung oder gar Rodung führen dazu, dass vor allem der schnelle Stoff- und Energieumsatz aufgehoben wird, zumal kaum Stoffreserven im Boden vorhanden sind. Gegenüber der ursprünglichen Diversität und Komplexität entsteht lediglich ein wesentlich ärmeres Ökosystem mit einer neuen Strukturstabilität und anderem Charakter.

- Der Laubmischwald gemäßigter Breiten ist natürlicherweise ebenfalls ein strukturstabiles, relativ arten- und nischenreiches Ökosystem. Seine stabilisierenden Komponenten sind aber offenbar so elastisch, dass selbst nach einer längeren intensiveren Nutzung die Sukzession wieder zu einer Artenzusammensetzung führt, die dem vormaligen Charakter weitgehend entspricht, sofern die Umweltrahmenbedingungen erhalten geblieben sind. Beispielsweise werden, bei ausreichender Zeit, sich selbst überlassene Fichtenforste auf den jeweiligen Standorten wieder in entsprechende Laubmischwälder mit der zugehörigen Tierwelt umwandeln. Allerdings werden sich Abweichungen in der Artenzusammensetzung ergeben, wenn die Nutzung beispielsweise die Bodenverhältnisse durch Verdichtung, Vernässung und/oder Versauerung stark verändert hat.

- Oft wird eine hohe Artenzahl im Ökosystem von vornherein mit Strukturstabilität gleichgesetzt. Die deskriptive Erfassung spiegelt die Komplexität eines solchen Systems nur bedingt wider und sagt noch nichts über die Bedeutung der Arten für die Systemstabilität. Im konkreten Fall sind stabilisierende Strukturen, einschließlich entsprechender spezifischer Fähigkeiten bestimmter Arten, entscheidend. So können auch relativ artenarme Biozönosen durch die Konkurrenzkraft bestimmender Arten, wie z.B. an den extremen Standort angepasste und ausgedehnte Schilfbestände, sehr strukturstabil sein. Die Bedeutung von Arten für ein Ökosystem zeigt sich dann, wenn für sie der Fortbestand der erforderlichen lebensdienlichen Bedingungen an Grenzen stößt und sie ihre Funktion nur noch unvollkommen oder gar nicht mehr erfüllen können. Ein empfindliches Verhalten gegenüber systemunverträglichen Störungen zeigen hingegen artenärmere arktische Systeme. Von einem extremen Kälteklima abhängig, bietet ein sehr eingeschränktes Ressourcenangebot nur einer begrenzten Anzahl speziell angepasster Arten Lebensmöglichkeiten. In diesem Fall reicht eine Klimaerwärmung aus, um Veränderungen im Systemniveau und Systemcharakter auszulösen.

Bei den aufgezeigten Beispielen ist neben der Fähigkeit zur Strukturstabilität noch eine weitere Fähigkeit der Ökosysteme erkennbar. Wenn im Vergleich zu den bisherigen Systembedingungen unverträgliche, natürliche und/oder anthropogene Störgrößen bzw. Einflüsse auftreten, sind Ökosysteme mittels ihrer biotischen Komponenten in der Lage, die Struktur umzubauen, sich neu zu organisieren und anzupassen, auf eine andere Systemebene, in ein System mit einem anderen Charakter und neuer Strukturstabilität überzuwechseln.

Wie verquickt allerdings die Zusammenhänge zwischen Sukzession und Stabilität sind, zeigt beispielsweise die Situation in mitteleuropäischen Flussauen (Abb. 18). In Abhängigkeit von

der Dynamik der Wasserführung entwickelt sich natürlicherweise ein Mosaik von unterschiedlich strukturierten Lebensräumen/Ökosystemen. Dabei überlagern sich verschiedene Einflüsse. Häufigkeit und Höhe der Überflutung in Verbindung mit Sedimentationsvorgängen bedingen eine zonale Gliederung. Gleichzeitig führen Abtragung und räumliche Verlagerung von Material in betroffenen Bereichen zu regressiven Entwicklungen. Je nach Stärke des Wassereinflusses, Festigkeit des Bodensubstrates und Art der Vegetation werden dabei bestehende Ausprägungen wieder auf vorausgegangene Sukzessionsstadien zurückgeworfen. Mit Annäherung an den Fluss nehmen unter natürlichen Bedingungen solche sich immer wieder ablösenden Regressions- und Sukzessionsvorgänge zu.

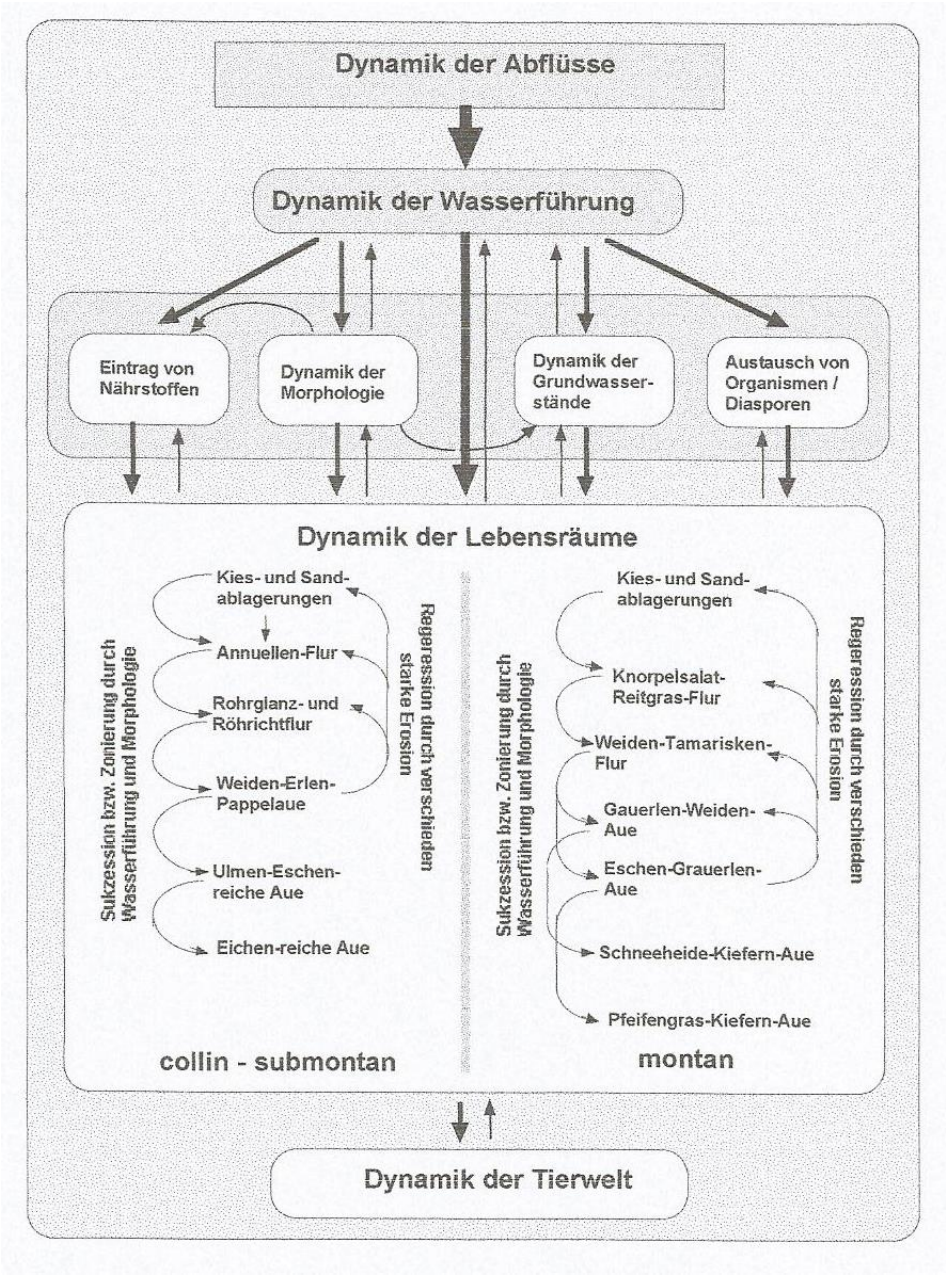


Abb. 18 Schema zur Systemdynamik einer kollinen-submontanen und einer montanen Aue

3 Die Evolution des Systems Erde

Mit Evolution wird heute ein Gesamtprozess bezeichnet, der im Kern vier (quantitativ und qualitativ) differenzierende Phasen umfasst: Den Urknall und die Entstehung des frühen Universums, die Entstehung der Materie und Entwicklung zum Planeten Erde, die Entstehung und Entwicklung des organismischen Lebens und schließlich die Entstehung und Entwicklung des Menschen (Tab. 1). K. JASPERS (1955) hat dazu bemerkt: *„Die Frage nach dem Unterschied von Mensch und Tier, und damit die Frage nach der Menschwerdung, ist vielleicht die erregendste Frage“.*

Zeitraum	Hauptprozeß	Prozessaspekte
Seit 15 Milliarden Jahren	**Kosmische Evolution**	Urknall Entstehung der Elementarteilchen Bildung der Atome Entstehung der Galaxien Entwicklung der Sterne Bildung des Sonnensystems
Seit 5 Milliarden Jahren	**Geologische und chemische Evolution**	Entstehung der Erde Bildung der Kontinente Gebirgsbildung Erosion Klimaveränderungen Bildung von Eiweißverbindungen
Seit 4 Milliarden Jahren	**Biologische Evolution in reduzierender Atmosphäre**	Biogenese Bakterien Algen Einzeller
Seit 2 Milliarden Jahren	**Evolution der Tiere und Pflanzen in Sauerstoffatmosphäre**	Vielzeller Fische Reptilien Insekten Vögel Säugetiere
Seit 10 Millionen Jahren	**Entwicklung des Menschen**	Hominiden Urmenschen Altsteinzeit Rassendifferenzierung Gentilgesellschaft
Seit 10 000 Jahren	**Entwiklung der Gesellschaft**	Neusteinzeit Dynastien Sklavenhalterstaaten Feudalstaaten Nationalstaaten Globalisierung
Seit 200 Jahren	**Technische Entwicklung**	Dampfmaschine Eisenbahn Elektrizität Kraftfahrzeuge Luftfahrt Kernenergie Raumfahrt Informationstechnik Gentechnik

Tab. 1 Der Gesamtprozess der Evolution

(Quelle: DFG 2014)

3.1 Die frühe Entwicklung

GEORGES LEMAITRE gilt als Begründer der Urknall-Theorie, der 1931 für diesen heißen Anfangszustand des Universums zunächst die Begriffe *„primordiales Atom“* oder *„Uratom“* wählte. Sir FRED HOYLE sprach hingegen nur vom „big bang“, weil er als Vertreter der konkurrierenden *„Steady-State-Theorie*“ die neue Theorie von LEMAITRE verspotten wollte (K. WEINBERG 2012; DLR 2015; WIKIPEDIA - Urknall 22.08.2015).

Es ist nicht bekannt was vor dem Urknall war oder was den Urknall ausgelöst hat. Der Theorie zufolge setzte der Urknall (‘Big Bang’) an einem energetisch hochverdichteten Punkt an. Nach diesem punktförmigen Beginn entwickelte sich aus einem extrem heißen Feuerball das neue Universum, das sehr schnell und sehr stark zu expandieren begann. Es hat unterschiedliche Entwicklungsphasen durchlaufen.

Der Urknall - als das Nichts vor rund 15 Milliarden explodierte - gilt jedenfalls heute als verantwortlich für die Entstehung:

- der Materie (Dinge) und der Strahlung (Licht, Wärme);
- des Raumes (worin die Dinge sind und sich bewegen);
- der Zeit (in der sich Dinge ändern oder im Raum bewegen).

Im Laufe der weiteren Entwicklung bildeten sich Galaxien, darunter die heutige Milchstraße, innerhalb der wiederum das Sonnensystem mit den Planten entstand, darunter die Erde. Physikalische Langzeit-Prozesse und später auch solche geologischer Art haben zur Entstehung der in diesem Zusammenhang wichtigen Gestirne geführt.

Die heiße und leuchtende **Sonne** entstand vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren aus einer sich verdichtenden Gas- und Staubwolke, deren Materie zum Teil von anderen Sternen stammte, die zuvor bereits wieder explodiert waren.

Die **Erde** entstand, wie die anderen Planeten unseres Sonnensystems auch, aus der gleichen Gaswolke wie die Sonne. Auch die Erde war anfangs durch die Verdichtung sehr heiß. Als kleineres Gestirn leuchtete sie aber nicht selbst, kühlte schnell ab und entwickelte eine feste Kruste. Dennoch hat sie auch heute noch ein recht heißes Innenleben, das bei Erdbeben und Vulkanausbrüchen erkennbar wird und die außerdem zeigen, wie dünn diese Erdkruste immer noch ist.

Wie der Erdbegleiter **Mond** entstanden ist, kann bis heute nicht genau erklärt werden. Das Kollisionsszenario ist die bislang plausibelste Theorie zum Ursprung des Mondes. Demnach schrammte vor rund 4,5 Milliarden Jahren ein Gesteinsriese die noch unwirtliche Erde. Den Aufprall überstand dieser nicht und verschmolz größtenteils mit der Erde. Doch Trümmer der Kollision schleuderten zurück ins All, kreisten um den noch jungen Planeten und ballten sich im Laufe der Zeit zum Trabanten Mond zusammen. Erstmals deuten chemische Spuren im Mondgestein auf diese kosmische Kollision. Eine denkbar winzige Signatur wurde in Basaltklumpen entdeckt, die Astronauten von 3 Apollo-Missionen auf die Erde mitgebracht hatten (D. HERWARTZ et al. 2014; S. STOCKRAHM 2014).

3.2 Die biologische Evolution

Der heutige Zustand der Erde ist das Ergebnis eines sehr langen und bemerkenswerten Entwicklungsprozesses, der als Folge der kosmischen Evolution (beginnend mit dem Urknall vor rund 15 Milliarden Jahren) zur Entstehung der Erde vor rund 4,6 Milliarden Jahren führte, deren ganz besonderes Merkmal aber **die Entwicklung und der Fortbestand des Lebens** ist.

3.2.1 Die Lebewesen

Ein Organismus/Lebewesen ist ein materielles offenes System, das sich selbst organisiert, sich in Grenze selbst erhält und aus dem geordneten Zusammenwirken seiner Struktur als ein operatives Ganzes agiert und reagiert. Darin manifestiert sich die besondere Systemeigenschaft Leben. Lebewesen sind organisierte Einheiten, die unter anderem zu Stoffwechsel, Fortpflanzung, Reizbarkeit, Wachstum und Evolution fähig sind. Lebewesen prägen entscheidend das Bild der Erde und die Zusammensetzung der Biosphäre (W. K. PURVES et al. 2006).

Die Kenntnisse über die Entstehung des Lebens, von den ersten organischen Molekülen und den ersten Mikroorganismen, sind sehr gering. Zur Entstehung des Lebens gibt es verschiedene Theorien. Es wird vermutet, dass sich die ersten organischen Verbindungen vor etwa 3,5 Milliarden gebildet haben, aus denen erst Einzeller und dann komplexere Lebewesen entstanden sind. Es wird davon ausgegangen, dass erst im Zeitraum vor 4.0 und 3.9 Mrd. Jahren die Erde soweit abgekühlt war und erforderliches Wasser sich flüssig an der Oberfläche halten konnte. Die ersten Lebensformen waren einzellig, die ersten fossil überlieferten Einzelbakterien aus der Zeit vor 3.1 Mrd. sahen heutigen Bakterienzellen in Stäbchenform ähnlich. Vermutlich ernährte sich das erste Leben durch einen Gärungsstoffwechsel, der die Nährstoffe ohne Verwendung von Sauerstoff abbaut (H. BRENNER 2012; B. LEITENBERGER o.J.; SPIEGEL ONLINE GmbH 2012).

Ein besonders spannendes Kapitel beginnt mit der chemischen Umwandlung der sauerstofflosen Gashülle. Eine Milliarde Jahre nach den ersten Organismen verändern *Cyanobakterien* die Lebensbedingungen auf der ganzen Erde entscheidend. Diese winzigen Einzeller nutzen das Sonnenlicht zur Photosynthese und setzen dabei als Abfallprodukt Sauerstoff frei. *„Die frühe Biosphäre bewirkte einerseits die dynamischen Veränderungen im System Erde und stellte auf diese Weise unsere heutigen Lebensgrundlagen bereit, wie z.B. durch die Bildung von freiem Sauerstoff seit etwa 2,6 Milliarden Jahren. Andererseits wirkte die Biosphäre als Stabilitätsfaktor über rund 4 Milliarden Jahre hinweg, und ermöglichte den Verbleib der Erde im ´vitalen´ Fenster" unseres Sonnensystems. Auch unsere Nachbarplaneten Mars und Venus waren zeitweilig im ´vitalen Fenster´, konnten sich dort aber nicht dauerhaft behaupten“*
(W. OSCHMANN 2006; H. BRENNER 2012).

Weitere entscheidende Entwicklungen ergaben sich mit dem Landgang der Organismen. Damit wird die allmähliche Anpassung von aquatischen Lebewesen an eine terrestrische Lebensweise bezeichnet, der Prozess der Landbesiedelung durch zuvor ausschließlich an ein Leben im Wasser angepasste Organismen. Dieser Prozess geschah wiederholt und unabhängig voneinander in verschiedenen Organismengruppen.

Relativ gut dokumentiert durch fossile Belege ist der Landgang der Pflanzen, der heute auf die Zeit vor 480 bis 460 Millionen Jahren - ins frühe Ordovizium - datiert wird. *Cooksonia* ist

zumindest die erste Pflanze, die man als vollständiges Fossil aus dieser Zeit gefunden hat. Die aufkommenden Landpflanzen entzogen der Atmosphäre Kohlendioxid. Eine im Ordovizium nachweisbare, merkliche Abkühlung des Klimas wird als Folge der Beeinflussung des Kohlenstoffzyklus durch die Landbesiedelung früher Pflanzen interpretiert (H. STEUR 2015).

Die Entwicklung der ersten vierbeinigen Wirbeltiere aus anfangs eher fischähnlichen Wesen, die vor rund 400 Millionen Jahren das Land zu erobern begannen, ist bisher nur in Teilen klar. Jedenfalls aber mussten sie sich in zweierlei Hinsicht umstellen. Zum einen benötigten sie Lungen, um den Sauerstoff direkt aus der Luft aufzunehmen und an ihr Blut weiterzugeben. Zum anderen aber mussten sie ihre Fortbewegung anpassen, denn an Land fehlte der Auftrieb, der im Wasser das Schwimmen ermöglichte. Dazu wurde eine biomechanische Umstellung notwendig, z.B. anstelle der Flossen stabile Beine so weit wie möglich unter den Körperschwerpunkt zu verlagern, damit die Körperlast besser getragen werden kann (WIKIPEDIA - Landgang 22.08.2015; R. NITZSCHE 2010).

Die Biosphäre hat sich im Laufe von Jahrmillionen entwickelt und ausdifferenziert. Ein wichtiges Argument für diese Evolution sind die gefundenen Fossilien in ihrer Vielfalt (Abb. 19). Sie zeigen, dass im Laufe der Geschichte des Lebens unzählige Organismenarten auf der Erde entstanden und auch wieder verschwunden sind. Diese Fossilien dokumentieren die Vorläufer vieler in der Gegenwart lebender Organismen, jedoch auch einst vitale aber inzwischen erloschene Tier- und Pflanzengruppen. Fossilien bieten aber auch Hinweise auf die ehemaligen Umwelt/Paläoumwelt in die jedes Lebewesen eingebunden war, über die besonderen Umstände, die zu seiner Erhaltung geführt haben. Ältere Gesteinsschichten enthalten Fossilien einfacher gebauter Lebewesen, in jüngeren Schichten finden sich Reste höherentwickelter Lebewesen. Trotzdem ist die über Fossilien mögliche Dokumentation nur lückenhaft, weil nur wenige Organismen, und dann nur ihre harten Teile fossil werden. Daher bleibt auch das Wissen darüber, wie sich die biologische Vielfalt terrestrischer und mariner Ökosysteme im Laufe der Zeit veränderte, lückenhaft (WIKIPEDIA - Fossil 22.08.2015).

Vor etwa 600 Millionen Jahren, unmittelbar nach einer intensiven Eiszeit im Präkambrium, traten überall auf der Welt ungewöhnliche Vielzeller auf, die als Ediacara-Fauna bekannt sind. Bis heute ist es umstritten, wie diese Organismen im Stammbaum des Lebens einzuordnen sind. Vor etwa 550 Millionen Jahren nahm ihre Vielfalt und Häufigkeit massiv ab. Erst im Kambrium (545 bis 500 Millionen Jahre) entwickelten sich Tiere, die noch heute lebenden Stämmen zugeordnet werden können. Vermutlich begannen die modernen Tierstämme sich sprunghaft auszubreiten und zunehmend zu diversifizieren, als die Ediacara-Organismen verschwanden (DFG 2014).

Die Frage, wie sich die Biodiversität auf der Ebene von Genen, Populationen und Gemeinschaften im Verlauf der Erdgeschichte verändert hat, ist nur schwer zu beantworten. Trotz technologischer Fortschritte sind wichtige Kenngrößen der Biodiversität heute noch immer unbekannt. Wie viele Arten von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen es auf der Welt gibt, weiß niemand. Schätzungen schwanken zwischen 5 und 500 Millionen.

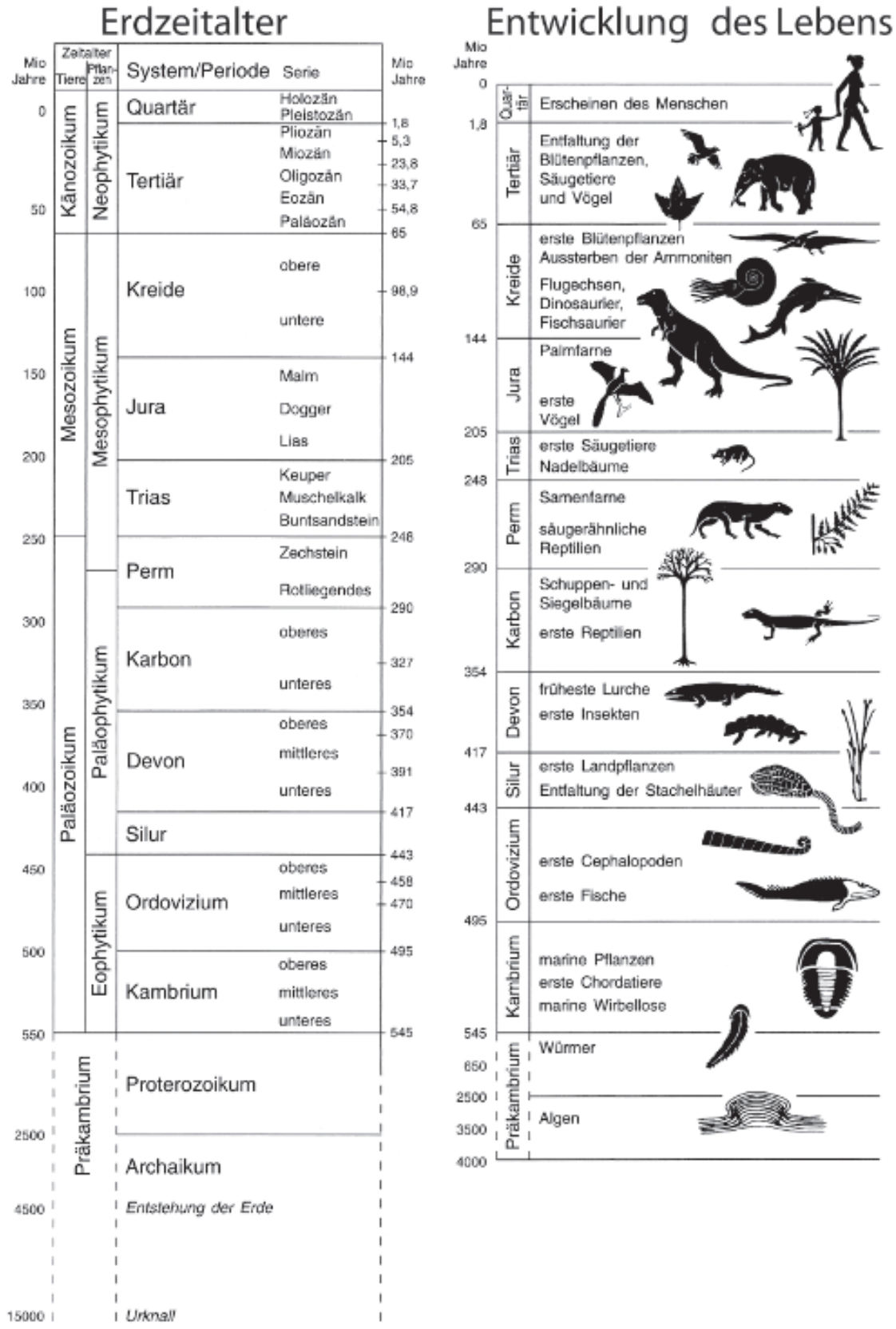


Abb. 19 Die biologische Evolution
(Quelle: R. Pott 2012)

3.2.2 Das Massensterben

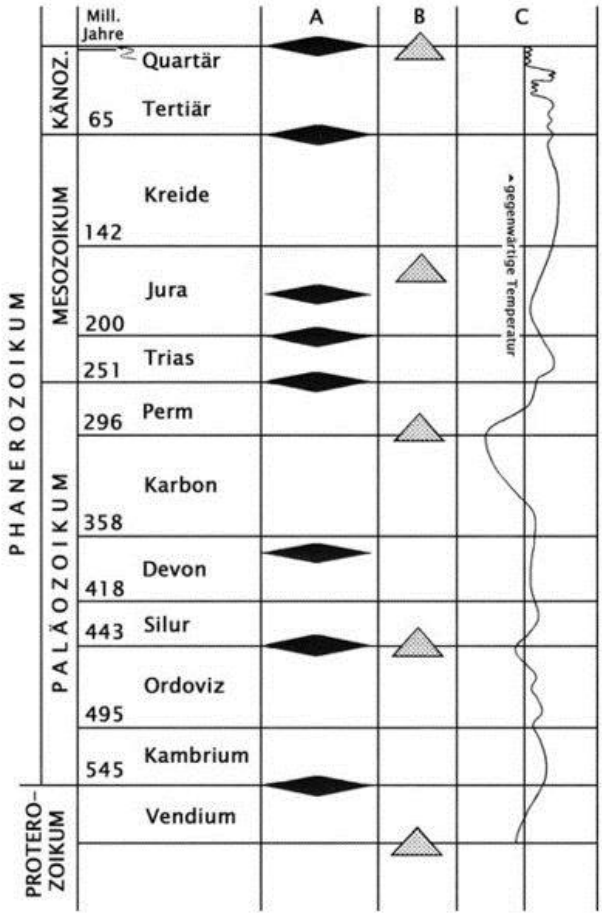
Die in der Paläobiologie erzielten Ergebnisse sind erstaunlich, denn sie zeigen, dass die Entwicklung der Lebewesen im Lauf der Erdgeschichte keineswegs ein linearer, kontinuierlich fortschreitender, sondern ein durch zum Teil erhebliche Störungen unterbrochener Prozess war (Tab. 2). Mindestens fünf Mal wurde die Biosphäre, das Leben auf der Erde, fast ausgelöscht (S. SCHORN o.J.).

Zeitraum	Periodenübergang	Betroffene Arten	Auswirkung
488 Ma	Kambrium/ Ordovizium	Brachiopoden, Conodonten, Trilobiten	
444 Ma	Ordovizium / Silur	Brachiopoden, Bryozoen, Trilobiten, Conodonten, Graptolithen	60% der marinen Arten sterben aus
360 Ma	Devon / Karbon	Riffbildner Stromatoporoidea und Tabulata, Brachiopoden, Trilobiten, Ammoniten, Conodonten, kieferlose Fische (Agnatha), Panzerfische (Placodermi)	22% der Familien, 57 % der Arten sterben aus
251 Ma	Perm / Trias	fast alle marinen Arten, landlebende Pflanzen, Insekten, Wirbeltiere	95% der marinen Arten, 53% der marinen Familien, 84% der marinen Gattungen und 70% der landlebenden Arten sterben aus
200 Ma	Trias/Jura	marine Arten, landlebende große Crurotarsi (Archosaurier), Therapsiden und große Amphibien	20% der marinen Familien
65 Ma	Kreide/ Paläogen (Tertiär)	Ammoniten und Belemniten (vollständig), Meeresreptilien, Dinosaurier	50% der Arten, 25% der Familien sterben aus.

Tab. 2 Die großen Massenaussterben
(Quelle: S. SCHORN o.J.)

Eine der spannendsten Fragen der Paläobiologie besteht darin, wieso die Vielfalt des Lebens mehrfach rapide zu- oder abgenommen hat. Besonders interessant sind die Massensterben während des Phanerozoikums.

Artensterben und Veränderung der Artenzusammensetzung sind an sich etwas ganz Normales. Arten entwickeln sich entweder weiter, werden von besser angepassten Arten verdrängt oder sterben aus weil die existenziellen Voraussetzungen nicht mehr bestehen. Es wird geschätzt, dass von allen Arten, die jemals auf der Erde existiert haben, 99,9 % ausgestorben sind (A. ZECCHINI o.J.).



A) Massenaussterben, B) Eiszeiten, C) Temperaturverlauf im Phanerozoikum gegenüber der heutigen Temperatur

Abb. 20 Massenaussterbe-Ereignisse im Phanerozoikum
(Quelle: Huch et. al. 2001; DFG 2014)

Von einem Massensterben wird dann gesprochen, wenn in einem Zeitabschnitt wesentlich mehr Arten, Spezies, Familien ausgestorben sind als in den Zeiten davor und danach und sowohl das Leben an Land als auch das Leben im Wasser betroffen ist. Die Tab. 2 und Abb. 20 zeigen im Überblick die großen, relativ gesicherten Massensterben-Episoden mit ihren Auswirkungen.

In Laufe der Erdgeschichte brach die Biodiversität mehrfach drastisch ein. Die Massensterben, wie sie sich aus Funden und deren Datierung ergeben, können aber nicht einfach nur so passiert sein. Über die Ursachen wird sehr kontrovers diskutiert. Obwohl diese Krisen bereits lange erforscht werden, sind die auslösenden Faktoren immer noch umstritten. Doch jedes dieser Phänomene muss seine eigene Ursache gehabt haben. Vielleicht war es erst das Zusammenwirken mehrerer verketteter oder zufällig zur gleichen Zeit stattfindender Ereignisse, das ein Massenaussterben ausgelöst hat.

Welche Überlegungen angestellt werden, soll am Beispiel des größten Massesterbens im Übergang vom Perm zur Trias vor 251 Millionen Jahren kurz skizziert werden. Für dieses Massensterben an der Grenze vom Perm- zum Triaszeitalter, bei dem etwa 90 % aller dama-

ligen Tier- und Pflanzenarten ausstarben, wurden bisher als Ursache Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge oder Methanhydrate vermutet.

Eine neue Theorie stellt ein Internationales Forscherteam zur Diskussion. Diese fußt auf einem Vergleich von biochemischen und atmosphärenchemischen Prozessen damals und heutzutage. Das Massensterben könnte durch riesige Salzseen ausgelöst worden sein, deren Emissionen an Halogenkohlenwasserstoffen schwere Schädigungen der Vegetation und die Zerstörung der Ozonschicht verursachten. *„Berechnungen zeigen, dass die Luftschadstoffe aus großen Salzseen wie dem Zechsteinmeer katastrophale Auswirkungen gehabt haben müssen"* (UFZ 30.03.2009).

Eine zweite Überlegung von einer US-Forschergruppe geht davon aus, dass für dieses Massensterben vor 251 Millionen Jahren möglicherweise eine einfache Mikrobe verantwortlich war. Die Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass eine spezielle mikrobielle Innovation das größte Massensterben auslöste, zumindest mit daran beteiligt war. Der neue Stoffwechsel dieser Mikrobe setzte riesige Mengen Methan frei (Welt.de 14.12.2012).

3.2.3 Der Wechsel der Lebenserscheinungen

Fossile Überreste zeugen von zumindest fünf verheerenden Massensterben, die das Leben auf der Erde fast ausgelöscht. haben. Wissenschaftler streiten über die Ursachen, aber weit entscheidender erscheint es zu sein, warum sich das Leben immer wieder *aufrappelte* und die Bioevolution fortgesetzt wurde.

Eine große zukünftige Herausforderung bleibt es, Erkenntnisse über die Erholungsfähigkeit des Lebens und seiner Diversität zu gewinnen. Untersuchungen haben ergeben, dass es nach einem Massensterben etwa zehn Millionen Jahre dauert, bis eine vergleichbare Vielfalt wieder erreicht ist, unabhängig von der Intensität der Krise. So ist es z.B. wichtig zu ergründen, weshalb manche Lebensformen bei einer globalen Katastrophe vollständig ausgestorben sind, während andere nahezu unbeschadet und unverändert fortleben konnten. ERNST MAYR bezeichnete die unterschiedliche Geschwindigkeit der Evolution als eine der interessantesten gegenwärtigen Fragen der Evolutionsforschung (DFG 2014).

Evolution ist keineswegs ein zwangsläufig kontinuierlich fortlaufender Prozess. Die Entwicklung und Weiterentwicklung von Lebewesen scheint hier durch Schlüsselereignisse sprunghaft in Form von Evolutionsschübe vorangetrieben. Die bisherigen Untersuchungen lassen zwar auch hier die für ökologische Systeme kennzeichnenden Verhaltensweisen erkennen. Aufgrund externer, existenzbedrohender Einflüsse ist das Leben bestrebt, in seinen Systemstrukturen den veränderten Bedingungen zu entsprechen, indem sich über neue Arten und Teilsysteme eine neue Strukturstabilität ausbildet. Einen Aspekt stellt unter anderem die adaptive Radiation, d.h. die Auffächerung (Radiation) einer wenig spezialisierten Art in viele stärker spezialisierte Arten durch Herausbildung spezifischer Anpassungen (Adaptionen) an die vorhandenen Umweltverhältnisse. Damit verbunden ist die Ausnutzung unterschiedlicher, vorher nicht besetzter ökologischer Nischen (WIKIPEDIA - Adaptive Radiation 12.09. 2014).

Alle biogenen Systeme weisen ein dynamisches Verhalten auf. Solange die exogenen Bedingen mehr oder weniger konstant bleiben, bewegen sich die Zustandsänderungen dieser Systeme im bioendogenen Rahmen.

4 Die Erde als Ökosystem

Die Entwicklung der Erde durchlief in immer kürzeren Abständen verschiedene Stufen bis zu der durch Wissenschaft und Technik geprägten Gegenwart mit ihren Umweltproblemen (K. STROBACH 1991; J. D. McDougal 2000; S. M. STANLEY 2001; P. FAUPL 2003; R. WALTER 2003).

Die Erde ist bislang der einzige Planet auf dem es Leben in der uns bekannten Form gibt. Das komplexe Zusammenwirken der Lebewesen untereinander und mit ihrer Umwelt - mit dem Wasser und der Luft, dem Klima, den Gesteinen und Böden - kennzeichnet die Erde als das umfassendste offene Ökosystem. Energie- und Stoffflüsse verbinden die Teilbereiche/Elemente zur Einheit Erde, seine Energie erhält das Ökosystem von der Sonne (Abb. 21).

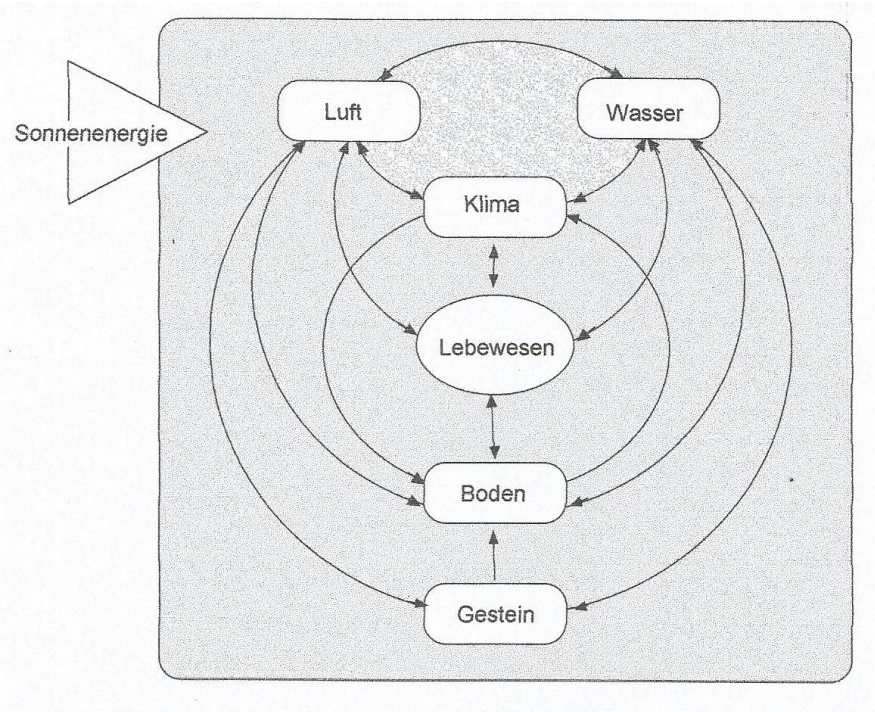


Abb. 21 Das Ökosystem Erde

4.1 Der Energielieferant (Die solare Einstrahlung)

Über die Sonneneinstrahlung erhält das offene System Erde die für das Leben erforderliche Basisenergie. Sonnenenergie ist, neben Wasser, die wichtigste lebensnotwendige und lebenserhaltende Grundvoraussetzung. Nur in wenigen Fällen tritt für nicht-menschliches Leben an ihrer Stelle chemische Energie, wie z.B. in schwefelhaltigen hydrothermalen Quellen, an der Erdoberfläche oder in der Tiefsee.

Energiefluss und Energieumsetzung bezeichnen die Weitergabe von Energien zwischen den Bestandteilen des irdischen Systems. Ein Teil der eingestrahlten Sonnenenergie wird von der

Atmosphäre - den festen, flüssigen und gasförmige Schwebeteilchen - reflektiert, ein weiterer Teil wird von der Atmosphäre absorbiert und bereits dort in Wärme umgewandelt. Der verbleibende Teil gelangt dann bis zur Erdoberfläche und wird dort als Licht und Wärme wirksam (Abb. 22). Die prozentuale Verteilung der Einstrahlung auf Reflexion, Absorption und Transmission hängt vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre ab, wobei z.B. Luftfeuchtigkeit, Bewölkung, oder die Weglänge, die Strahlen durch die Atmosphäre nehmen müssen, eine Rolle spielen. Die solare Einstrahlung unterliegt tages- und Jahreszeitlichen Schwankungen.

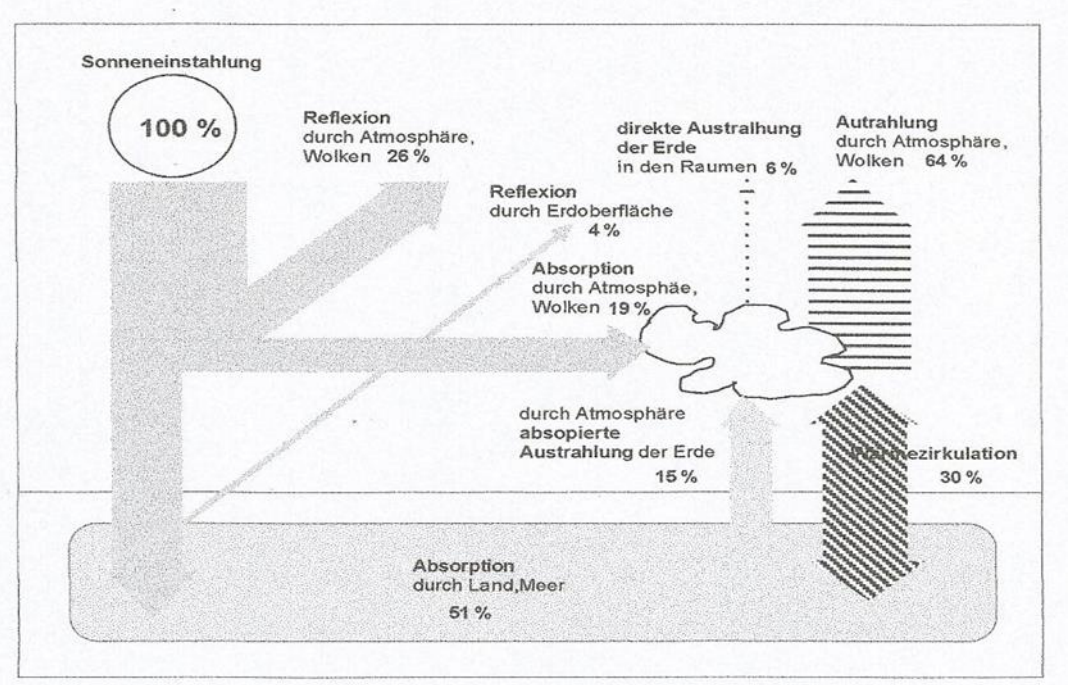


Abb. 22 Globaler Energiefluss
(Quelle: EIKE 09.11.2011, 2. Abb., verändert)

Der mengenmäßig größte Wirkungsbereich ist die Erwärmung des Planeten, d.h. der Meere und des Festlands. Dadurch werden Wasserzirkulation und Wasserkreisläufe, in Wechselwirkung mit dem Klima, in Gang gehalten. Schließlich ermöglicht die Erwärmung der oberflächennahen Bereiche die biologische Existenz in den bekannten Formen. Die wohl für das Leben entscheidendste Funktion der Lichtenergie ist ihre Bedeutung für die Photosynthese der grünen Pflanzen. Sie ist die Quelle für Sauerstoff und der Ausgangspunkt der Biomassenerzeugung als Basis trophischer Beziehungen und Zusammenhänge zwischen den Organismen.

4.2 Die abiotischen Komponenten

4.2.1 Die Luft (die Atmosphäre)

Die Atmosphäre ist die gasförmige Hülle der Erde. Sie besteht aus einem Gemisch verschiedener Gase, die vom Schwerefeld der Erde festgehalten werden. Die Atmosphäre ist in Oberflächennähe am dichtesten. Sie ist keine homogene Gashülle, sondern ist in mehr oder weniger gestaffelte und gegeneinander abgegrenzte Schichten gegliedert. Die Schichtung wird vor allem durch die Temperaturabhängigkeit chemischer Prozesse und die von der Höhe abhängige Strahlungsdurchlässigkeit bestimmt. Im Wesentlichen lassen sich folgende Schich-

ten unterscheiden: die erdnahe Troposphäre, die darüber liegende Stratosphäre und schließlich die Ionosphäre.

Das atmosphärische Gasgemisch wird umgangssprachlich als Luft bezeichnet. Diese Luft setzt sich im globalen Mittel aus folgenden wesentlichen Bestandteilen zusammen: 78,08% Stickstoff, 20,95% Sauerstoff, 0,93% Argon, 0,04 Kohlendioxid. Dazu kommen Spuren verschiedener Edelgase sowie Ozon und Wasserstoff. Die Atmosphäre enthält außerdem wechselnde Anteile von Aerosolen verschiedenster Art und im untersten Bereich auch wechselnde Mengen von Wasserdampf (Wikipedia 15.09.2015). Die Mittelwerte besitzen eine Gültigkeit bis in eine Höhe von etwa 100 Kilometern. Darüber besteht mit zunehmender Höhe ein genereller Trend in der Abnahme schwerer Gase und der relativen Anreicherung leichterer Gase. Die relative Beständigkeit der atmosphärischen Zusammensetzung ergibt sich, indem im biologischen Stoffkreislauf Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff durch Assimilation sowie Abbau- und Atmungsprozesse umgesetzt werden (H. KRAUS 2004).

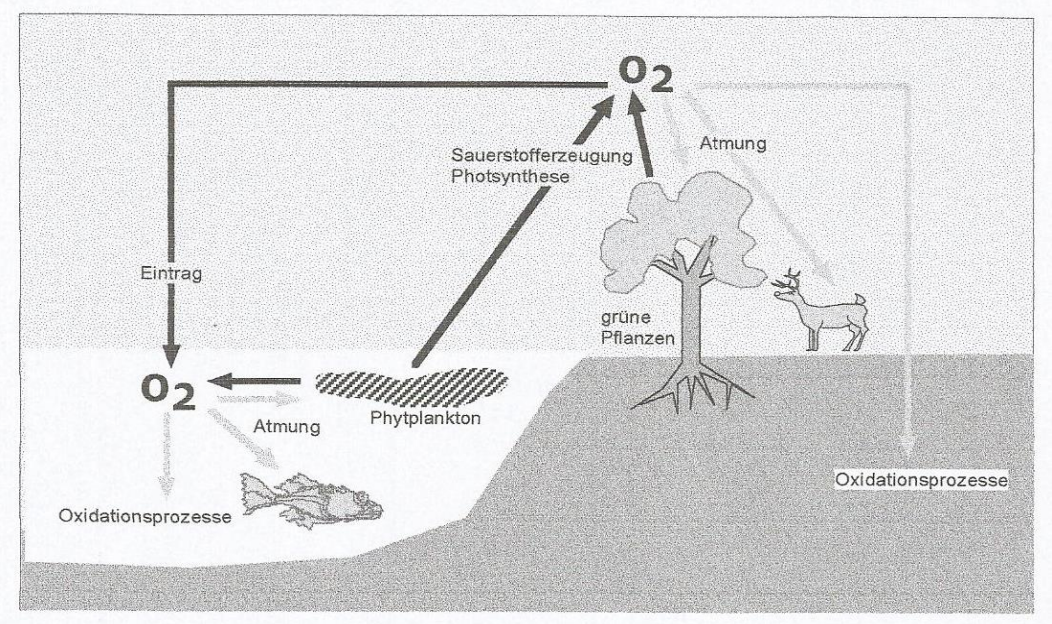


Abb. 23 Sauerstoffumsatz

Dem Sauerstoff kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Sauerstoff ist mit einem Massenanteil von 50,5 % an der Erdhülle (H. BREUER 2000) das häufigste und am weitesten verbreitete Element auf der Erde (CL. ALLÈGRE et al. 2001). Er kommt nicht nur in der Erdatmosphäre sondern auch in der Lithosphäre, der Hydrosphäre und der Biosphäre vor. In elementarem Zustand befindet sich Sauerstoff in Form von O_2 gasförmig in der Atmosphäre und gelöst in Gewässern. Der oxygenen Photosynthese kommt dabei eine Hauptrolle für die Existenz der Biosphäre zu. Die Menge des relativ reaktionsfreudigen elementaren Sauerstoffs bleibt auf Dauer nur konstant, weil Sauerstoff produzierende Pflanzen so viel nachliefern, wie von aerob atmenden Lebewesen sowie durch andere Verbrennungsprozesse wieder verbraucht wird (Abb. 23). Ohne diesen biologischen Kreislauf würde Sauerstoff nur in Verbindungen vorkommen (WIKIPEDIA - Entwicklung der Erdatmosphäre 11.06.2014; WIKIPEDIA - Sauerstoff 01.12.2014).

4.2.2 Das Wasser (die Hydrosphäre)

Wasser (H_2O) ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff. Die grundlegende Bedeutung ergibt sich aus seinen Eigenschaften. Wasser erscheint in drei Aggregatzuständen, in flüssiger Form (Wasser i.e.S.), in gefrorenem Zustand (Eis) und in gasförmigem Zustand (Wasserdampf). Weitere, lebensräumlich relevante Charakteristika sind seine Dichteanomalie (größte Dichte bei +4°C), seine hohe Wärmekapazität und geringe Wärmeleitfähigkeit, seine hohe Oberflächenspannung und Verdampfungsenthalpie.
Für alle Organismen ist Wasser eine absolute Notwendigkeit. Wasser ist Betriebsmittel, Lösungsmittel und Transportmittel im Körper. Ohne Wasser kann kein Organismus leben. Voraussetzung für die physiologischen Funktionen des jeweiligen Organismus ist neben der Wasserverfügbarkeit ebenso der Gehalt an funktionsfördernden oder -schädigenden Stoffen, d.h. die Qualität des von der Umwelt gebotenen Wassers. Darüber hinaus ist Wasser nicht nur differenzierender Faktor in den terrestrischen Lebensräumen sondern als Medium bestimmend in den limnischen und marinen Lebensräumen.

Die größten Wasserspeicher sind die Meere, die gut 70 % der Planetenoberfläche bedecken. Die Sonnenenergie erwärmt die Oberfläche und bringt Wasser zur Verdunstung. Die entstehende Luftfeuchtigkeit steigt in die Atmosphäre, kühlt dort und kondensiert sich. Diese feuchte Luft wird als Wolken vom Wind zum Festland transportiert. Sind die Wolken mit Wasser gesättigt, kommt es zu Niederschlägen, die als Regen, Schnee oder Hagel zur Erde fallen. Die Niederschläge gelangen dann über die Gewässer oder durch Versickerung ins Grundwasser wieder zurück in die Meere. In den Polargebieten und in Hochgebirgen wird immer ein Teil der Niederschläge in fester Form gespeichert und erst nach und nach als Schmelzwasser abgegeben. In diesem Kreislauf geht kein Wasser verloren, es ändert nur Zustand und Lage (Abb. 24).

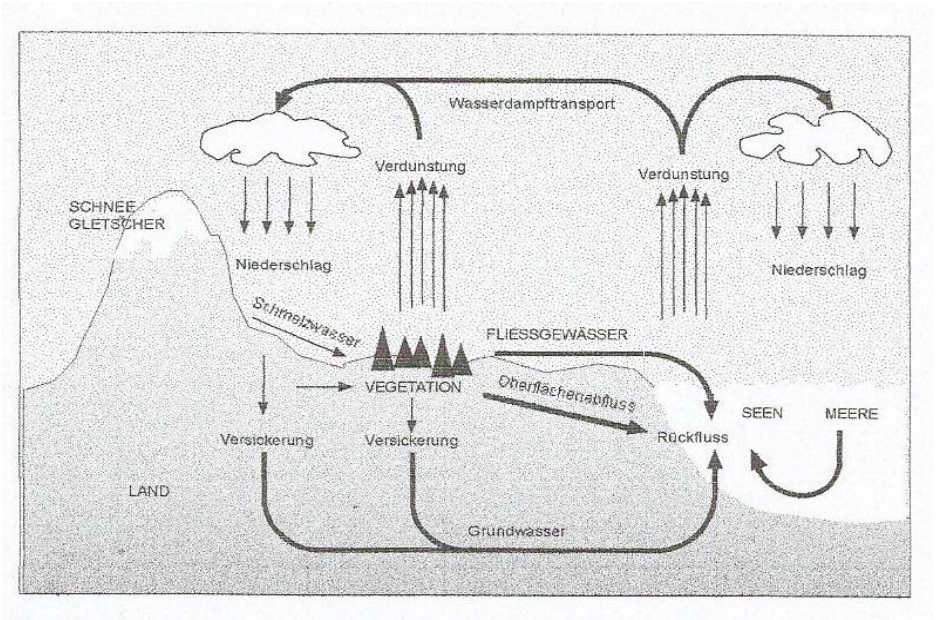


Abb. 24 Globaler Wasserkreislauf
(Quelle: techniklexikon.net, verändert)

Obwohl die Erde zu mehr als 70 % mit Wasser bedeckt ist und deshalb auch Blauer Planet genannt wird, ist Wasser eine begrenzte Ressource. Denn 97,5% ist Salzwasser und lediglich

2,5 % ist Süßwasser. Der Mensch und ebenso alle terrestrischen Organismen sind auf Süßwasser angewiesen. Vom gesamten Süßwasservorrat bilden Seen, Flüsse und Grundwasser die mehr oder weniger zugänglichen Anteile, während mehr als zwei Drittel in Gletschern, Schnee, Grundeis, Dauerfrostböden, Bodenfeuchtigkeit und Feuchtgebiete gebunden sind (Abb. 25). Diese Anteile sind jedoch nur näherungsweise bestimmbar (BpB 2006).

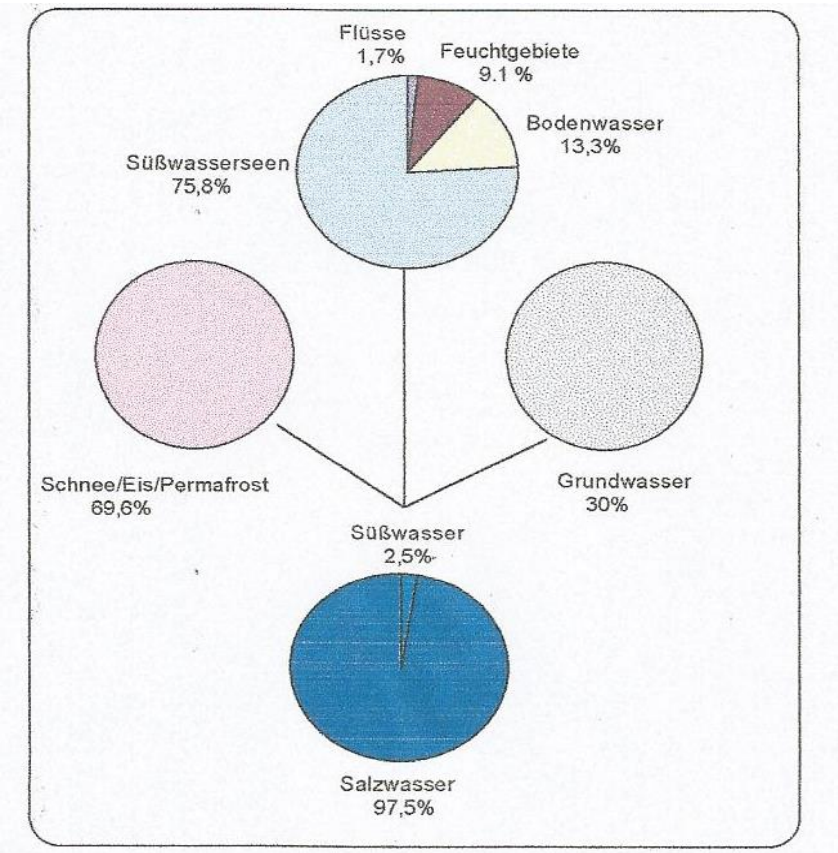


Abb. 25 Globale Wasserverteilung
(Quelle: J. PINNEKAMP 2007; P. RUMM 2008)

4.2.3 Das Klima

Das Klima betrifft die Gesamtheit aller Phänomene, einschließlich ihrer typischen Aufeinanderfolge und Schwankungen, die für den durchschnittlichen Zustand der Erdatmosphäre an einem Ort verantwortlich sind. Das Klimasystem wird dabei von internen und externen wechselseitigen Prozessen und Einflüssen geprägt. Die internen Hauptkomponenten sind Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre und die Landoberfläche. Wichtige externe Einflüsse sind z.B. Sonnenaktivität und Erdbahninstabilität.

Den energetischen Antrieb des Klimasystems liefert die Solarstrahlung und zu einem geringen Anteil auch die Erdwärme. Diese besitzt in Form des Vulkanismus eine wesentliche Auswirkung auf die stoffliche Zusammensetzung der Erdatmosphäre und damit auf deren Strahlungshaushalt. Entscheidend für das Wechselspiel der Klimakomponenten ist deren unterschiedliche zeitliche Dynamik.

Als Abgrenzung zum Wetter (Zeitrahmen: Stunden bis wenige Wochen) und zur Witterung (Zeitrahmen: einige Tage bis etwa eine Woche, im Extremfall auch ein Monat oder eine Jah-

reszeit) wird Klima als ein über einen Zeitraum von oft mehreren Jahrzehnten statistisch ermittelter Zustand der Erdatmosphäre verstanden.

Vor allem die zeitliche und räumliche Dimension des Klimabegriffs ist von entscheidender Bedeutung für dessen Verständnis:

- Das Mikroklima beschränkt sich auf wenige Meter bis einige Kilometer;
- Das Mesoklima bezieht sich auf Landschaften oder Länder bis zu einigen hundert Kilometern Ausdehnung;
- Das Makroklima beschreibt kontinentale und globale Zusammenhänge.

Das Klima umfasst atmosphärische Phänomene unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Größenordnungen, physikalische Erscheinungen der Lufthülle der Erde und ihre Interaktion mit den Gegebenheiten der Erdoberfläche in Raum und Zeit (W. LAUER 1955; WIKIPEDIA - Klima 26.11.2014).

4.2.4 Der Boden (die Pedosphäre)

Böden entstehen aus Gesteinen. Die Bodenbildung und Weiterentwicklung vollzieht sich in relativ langen Zeiträumen unter dem Einfluss verschiedener Faktoren wie z.B. Klima, Grundwasser, Oberflächenrelief, Vegetation, Bodenorganismen und anthropogener Nutzungen.

Die Entstehung eines Bodens beginnt in der Regel an der Oberfläche des Gesteins und schreitet im Laufe der Zeit in die Tiefe fort. Durch die permanenten Verwitterungsprozesse und die Einwirkungen von Pflanzen und Tieren zerfällt das Gestein mehr und mehr zu lockerer Erde, in der - ausreichende Nährstoff- und Wasserversorgung vorausgesetzt - schließlich auch größere Sträucher und Bäume wurzeln und leben können. Diese wiederum tragen beispielsweise durch die Kraft der Wurzeln und das Freisetzen von Säuren zum weiteren Zerfall des Gesteins bei. An der Bodenbildung sind neben Abbau- und Aufbauvorgängen (Transformationsprozessen), wie beispielsweise Verwitterung, Zersetzung, Mineralneubildung und Humifizierung, auch eine Vielzahl unterschiedlicher Verlagerungs-, Verteilungs- und Durchmischungsvorgänge (Translokationsprozesse) beteiligt (G. HELLBERG-RODE 2004).

Der Boden ist der oberste Teil der Erdkruste, der natürlicherweise immer auch belebt ist. Nach unten wird der Boden von lockerem oder festem Gestein begrenzt, nach oben meist durch die Vegetationsdecke sowie die Atmosphäre. In Seen, Flüssen oder Meeren ist der Boden wasserbedeckt. Es handelt sich in der Regel um eine zwischen Lithosphäre und Atmosphäre bzw. Hydrosphäre biogen geprägte Grenzschicht (Pedosphäre).
Laut Bodenschutzkonvention (Bundesregierung Deutschland 1985) ist Boden *„das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter Einfluss der Umweltfaktoren an der Erdoberflächen entstandene und im Laufe der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen mit eigener morphologischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen. Dadurch ist der Boden in der Lage, eine Lebensgrundlage für Tiere und Menschen zu bilden. Als Raum-Zeit-Struktur ist der Boden ein vierdimensionales System“*. Die Lebewesen selbst sind ihrerseits an der Bodenentwicklung (Pedogenese) beteiligt, insbesondere durch die Produktion und Einarbeitung von Humus. Sie

sorgen auch für Belüftung und Durchlüftung sowie für eine Durchmischung des Bodens (Bioturbation).

Die Bedeutung des Bodens als eine wichtige Lebensgrundlage resultiert aus seinen vielfältigen Funktionen und Nutzungsmöglichkeiten. F.BEESE (1997) bezeichnet den Boden als Multitalent (Abb. 26).

Natürlicherweise ist der Boden Lebensgrundlage und Bestandteil der Lebensräume von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Im Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt erfüllt er eine Regulationsfunktion und übernimmt je nach dem Puffer-, Speicher- und Transformationsfunktionen (H. KUNTZE, G. ROESCHMANN, G. SCHWERTFEGER 1994; F. SCHEFFER, P. SCHACHTSCHABEL 2002). Darüber hinaus sind Böden eine wesentliche Grundlage für menschliches Leben und gesellschaftliche Entwicklung. Als Produktionsmittel und Produktionsfläche für Land- und Forstwirtschaft ist der Boden weiterhin die wesentliche Ressource der Nahrungsmittelerzeugung. Doch lediglich ein Teil der Erdoberfläche ist für den Menschen nutzbar. Der Anteil des für die Nahrungsmittelproduktion geeigneten Bodens liegt bei etwa 50 % der vorhandenen Landflächen (Abb. 27).

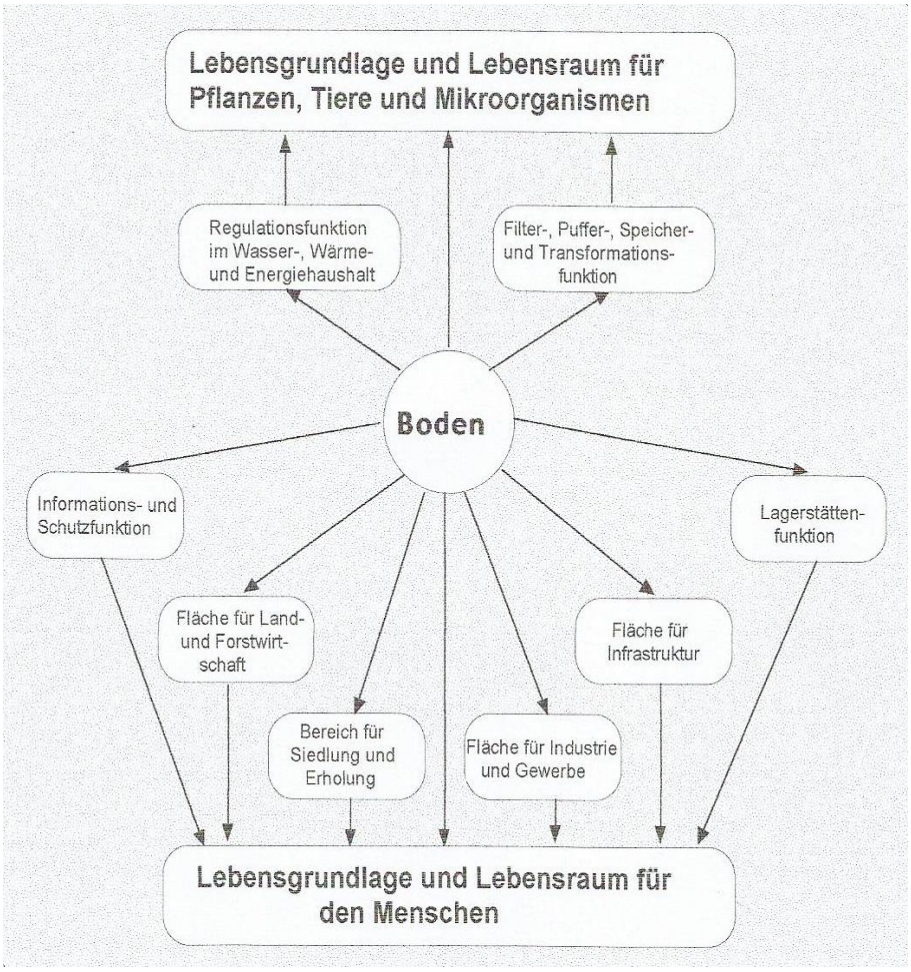


Abb. 26 Bodenfunktionen
(Quelle: in Anlehnung an hypersoil.uni-muenster.de; Grafik Bodenfunktionen)

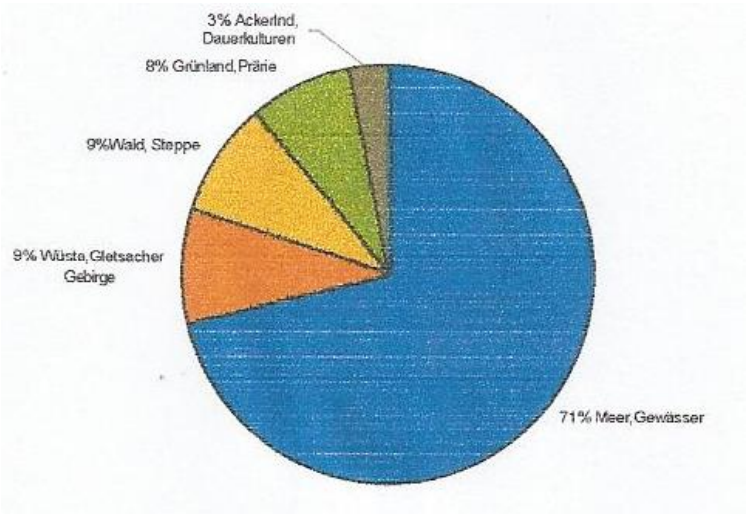


Abb. 27 Flächenfunktion der Erdoberfläche
(Quelle: Situationsbericht 2008)

Neben den klassischen Nutzungen Land- und Forstwirtschaft dient Boden i.w.S auch als Standort für verschiedene andere Nutzungen und Funktionen, so als Bereich für Siedlung und Erholung, Gewerbe und Industrie sowie für Verkehr, Versorgung und Entsorgung. Zudem können Böden aus erdgeschichtlicher und kulturhistorischer Sicht wertvolle Archive sein (F.BEESE 1997; M. FRIELINGHAUS, H. GRIMME 1999).

In der für Mitteleuropa derzeit gültigen Bodenklassifizierung werden bei den terrestrischen Bodentypen (Landböden) die anthropogenen Böden als eine eigene Klasse geführt (BGR 2005). Durch die Nutzung als Baugrund, Deponie oder Rohstofflieferant erfolgt ebenso wie durch die Nutzung als Pflanzenstandort eine bewusste Einflussnahme. Aber auch durch unbeabsichtigte Nebeneffekte verschiedenster Nutzungsformen entstehen Veränderungen im Bodenzustand, in den Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen.

4.2.5 Das Gestein (die Lithosphäre)

Gesteine sind in der Regel vielkörnige Mineralaggregate, die als heterogene Naturkörper das Ergebnis eines definierbaren geologischen Vorgangs sind.

Nach ihrer Entstehung werden unterschieden

- Magmatische Gesteine, die aus Mineralschmelzen (Magma, Lava) entstehen;
- Sedimentgesteine, die aus nach Transport abgelagerten Verwitterungsprodukten entstehen;
- Metamorphe Gesteine, die durch Umkristallisation unter erhöhten Drucken und/oder Temperaturen entstehen.

In den Gesteinen spiegeln sich die Zusammensetzung und Struktur der festen Erdkruste wider, ihre physikalischen Eigenschaften und ihrer Entwicklungsgeschichte, sowie die Prozesse, die sie formten und auch heute noch formen. Die Gesteine bilden die Grundbausteine der festen Erdkruste. Sowohl die räumlichen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Gesteinskörpern, als auch die Zusammensetzung und innere Struktur der einzelnen Gesteine,

liefern Informationen zur Entschlüsselung der Entstehungsbedingungen. Gesteine sind die Seiten im Buch der Erdgeschichte.

Die Erdkruste birgt Rohstoffvorkommen, liefert als Grundwasserspeicher vielen Regionen das lebensnotwendige Trinkwasser, dient als Baugrund, beinhaltet geothermische Energie und ist das Ausgangsubtrat für die Bodenbildung (O. DILLMANN 2013; WIKIPEDIA - Geologie 11.10.2014).

4.3 Die Lebewesen (Die Biosphäre)

Als **Biosphäre** wird der Bereich des Planeten Erde bezeichnet, in dem Leben vorkommt, d.h. die irdischen Organismen und ihre unbelebte Umwelt, einschließlich der Wechselwirkungen der Lebewesen untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt (H. WALTER, S. W. BRECKLE 1991; WIKIPEDIA - Biosphäre 02.12.2014).

Lebewesen müssen, um zu leben, Stoffe und Energie untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt austauschen, d.h. Ökosysteme bilden. Leben ohne ökosystemare Wechselwirkungen wäre nicht möglich. Mit der Ansiedlung von Leben verändert sich aber zwingend auch die Ausstattung des Raums. Daher kann durch die weltweite Ansiedlung von Lebewesen die Biosphäre als eine weltumspannende Biozönose, ein weltumspannendes ökologisches System begriffen werden (A. KRATOCHWIL, A. SCHWABE 2001). Das Vorhandensein eines solchen globalen ökologischen Systems wurde das erste Mal vom russischen Geowissenschaftler WLADIMIR IWANOWITSCH WERNADSKI erkannt. Um es zu benennen, verwendete er ein Wort, das zuvor vom österreichischen Geologen EDUARD SUESS erfunden worden war: Biosphäre (WIKIPEDIA - Biosphäre 02.12.2014).

Das charakteristische Merkmal der Biosphäre ist die **Biodiversität**. Der Begriff steht grundsätzlich für die irdische Lebensvielfalt. R. P. PRIMACK (1995) verweist auf das Office of Technology Assessment of the U.S.Congress, das 1987 Biodiversität beschreibt als *„die Mannigfaltigkeit und Variabilität der Lebewesen und der ökologischen Strukturen, in die sie eingebunden sind“.* Der inzwischen wissenschaftlich gebräuchliche Begriff Biodiversität (Biodiversity) wurde nicht zuletzt durch E. O. WILSON (1988) mitgeprägt. Seinem Buch kommt eine Schlüsselrolle zu, weil hier zum ersten Mal zum Thema Vielfalt des Lebens Ideen und Kenntnisse zusammengeführt wurden. Zu einem politischen Begriff wurde Biodiversität seit der von der UNCED in Rio de Janeiro 1992 ausgehandelten Convention on Biological Diversity (CBD).

Biodiversität umfasst verschiedene grundsätzliche Aspekte:

- die Artendiversität/Artenvielfalt;
- die genetische Diversität;
- die ökologische Diversität.

Die **Artendiversität** bezeichnet die gesamte Artenvielfalt mit ihren jeweiligen entwicklungsgeschichtlichen Ausprägungen und ökologischen Anpassungen und ist ein Maß zur Kennzeichnung des organismischen Spektrums, z.B. innerhalb eines Lebensraumes, eines geogra-

phischen Gebietes oder der Erde insgesamt. Artenvielfalt ist eine statistische Größe, die mittels Anzahl der vorkommenden Arten und deren relativen Häufigkeit primär zur Kennzeichnung und Differenzierung lebensräumlicher Situationen dient (R. H. WHITTAKER 1972).

Die **genetische Diversität** repräsentiert die Variabilität im genetischen Code einer Art, zwischen den Individuen einer Population und zwischen geographisch isolierten Populationen. Der genetische Code ist verantwortlich für den Bau- und Leistungsplan eines Organismus, für die Entwicklung und Ausprägung seiner Lebensmerkmale und Lebensäußerungen. Der jeweilige genetische Code eines Individuums entspricht seinem Genotyp, der sich umweltbezogen als spezifischer Phänotyp ausprägt. Die Gesamtheit der Gene einer Art oder Population wird als Genpool bezeichnet. Der genetische Austausch, die Übertragung neuer genetischer Kombinationen zwischen Populationen wird Genfluss genannt. Die genetische Variabilität ist darauf zurückzuführen, dass einzelne Gene der Individuen sich geringfügig unterscheiden. Solche unterschiedlichen Zustandsformen eines Gens werden als Allele bezeichnet. Bei Arten mit sexueller Fortpflanzung ist die genetische Variabilität besonders hoch. Durch Rekombination der Elterngene erhält jedes Individuum eine einzigartige Gen- und Chromosomenkombination.

Die **ökologische Diversität** umfasst einerseits die Vielfalt der Lebensgemeinschaften (Phytozönosen, Zoozönosen, Biozönosen) innerhalb der die Arten leben und andererseits die Vielfalt der Ökosysteme, in den Lebensgemeinschaften in Wechselbeziehung mit ihrem Lebensraum stehen. Eine Lebensgemeinschaft ist durch unterschiedliche Arten gekennzeichnet, die in mannigfacher trophischer und informeller Beziehung zueinander stehen. Die Lebensgemeinschaft bildet mit der lebensräumlichen Umwelt ein Ökosystem. Im Rahmen ihrer Möglichkeiten agiert und reagiert die Lebensgemeinschaft strukturell auf Reize und Einflüsse der lebensräumlichen Umwelt, d.h. jeweils in Grenzen mit ihrer Fähigkeit zur Regulierung und Regeneration.

Die ökologische Diversität beschreibt das Vorkommen, die Ausprägung und den Umfang natürlicher Lebensgemeinschaften und Ökosysteme, das Vorkommen, die Ausprägung und den Umfang anthropogen organisierter Organismengemeinschaften und ökologischer Systeme sowie das jeweilige Verhältnis zwischen beiden Kategorien in der räumlichen Umwelt.

5 Der Mensch (Die Anthroposphäre)

Mit **Anthroposphäre** wird generell der durch den Menschen besetzte und geprägte Bereich bezeichnet, die durch seine Aktivitäten erfüllte, beeinflusste, genutzte und gestaltete Lebensumwelt. Dort spielt sich raumrelevantes Handeln der Individuen und der Gesellschaft ab und es finden strukturelle, stoffliche und energetische Einflüsse und Veränderungen statt. Als **Anthropozän** wird die Epoche bezeichnet in der die Einwirkungen der menschlichen Aktivitäten und sie Umwelt eine mit den natürlichen Einflüssen vergleichbare Dimension erreicht haben (P. CRUITZEN 2002; A. BERGER, M. F. LOUTRE 2002; J. ZALASIEWICZ et al. 2008). Der auf den Menschen bezogene Umweltbegriff differenziert sich damit aber auch nach Inhalten. In Abhängigkeit davon lassen sich natürlich-physische, agrarische, bauliche, industrielle sowie technische Strukturen in Kombination und unterschiedlichen Anteilen erkennen. Die

Komplexität einer solchen Umwelt wird dann deutlich, wenn durch den Menschen bewirkte Strukturen die natürlich-physischen Strukturen überformen und Veränderungen oder Schwächung ihrer Zusammenhänge, Leistungen und Funktion auslösen.

5.1 Die evolutive Entstehung des Menschen

Die wissenschaftliche Erkenntnis, dass die Welt einem ständigen Wandel unterworfen ist und auch der Mensch das Produkt einer solchen Evolution ist, hat das menschliche Selbstverständnis verändert. Der Gedanke, dass der Mensch einer Entwicklung angehört, die alles Leben umfasst und innerhalb der sich seine Entwicklung im Laufe von Millionen Jahren von affenartigen Vorfahren abgetrennt hat, ist noch immer sehr stark mit Emotionen belastet (CH. DARWIN 1871/2005). Zudem ist die Hominisation als Entwicklung noch mit vielen Unbestimmtheiten belastet (G. BURENHULT et al. 2000; E. MAYR 2003).

Das Erscheinen der frühen Hominiden wird mit dem Beginn des Pliozäns gleichgesetzt. Die Australomorphen gelten dabei als Übergangsformen. Ihre Fossilien wurden *„auf einem Areal, das sich vom Kap der Guten Hoffnung über Ostafrika bis zu Sahelzone erstreckte“* gefunden (R. JUNKER, S. SCHERER 2001).

Vor etwa 2 bis 3 Millionen Jahren sind dann wohl die entscheidenden Schritte geschehen, als sich die Gattung Homo von den anderen Stammeslinien trennte. Wie viele Arten es von der Gattung Homo (= echte Menschen) gab, *„wird weiterhin kontrovers diskutiert, was mit dem unterschiedlichem Verständnis evolutiver Prozesse, mit einem uneinheitlichen Artbegriff und mit dem nicht immer leicht zu beurteilenden Fossilienmaterial zusammenhängt*“ (R. JUNKER, S. SCHERER 2001). Aber es kann davon ausgegangen werden, dass die Hominiden in jedem Zeithorizont jeweils eine beträchtliche Variabilität aufwiesen und über die letzten Millionen Jahre mehrere Stammeslinien parallel nebeneinander existierten. *„Ungeachtet der Artproblematik kann man drei große morphologische Gruppen unterscheiden, um die sich alle Formen gruppieren = Homo ergaster/erectus, Homo neanderthalensis und Homo sapiens“* (R. JUNKER, S. SHERER 2001).

Drei große Homo-Migrationswellen lassen sich erkennen. *„Ein erste großräumige Besiedlungswelle im Pliozän/Pleistozän, die in Afrika die ergaster-Formen und in Asien die erectus-Formen hervorbrachte, ein zweite Welle im Mittelpleistozän, die in allen Kontinenten der alten Welt verschiedene Mischformen hervorbrachte und eine letzte große Besiedlungswelle durch die nicht nur die Alte, sondern auch die Neue Welt bevölkert wurde. Dabei wurden vorherigen Formen in unterschiedlichem Maß verdrängt oder teilweise assimiliert. Aufgrund klimatischer Anpassung und/oder möglicher Vermischung mit früheren Formen entstanden die heutigen Populationen“* (R. JUNKER, S. SCHERER 2001).

Der Homo sapiens entwickelte sich ab dem Oberpleistozän. Nach dem monozentrischen Modell (Out of Africa II) ist der moderne Mensch nur einmal entstanden, hat sich durch Wanderungen ausgebreitet und die Vorgänger verdrängt. Afrika wird als Entstehungsort angegeben. Diese Out-of-Africa-Theorie wird als die wahrscheinlichste favorisiert (G. BRÄU-

ER 2004). Nachdem Vertreter des Homo sapiens den Ursprungsbereich verlassen hatten setzte die Formbildung ein, begannen die großen Populationen sich auseinanderzuentwickeln. Weltweit ist aber dieser moderne Mensch sich absolut ähnlich.

Es ist heute schwer vorstellbar, dass die frühe Menschheit, trotz ihrer Verbreitung, nur einen verschwindend kleinen Teil der gesamten Lebewelt umfasste. Die heutige Bevölkerungszahlen und Bevölkerungsdichten lassen die Tatsache vergessen, dass mehrere Millionen Jahre lang die Zahl der Hominiden wahrscheinlich sehr klein war (C. CAMPELL 1985).

5.2 Die historische Entwicklung der Weltbevölkerung

Mit Weltbevölkerung ist jeweils die geschätzte Anzahl der Menschen gemeint, die zu einem bestimmten Zeitpunkt auf der Erde lebten, die derzeit auf der Erde leben oder (hochgerechnet) leben werden.

Vor 100.000 Jahren gab es nur ein paar Tausende des Homo sapiens. Schätzungsweise vor 25.000 Jahren erreichte dann die Population die Millionen-Grenze. Die Sesshaftigkeit brachte einen weiteren Bevölkerungsanstieg, der sich nach Expertenmeinung zu Beginn der Jungsteinzeit auf 5 bis 10 Millionen belief. Vor 4.000 Jahren, wird geschätzt, umfasste dann die Bevölkerung 100 bis 200 Millionen, die sich aber ungleichmäßig über die Kontinente verteilten. Um Christi Geburt soll die Weltbevölkerung bereits 200 bis 400 Millionen Menschen gezählt und auch im ersten nachchristlichen Jahrtausend dieses Niveau gehalten haben. Dann erfolgte wiederum ein Anwachsen der Bevölkerung, doch Hungerkatastrophen, Epidemien, Kriege und die im 14. Jahrhundert in Mitteleuropa grassierende Pest hielten die Zunahme in Grenzen. Die Bevölkerungszuwächse wurden auch durch eine Agrarkrise während der Kleinen Eiszeit gebremst. Erst Mitte des 17. Jahrhunderts erreichte die Weltbevölkerung 500 Millionen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts, 1804, lebten dann etwa eine Milliarde Menschen auf der Erde. 1927 wurden zwei Milliarden, drei Jahre später drei Milliarden, 1974 vier und 1987 schon fünf Milliarden Menschen gezählt. Die Sechs-Milliarden-Grenze überschritt die Weltbevölkerung im Jahr 1999. Damit hat sich die Weltbevölkerung in einem einzigen Jahrhundert nahezu vervierfacht. Im Jahr 2014 waren es 7,238 Milliarden Menschen. Im Jahr 2025 werden voraussichtlich knapp acht Milliarden, 2050 voraussichtlich mehr als neun Milliarden Menschen auf der Erde leben (Abb. 28) (DSW -Datenreport 2007, 2014).
Bereits J. HUXLEY (1956) bezeichnete das offenkundige Wachstum der Erdbevölkerung als „*das Problem unseres Zeitalters*“.

5.3 Die Raumnutzung

Für die Ausprägung des menschlichen Lebensraumes sind drei Systemkategorien relevant: die **anthropogenen Sozialsysteme** als Auslöser, die **natürlichen Raumsysteme** und **anthropogenen Raumnutzungssysteme** als Raumbestandteile (Abb. 29).

Die Raumbeanspruchung resultiert aus dem Verhältnis zwischen dem Sozialpotential und dem jeweiligen Naturpotential.

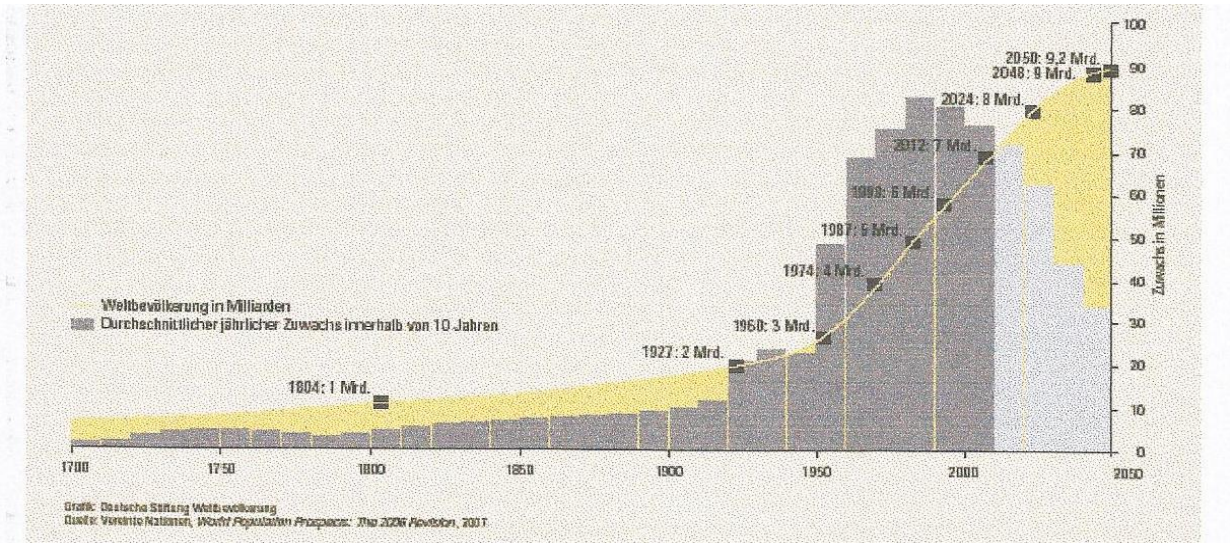


Abb. 28 Historische Entwicklung der Weltbevölkerung

(Quelle: DSW-Datenreport 2007)

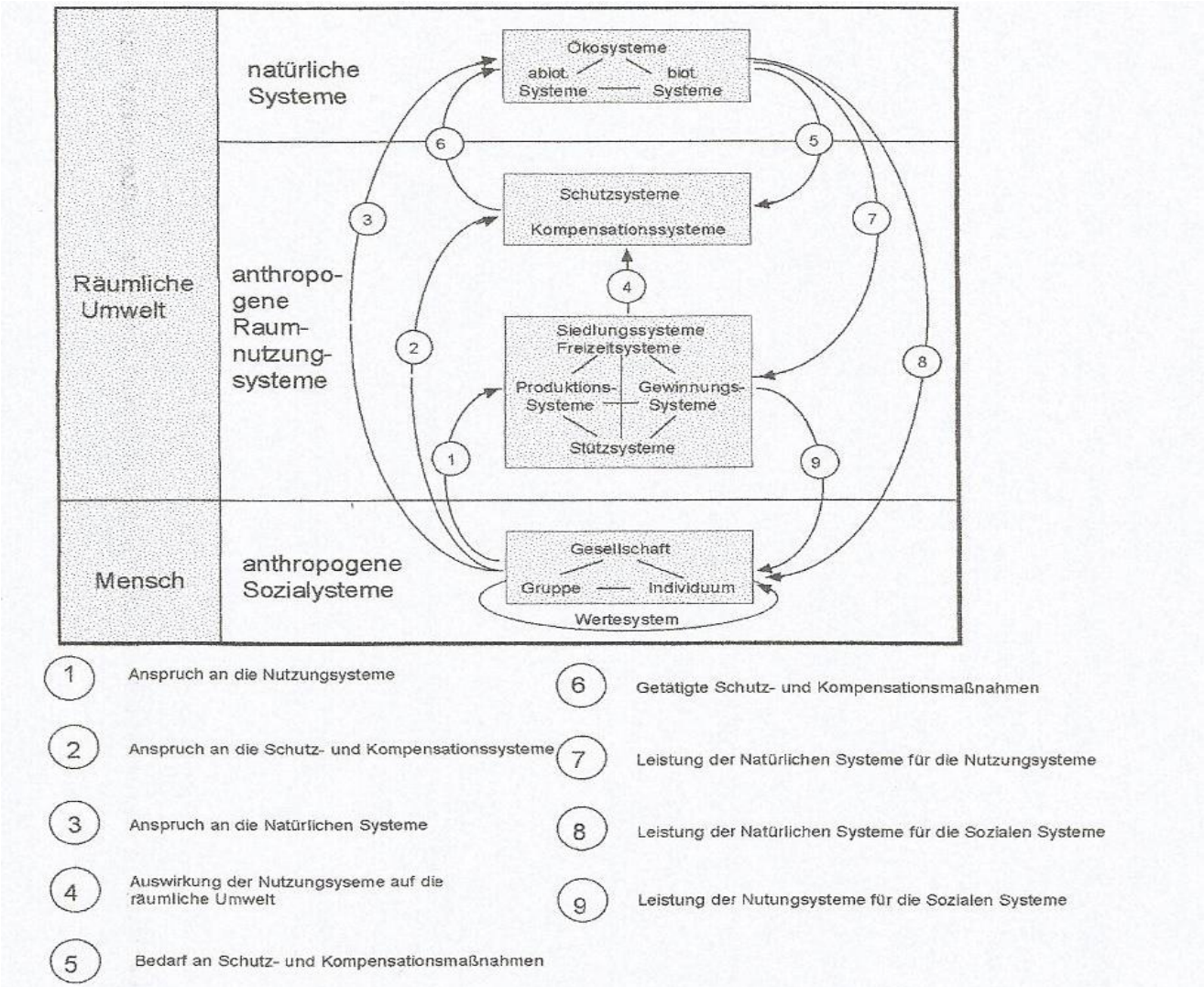


Abb. 29 Teilsysteme im Mensch-Umwelt-System

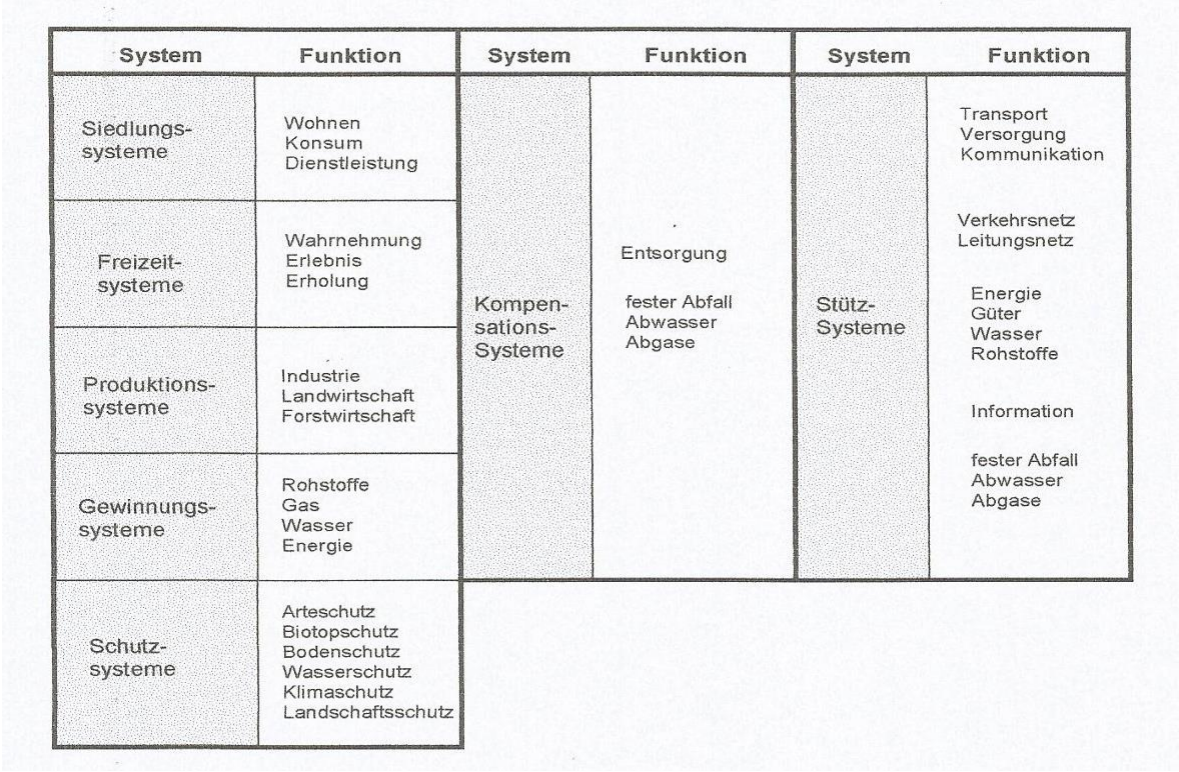


Abb. 30 Menschorganisierte Systeme und ihre Funktonen in der räumlichen Umwelt

5.3.1 Die Raumnutzungssysteme

Die für die Raumnutzung relevanten anthropogenen Systemtypen sind ihrer Funktion und Leistungen nach menschorganisiert (Abb. 30). Diese Raumnutzungssysteme können räumlich eng miteinander verbunden, verzahnt sein und in verschiedener funktionaler Beziehung zu einander stehen. Je nach Gesellschaftssystem bestehen erhebliche Unterschiede in der Art, im jeweiligen Anteil und in der Intensität der betreffenden Nutzungssysteme.

(1) Die Systemkomplexe

Der **agrarisch-forstliche Systemkomplex** kennzeichnet den ländlichen Raum, einen Kulturlandschaftsbereich, der aber je nach Art, Intensität und Umfang der agrarischen und forstlichen Nutzung, der Grundstücksgrößen, Flurgliederung und Bebauung bzw. Siedlung verschieden aussehen kann. Als naturnah gilt im europäischen Bereich ein vom Menschen zwar relativ extensiv genutzter, durch kleinräumige Wirtschaftsweisen geprägter ländlicher Raum, dessen Naturhaushalt noch relativ stabil ist und der die naturräumlichen Verschiedenheiten wahrt. Die naturfernen und naturfremden Ausprägungen hingegen werden durch eine technisch und ökonomisch orientierte, auf hohe Produktion ausgerichtete, spezialisierte und großflächige agrarische und/oder forstliche Intensivnutzung geformt, mit einem ökologisch instabilen Naturhaushalt. Zwischen diesen beiden Extremen mit naturnahen und naturfernen/naturfremden Strukturen gibt es zahlreiche Übergänge in der strukturellen Ausformung und räumlichen Verteilung (Abb. 31).

Der **urban-industrielle Systemkomplex** ist typisch für einen Kulturlandschaftsbereich, der vorrangig städtisch und technisch-industriell geprägt ist. Die große Spanne verschiedenster Ausprägungen reicht von städtischen Bereichen, die noch stärkere Beziehungen und Bindungen zum ländlichen Raum aufweisen über Großstädte bis zu Megastädten und megaurbanen Räumen als Großagglomerationen städtisch-industrieller Strukturen (D. BRONGER 2004). Der urban-industrielle Raum ist ein Siedlungsbereich mit besonderen physiognomischen, funktionalen und sozialen Merkmalen. Kennzeichen sind immer eine gewisse Größe, hohe Bevölkerungs- und Bebauungsdichte, eine Konzentration der Wirtschaft aus dem sekundären (Industrie und Handwerk) und/oder tertiären Sektor (Handel und Dienstleistungen) sowie der entsprechenden Infrastruktur (Abb. 31). Einzelne Nutzungsstrukturen wie Industriekomplexe oder Bereiche zur Rohstoff- oder Energiegewinnung im terrestrischen wie marinen Raum können ebenso allein als bestimmende Größen auftreten.

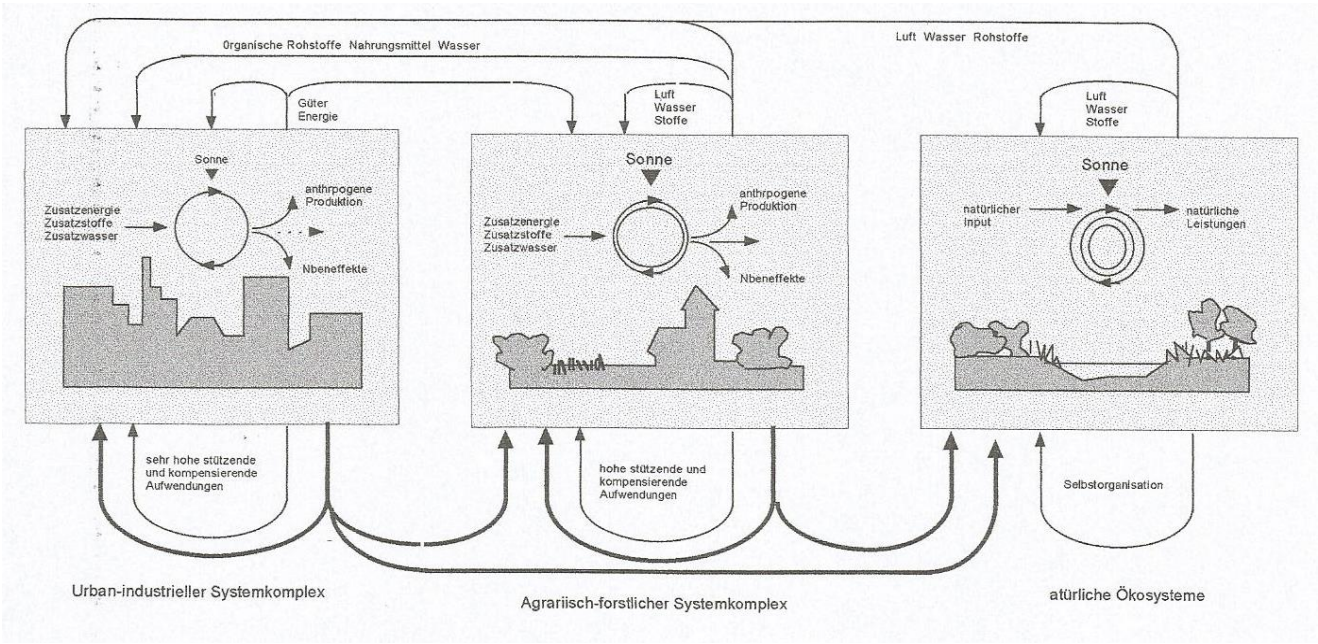


Abb. 31 Systemkomplexe der räumlichen Umwelt

(2) Die Teilsysteme

Den Funktionen nach können als Teilsysteme unterschieden werden:

- Siedlungssysteme;
- Produktionssysteme:
- Gewinnungssysteme;
- Freizeitsysteme;
- Schutzsysteme:
- Stütz- und Kompensationssysteme.

(a) Die Siedlungssysteme

Bezugspunkt aller Nutzungssysteme sind die Siedlungssysteme, die sich je nach Art, Umfang und Verteilung ihrer Funktionen Wohnen, Konsum, Arbeiten und Dienstleistung unterscheiden. Diese Systeme sind in verschiedener Weise auf die Zufuhr von Gütern für den Konsum, für den Bau, auf Kommunikationsmittel sowie auf andere Technologien angewiesen. Hinzu kommen die jeweils erforderlichen Mengen an Energie und Energieträger sowie an Brauch- und Trinkwasser. Der Inanspruchnahme durch den Menschen stehen Nebeneffekte gegenüber wie Lärm, Abwärme, Abgase, Stäube, Abwasser und fester Abfall.

(b) Die Produktionssysteme

Produktionssysteme bilden eine notwenige Voraussetzung und Ergänzung der Siedlungssysteme.

Die **agrarischen und forstlichen Produktionssysteme** sind auf die Erzeugung biogener Produkte ausgerichtet, als Rohstoffe und Güter für den direkten Gebrauch und Verbrauch oder als Energieträger. Unterschiede ergeben sich insbesondere durch Art und Form, Flächengröße und Intensität der jeweiligen Nutzung. Die Zufuhr von Produktionsmitteln, wie Energie, technische Gerätschaft, Wasser und Zusatzstoffe, ist erforderlich. Nebeneffekte zeigen sich insbesondere im Boden, Wasserhaushalt und der Stoffanreicherung in biogenen Produkten.

Die **industriellen und gewerblichen Produktionssysteme** stellen Güter her, die dann den Siedlungssystemen zur Verfügung stehen. Zudem erzeugen sie Güter, die für die eigene Produktion oder die der agrarisch-forstlichen Systeme eine Voraussetzung bilden. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass Rohstoffe und Zusatzstoffe, Energie und Energieträger sowie Wasser in den notwendigen Mengen verfügbar sind und zugeführt werden. Dem entsprechend zeigen sich auch hier Nebeneffekte wie Lärm. Abwärme, Abgase, Stäube Abwasser und feste Abfälle.

(c) Die Gewinnungssysteme

Die Gewinnungssysteme bilden sowohl für die Produktionssysteme als auch Siedlungssysteme eine entscheidende Basis. Sie liefern Bau- und Rohstoffe, Energieträger und Energie sowie das notwendige Brauch- und Trinkwasser. Je nach ihren Funktionen gestaltet sich ihr eigner Güter- und Energiebedarf unterschiedlich, ebenso die entsprechenden Nebeneffekte Lärm, Abwärme, Abgase, Abwasser, Stäube, Abraum und fester Abfall.

(d) Die Freizeitsysteme

Die Freizeitsysteme dienen je nach Struktur und Funktion ruhigem Erholen und Erleben sowie sportlichen Aktivitäten und/oder bieten technische Aktionsmöglichkeiten. Je nach dem gestaltet sich dann auch der jeweilige Güter-, Energie- und Wasserbedarf sowie Art und Ausmaß entsprechender Nebeneffekte wie fester Abfall, Stäube, Abwasser und/oder Lärm und Abgase.

(e) Die Schutzsysteme

Schutzsysteme und die dazu gehörigen gesetzlichen Schutzkategorien und Maßnahmen richten sich gegen eine ausschließlich nutzungsbedingte Flächeninanspruchnahme und Flächenintensivierung. Damit sollen natürliche und naturnahe Systeme, Strukturen und Prozesse sowie besondere kulturlandschaftliche Situationen aus Gründen der Nachhaltigkeit, Diversität und/oder Ästhetik gesichert, erhalten und gepflegt werden.

(7) Die Stützsysteme

Die Stützsysteme bilden die Verbindungen zwischen den vorher genannten Siedlungs-, Produktions-, Gewinnungs- und Freizeitsystemen.

Als **Transportsysteme** dienen sie mittels eines Verkehrs- und Leitungsnetzes und der dazu gehörigen baulich-technischen Einrichtungen der Beförderung von Personen sowie der Versorgung und dem Austausch von Gütern, Energieträgern sowie Energie, Rohstoffen, Wasser und Informationen. Je nach dem ergeben sich Nebeneffekte wie fester Abfall, Stäube, Abwasser sowie Lärm und Abgase.

Kompensationssysteme sorgen dafür, dass die in den Siedlungs-, Produktions-, Gewinnungs- sowie Freizeitsystemen und Stützsystemen entstandenen Nebenprodukte - fester Abfall, Abwasser - entsprechend ihrer Umweltverträglichkeit und Wiederverfügbarkeit aufbereitet, behandelt und/oder beseitigt werden.

6 Das verantwortliche Handeln

Das Mensch-Umwelt-System umfasst ein äußerst komplexes Beziehungsgefüge zwischen der Spezies Mensch und den biotischen und abiotischen Bestandteilen der Welt. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie und mit welchen Konsequenzen sich der Mensch mit seiner Umwelt auseinandersetzt. Ist der Mensch dabei, seine Lebensgrundlagen, in deren Kontext er entstanden ist, zu verändern oder gar zu zerstören, noch bevor er sie verstanden hat? *„Damit führt diese Sichtweise zu der Folgerung, dass Evolution durchaus Leistungssteigerungen und neue Qualitäten und somit Fortschritt gebracht hat, nicht aber insgesamt als Fortschritt gesehen werden kann: droht doch ihre bisher größte Leistung, der Mensch, alles Erreichte weitgehend in Frage zu stellen. Mit allen anderen Leistungen und Möglichkeiten ist auch ein Gefahrenpotential entstanden, das alle anderen Entwicklungen auslöschen kann. Damit ist die Kategorie Möglichkeit, die in der Evolution eine so große Rolle spielt, zur radikalen Offenheit geworden, die Fragen lässt, ob wir auf diese Erde überhaupt noch eine Zukunft haben“* (G. v. WAHLERT 1990).

Die Erde ist ein empfindliches Ökosystem und der Mensch hat während seiner Existenz gezeigt, dass allein eine einzige Spezies erhebliche Veränderungen bewirken kann. Veränderungen im irdischen Ökosystem - gleichgültig aus welchem Grund - sind für das System selbst kein Problem. Denn das Überschreiten systemimmanenter Grenzen ist letztlich immer nur Ausgangspunkt für Prozesse, die zu neuen, anders ausgeprägten Zuständen führen. **Aus**

Sicht des Menschen werden diese Veränderungen aber zum Problem, wenn dabei seine Lebensbedingungen betroffen sind, und geraten zur Katastrophe, wenn dadurch existentielle Voraussetzungen im menschlichen Lebensraum zur Disposition stehen.

Jedes Lebewesen greift in seine Umgebung ein, beeinflusst und verändert seine Umwelt aus Gründen der Existenzsicherung. Kein Lebewesen greift aber so großflächig und intensiv in seine Umwelt ein, wie der Mensch das tut. F. M. WUKETITS (1995) bemerkt dazu: *„Zieht man … in Betracht, in welchem Maße der Mensch diese Biosphäre durch seine Technik bereits verändert hat, kommt man zu dem Schluss, dass auch dies in der Evolution etwas Einzigartiges darstellt: Noch nie sind die anderen Spezies dermaßen von einer einzigen Art beeinflusst worden, noch nie wurde Evolution von einer einzigen Spezies dermaßen beeinflusst wie in den letzten Jahrzehnten vom Homo sapiens. Diese Feststellung sollte niemanden ungerührt lassen".* Handelt der Mensch, wie alle anderen Lebewesen auch, nach dem Prinzip der Selbstbehauptung? Oder überschätzt er seine vermeintliche Sonderstellung, die er mit seiner kognitiven Potenz begründet, und bringt damit seine Existenz in Gefahr? (F. SCHMIDT-BLEEK 2007). Doch Unkenntnis und Fehleinschätzung bergen immer schwer kalkulierbare Risiken. Die allmähliche Erschöpfung der natürlichen Ressourcen und ihrer Leistungsfähigkeit ist jedoch eine ernsthafte Bedrohung für die menschliche Gesellschaft.

Bei den gegenwärtigen Problemen der Menschheit besteht die dringende Notwendigkeit einer radikalen Änderung ihrer Haltungen und Handlungen, für einen gewaltigen Sprungs über den eigenen Schatten.

6.1 Die philosophische Orientierung

6.1.1 Vernunft, Ethik und Moral

DARWINs Evolutionstheorie geriet zu einem spezifisch christlich-abendländischen Kulturschock. Denn mit dieser Erklärung schien der Schöpfungsglaube nun endgültig durch eine materielle Natur mit rein biologischen Spielregeln abgelöst zu sein. DARWIN wollte mit der Evolutionstheorie die Entstehung der Arten erklären, doch die Theorie zur Evolution des Lebendigen wurde zu einer weltanschaulichen Kontroverse.

Die naturwissenschaftliche Vernunft setzt die Rationalität der Natur sowie die Korrespondenz zwischen menschlichem Geist und Rationalität der Natur als gegeben voraus (R. J. RIEDL 1983). Mit der Frage nach dem *Wie* verschafft sich die naturwissenschaftliche Vernunft nach-denkend Zugang zu Struktur, Funktion und Dynamik der Natur. Doch bei der Frage nach dem *Warum*, der Frage nach dem Sinn, stößt sie an Grenzen. Diese Frage hebt den Denkansatz auf eine andere Ebene, auf der philosophisch und theologisch gedacht werde muss. *„Glauben und Wissen tragen unsere Kultur"* (R. J. RIEDL, F. KREUZER 1983).

Beide Erkenntnis- und Verständnisstränge haben ihre Wurzeln im Menschwerden**. Doch welche Marken bestimmen die Grenzüberschreitung vom Tier zum Menschen? Was macht den Menschen zum Menschen? Als entscheidendes Merkmal und ureigene menschliche Leistung gilt anerkanntermaßen die Sprache. Sie scheint das zentrale Problem zu sein.**

Sprache konnte sich erst entwickeln, als Menschen sich etwas mitzuteilen hatten. Doch Sprache ist mehr als nur ein einfaches Signalsystem. Sprache wurde zur Voraussetzung und zum Bestandteil der Entwicklung, in der sich **Kultur als neue, menschliche Qualität** ausbilden und manifestieren konnte. Die kulturelle Evolution ist ein ausschließlich auf den Menschen beschränkter Prozess. Der entscheidende Grund dafür ist, dass nicht nur erlernte Fähigkeiten und Verhaltensweisen sondern ebenso die damit verbundenen Bewusstseinsinhalte durch Kommunikation zwischen Individuen, Generationen oder anderen menschlichen Gruppierungen weitergegeben werden (F. v. HAYEK 1983). Die Evolutionseinheiten sind auch hier die Populationen. Es handelt sich um einen Prozess, bei dem der Mensch nicht nur durch die Umwelt geformt und zur Anpassung herausgefordert wird, sondern auch selbst die Umwelt formt und anpasst. *„Das Problem der kulturellen Evolution ist das der Bildung einer Tradition, die nicht angeboren ist, sondern durch Unterricht und Nachahmung weitergegeben wird“* (F. v. HAYEK 1983).

Mit dem Sich-Bewusstwerden sowie in Verbund und Wechselwirkung mit der Sprache wurde es dem Menschen erst möglich, Erkenntnisse zu gewinnen, Ideen zu entwickeln und diese über die Sprache auszutauschen. Mit dem Bewusstsein vermag er Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in kausale Zusammenhänge zu bringen. *„Die einzigartigen Züge menschlichen sozialen Lebens und dessen intensive sprachliche Kopplung manifestieren sich darin, dass es imstande ist, ein neues Phänomen zu erzeugen, welches für unsere eigene Erfahrung zugleich sehr nah und doch sehr fremd ist: unseren Geist, unser Bewusstsein“* (H. R. MATURANA, F. J. VARELA 1987). Zugleich wurde dadurch eine Stufe der kulturellen Evolution erreicht, in der eine neue Eigenschaft entscheidende Bedeutung erlangte. *„Es hat die kulturelle Entwicklung das gebildet, was wir heute Vernunft nennen, und nicht die Vernunft hat die kulturelle Entwicklung gelenkt“* (F. v. HAYEK 1983).

Ethik und Moral, die offensichtlich subtileren Arten der Vernunft, werden somit gleichermaßen als Produkt der kulturellen Evolution verstanden.

Mit Ethik wird ein soziales Miteinander angesprochen, für das die Kommunikation als wichtiger Bestandteil gilt. Die Menschen werden erst mittels entsprechender orientierender Regeln, durch ethische Normen, fähig zur Gemeinschaft. Gleichzeitig wird damit aber auch deutlich, dass Ethik einem Wertesystem entspricht, das kein vorgegebenes Dogma und starres Normensystem darstellt, sondern notwendigerweise auf ein gemeinsames Verständnis beruhen muss (O. HÖFFE 1980; H. SEIFFERT 1985).

Ethik fragt nach der Begründung von Moral. Ethik diskutiert, formuliert und begründet entsprechende Regel, an die sich menschliches Verhalten ausrichten sollte und beruft sich dabei auf für jeden Vernunftbegabten einsehbare Prinzipien. G. FRÖHLICH (2006) definiert Ethik als *„das philosophische Nachdenken über das richtige Handeln*“.

Moral umschreibt den konstitutiven Grundrahmen, der das Zusammenleben von Menschen bestimmen soll, den Verhaltenskodex, nach dem gelebt werden soll. Es handelt sich dabei um einen Komplex von Regeln, Wertmaßstäben und Sinnvorstellungen, der sich in persönlichen Überzeugungen und Verhaltensweisen ebenso wie in der Ausprägung und Funktion öffentlicher Institutionen ausdrückt. Die Aneignung der persönlichen und gesellschaftlichen Haltung und Sinnesart erfolgt durch Erziehung und Erfahrung (O. HÖFFE 1980; D. HORSTER

2009). Moral ist aber nicht frei von inneren Spannungen und Konflikten, zumal sie als soziale, wirtschaftliche und politische Ordnung gelebt wird. Denn Moral schließt die Anwendung und Nicht-Anwendung ethischer Soll-Vorgabe für das menschliche Handeln und Verhalten mit ein (A. KRUG 2010; J. HERMES 2013).

6.1.2 Der Wertewandel

Moralische Werte und Regeln haben eine grundlegende Funktion bei der Gewinnung theoretischer Erkenntnisse ebenso wie bei der Ordnung und Organisation menschlicher Handlungen und ihrer Gegenstände. Durch sie wird die Form des Denkens, der Aufbau der Sprache, die kommunikative Praxis, der Umgang mit Dingen und die gegenständliche Erkenntnis einem Ordnungsschema unterstellt. *„Praktische Normen sind (gesetzliche und moralische) Grundsätze, die mehrere oder alle Subjekte einer Gruppe oder Gesellschaft situationsabhängig oder situationsunabhängig zu Zwecksetzungen oder Handlungen auffordern und die Form von Gemeinschaft vorgeben“* (O. HÖFFE 1980).

Werteverlust, Werteverfall und Wertewandel verweisen auf Prozesse der Veränderung von Normen und Wertevorstellungen in Gesellschaften. Aber sind moralische Normen und Werte, und in welcher Form, in einer modernen Gesellschaft noch gefragt? Oder sind Werte und Regeln unentbehrliche Voraussetzungen für Zielsetzungen und Handlungen, die wir als freie Menschen bewusst und verantwortlich ausführen? Und bestimmt das Wertesystem nicht die Art und Weise wie geplant, agiert oder reagiert wird? Bei rationalen Entscheidungen werden Werte bewusst gegeneinander abgewogen.

Mit der in westlichen Gesellschaften abnehmenden Religiosität und schwindenden kirchlichen Bindung, so scheint es, verflüchtigen sich ebenso Bedeutung und Zentralität des traditionellen christlichen Glaubens. Das eigentliche Phänomen dieser schwindenden Bindung aber ist bemerkenswert. Es ist in erster Linie Indifferenz und Gleichgültigkeit, jedoch keine klar definierte Gegenposition zum tradierten Glauben. Doch die für Mitglieder einer Gemeinschaft verbindlichen Regeln und Ideale dürfen nicht verwechselt werden mit allgemein gültigen moralischen Rechten und Pflichten für alle, die in einer pluralistischen Gesellschaft leben wollen. Allgemein verbindliche Werte der Gesamtgesellschaft können zwar teilweise mit den Regeln einer Gemeinschaft identisch sein, sie müssen es aber nicht. Heute jedenfalls entsprechen westliche Gesellschaften nicht annähernd mehr den früher weitgehend homogen religiös geprägten Gesellschaften, deren gesellschaftliche Moral fast identisch mit den christlichen Gemeinschaftsidealen war (UNI-PROTOKOLLE 1998, 2003; D. HORSTER 2009).

Säkularisation und europäische Aufklärung mit ihren Leitwerten Toleranz sowie Geistes- und Gewissensfreiheit brachen die alten Ordnungen auf (M. GEIER 2012). Wie H. KLAGES (1988) formulierte, zielten diese in erster Linie auf *„die Legitimierung einer Emanzipation der Menschen von den überkommenen inneren und äußeren Autoritäten und die Privatisierung der individuellen Lebenszielsetzung und Lebensorientierung“*. Doch ebenso muss an den berühmten Ausspruch des früheren Verfassungsrichters W. BOCKEMFÖRDE erinnert werden, dass *„der freiheitliche säkulare Staat von den Voraussetzungen lebt, die er selbst nicht garantieren kann“* (zit. nach F. W. GRAF 2006). Auch J. HABERMAS vermerkt dazu: *„Der liberale Staat muss in Anbetracht der religiösen Herkunft seiner moralischen Grundlagen mit der Möglich-*

keit rechnen, dass die ´Kultur des gemeinen Menschenverstandes´ das Artikulationsniveau der eigenen religiösen Entstehungsgeschichte nicht einholen kann" (zit. nach G. DÜCHS 2005). G. DÜCHS (2005) erinnert selbst an diese gemeinsame Wurzel abendländischer Kultur und ergänzt in Verbindung mit den Thema Europäische Werte: *„Die Werte, auf denen unsere europäischen Gesellschaften aufbauen, sind nicht christlich in dem Sinne, dass sie nur aus dem christlichen Glauben heraus plausibel gemacht werden können... Trotzdem kommt man nicht um die Tatsache herum, dass die europäischen Gesellschaften und Kulturen auf einem Boden gewachsen sind, der seit Jahrhunderten, oft seit bald zwei Jahrtausenden, vom Christentum fruchtbar durchdrungen wurde. Es besteht kein Zweifel, dass die Kulturen und Gesellschaften, die Kunst, das Denken, Forschen und Philosophieren in Europa starke Impulse aus dem christlichen Glauben empfangen haben und von diesem entscheidend mitgeprägt worden sind... Was Europa wirklich verbindet, sind vielleicht nicht so sehr nur die Inhalte, sondern grundlegender, die Form seiner Kulturen - also die Kategorien in denen Kultur und Staat, Glauben und Denken, Religion und Gesellschaft in Europa geistig gefasst werden. Diese Ebene ist freilich schwerer zu explizieren und eignet sich schlecht, um für das politische Tagesgeschäft auf eine griffige Formel gebracht zu werden. Wenn man aber europäische Werte, vielleicht sogar die Seele Europas sucht, muss man sich wohl auf dieses Niveau begeben".*

N. HARTMANN (o.J., 1962) geht davon aus, dass sich das Wertebewusstsein geschichtlich ändert. Die Diskussion um den Werteverfall westlicher Gesellschafen muss deshalb unterscheiden, ob es sich um bislang anerkannte und gültige Werte der gesamtgesellschaftlichen Moral handelt oder um Werte und Ideale bestimmter Gemeinschaften oder Gruppen (D. HORSTER 2009). Denn nicht nur in den westlichen Zivilisationen und Industriegesellschaften vollzieht sich ein Wandel im Lebensstil (Arbeit, Freizeit, Konsum). Individualisierung und Pluralisierung bestimmen einen ambivalenten Lebensstil. Sexual- und Familienmoral scheinen in einem stärkeren Maß der Veränderung unterworfen zu sein als Besitz, Eigentum, Vermögen oder staatsbürgerliche Pflichten. Werte wie Gehorsam und Unterordnung gehen in ihrer Bedeutung deutlich zurück, während Selbstständigkeit und freier Wille normativ ansteigen. Pflichterfüllung, Arbeitsdisziplin, Fleiß und Ordnungsliebe lösen sich situationsbedingt mit Optionen für Eigennutz, Selbstbezug und Selbstverwirklichung ab. Individualismus, Selbstentfaltung und Selbstbezug bedeuten nicht mehr zwangsläufig Egoismus und soziale Verantwortungslosigkeit oder schließen Gemeinschaftsbedürfnisse, Kreativität, Flexibilität, Neugier oder Toleranz aus. H. KLAGES (2006) sieht deshalb als gegenwärtige Herausforderung anstelle des Wertewandels die Wertesynthese, wonach alte und neue Werte nicht in Opposition zueinander stehen müssen sondern sich ergänzen.

Im strukturellen Bereich sind es beispielsweise zwei Sachverhalte durch die eine Veränderung zum Ausdruck kommt. Zum einen zeigt sich immer deutlicher die Tendenz, dass sich soziale Subsysteme durch eigene, aber gesamtgesellschaftlich nicht unbedingt legitimierte Regeln und Verhaltensweisen zu verselbständigen und der gesellschaftliche Einflussnahme und Kontrolle zu entziehen suchen. Im Bereich der Wirtschaft gilt der Standpunkt, die Marktgesetzmäßigkeiten regeln alles von selbst. Im Gesundheitswesen wird der Kostenfaktor über das Sozial- und Gesundheitsprinzip gestellt. Bei der politischen Klasse führt die Selbstüberschätzung dazu, dass die Basishaftung verloren geht. Zum anderen verlagert sich die Bedeutung ehemals dominanter wertebestimmender Institutionen, wie z.B. der Kirchen, vermehrt auf die neuen, die Individuen und Subsysteme verbindenden und inzwischen auch

wertebeeinflussenden Informations- und Kommunikationsmedien der instrumentellen Intelligenz**. Individualistische Neugier, Flexibilität und Kreativität führen dabei zum Entstehen ganz neuer sozialer Netzwerke, deren Bedeutung und Wirkung letztlich aber davon abhängt, wie mit den verfügbaren Informationen umgegangen wird.**

Der allgemeinen Erfahrung nach werden Werte normalerweise als Wegweiser für das Denken, Verhalten, für das menschliche Leben begriffen. Doch der gegenwärtige Wertewandel ist vielleicht treffender als *„Veränderung von Konventionen"* zu bezeichnen (D. HORSTER 2009).

6.1.3 Die Umweltethik

Benötigt die moderne Gesellschaft doch noch allgemeingültige und akzeptierbare ethische Wertmaßstäbe, die eine Zersplitterung des Gemeinwesens bremsen? H. JONAS (1986) bezweifelt, dass die Herausforderungen der wissenschaftlich-technischen Zivilisation allein mit den Prinzipien der bisherigen Nächsten-Ethik bewältigt werden können. Denn noch nie in seiner bisherigen Geschichte wurde der Mensch damit konfrontiert, dass **sein Umgang mit der räumlichen Umwelt diese als Lebensgrundlage untauglich machen und damit sein eigener Fortbestand fraglich werden könnte**. Mit dem Freisetzen von technischem Wissen und wirtschaftlicher Macht in einem bisher noch nie gekannten Ausmaß sowie den damit zusammenhängenden Umweltveränderungen und sozialen Ungleichgewichten stellt sich immer drängender die Forderung nach einem neuen Ethos. Gefordert sind **gesellschaftliche Wertmaßstäbe für ein vernünftiges Handeln, das Zukunftsbezogen die Leistungsfähigkeit des Lebensraumes Erde bewahrt.** Die Suche nach neu ansetzenden Begründungen ist eingespannt zwischen zwei Polen, zwischen Religion und Philosophie.

Bei der Offensichtlichkeit der Umweltprobleme stellt sich jedenfalls **die grundsätzliche Frage, wem gegenüber der Mensch in seinem Handeln primär verantwortlich ist**. Die religiöse Ethik setzt eine göttliche Instanz, einen Gott voraus, dem gegenüber der Mensch in seinem Handeln primär verantwortlich ist. Die philosophische Ethik sieht aus Vernunftgründen den Handlungsmaßstab im Sittlich-Humanen. Kern ist eine in der Tradition der Aufklärung stehende Verpflichtung des Menschen zur verantwortlichen Gestaltung des Lebens und somit zu einem verantwortlichen Umgang mit Natur und räumlicher Umwelt, dem Lebensraum.

Die Bedeutung der Ethik als Leitprinzip hat im 20./21. Jahrhundert zweifellos zugenommen. Denn neue gesellschaftliche Problemfelder (Umwelt, Gentechnik, Tierversuche, Massentierhaltung u.a.) werden deshalb so kontrovers diskutiert, weil ihre Entstehungsursachen ebenso wie ihre Gegenmaßnahmen auf individuelle Moralvorstellungen und Verhaltensmuster basieren (A. PIEPER, U. THURNHERR 1998). Umweltethik muss aber die Individualethik um ein gesellschaftlich-moralisches Natur- und Umweltbewusstsein erweitern (H. JONAS 1986). **Umweltethik ist als ein Bereich zu sehen, der auf Wertvorstellungen/Prinzipien gerichtet ist, die den verantwortungsvollen Umgang der Gesellschaft mit den Strukturen und Prozessen der räumlichen Umwelt als Lebensraum betreffen**. Umweltethik stellt den Prozess der Auseinandersetzung mit der räumlichen Umwelt, die menschliche ‚Naturaneignung´, in einen gesellschaftsethischen Zusammenhang.

Doch ebenso wenig wie es eine absolute Definition gibt, was gut oder schlecht ist, lässt sich im westlichen Kulturkreis eine allgemein verbindliche Übereinstimmung zum Thema Ethik herbeiführen. Darüber gibt es nur eine relative sekuläre Verbindlichkeit. Dennoch muss geklärt werden, wer Träger von Rechten ist. Ist die Natur nur von Wert für den Menschen oder kommt allen Lebewesen oder sogar der belebten und unbelebten Natur insgesamt ein Eigenwert zu? Doch ethische Werte können aus der Natur selbst bzw. der Beschreibung ihrer Strukturen und Prozesse nicht abgeleitet werden. Denn **bei ethischen Werten handelt es sich immer um kulturell vermittelte Werte, um Produkte der kulturellen Evolution** (H. MOHR 1995). *„Die außermenschliche Natur prämiert ausschließlich das Überleben. Überleben ist aber eine allzu schmale Wertbasis für die Ethik“* (D. BIRNBACHER 1983, 1991). Als wichtige Argumentationsansätze mit ethischer Schlüsselbedeutung konnten bisher unterschieden werden.

- Physiozentrik bzw. Holistik;
- Biozentrik;
- Pathozentrik;
- Traditionelle Anthropozentrik.

Aber die nähere Betrachtung der einzelnen Sichtweisen und Standpunkte zeigt, dass alle Schwächen aufweisen und, für sich gesehen, jeweils erhebliche praktische Probleme und/oder Folgen erkennen lassen. Insbesondere die traditionelle Anthropozentrik hat bislang den entscheidenden Schwachpunkt offenbart, nämlich dass allein der Mensch als zentraler Maßstab gilt. Menschliches Handeln wird primär in Bezug auf die Bedürfnisse und Lebensbedingungen des Menschen gerechtfertigt. Entwickelt hat sich dieser Ansatz offensichtlich unter dem Einfluss der monotheistischen Religionen (Christentum, Judentum, Islam). Dem Menschen wird dabei eine besonders hohe Stellung (z.B. Ebenbild Gottes) unter den Lebewesen zugesprochen. Der Mensch wird als das höchst entwickelte Wesen gesehen, das zugleich mit einem Gestaltungs- und Herrschaftsauftrag über die Natur ausgestattet ist, das zu seinen Gunsten in die Umwelt/Natur eingreifen und diese verändern darf (A. BRENNER 1998). Der **säkulare Anthropozentrismus der Neuzeit** hat durch einen einseitig instrumentalisierten Umgang mit der räumlichen Umwelt/Natur letztlich zur Umweltkrise geführt.

Zweifellos muss jede Diskussion um Ethik letztlich immer wieder zu einem Punkt führen: **Voraussetzung und Bezugspunkt für Ethik und Moral kann eigentlich nur der Mensch sein. Nur Vernunftwesen haben einen moralischen Status** (J. HABERMAS 1991; E. TUGENDHAT 1997). Damit kann lediglich der Mensch als sittliches Subjekt Adressat moralischer Appelle sein (B. IRRGANG 1992; W. LOCHBÜHLER 1996). Menschlichem Handeln gehen immer Zielsetzungen und Entscheidungen voraus, die sich letztlich auf eine bewusste oder unbewusste moralisch relevante Haltung, auf eine Einstellung, eine regelnde Orientierung gegenüber dem Einzelnen, der Gemeinschaft oder der räumlichen Umwelt/Natur zurückführen lässt (H. KRÄMER 1992).

Die Philosophie der Neuzeit und Moderne kennzeichnet den moralischen Status des Menschen folgendermaßen: *„Dem Menschen wird Personsein zugeschrieben, weil er ein individuell-sittliches Subjekt, mithin ein Wesen ist, dem grundsätzlich das Vermögen (bzw. die Anlage oder Befähigung) zukommt, sich in Freiheit durch Vernunft zum Handeln zu bestimmen, das*

daher zu sich selbst (Selbstverständnis, Selbstbewusstsein) sowie zu seiner Mit- und Umwelt in ein bewusstes Verhältnis treten, Verantwortung und Pflichten übernehmen, Zwecke und Interessen verfolgen sowie sein Leben im Bewusstsein seiner Vergangenheit und seiner Zukunft entwurfsoffen zu einem einmaligen, unverwechselbaren Schicksal gestalten kann" (A. G. WILDFEUER 1998).

In den wichtigsten globalen Umweltproblemen - Klimaveränderung, Verlust der Biodiversität, Belastung der Weltmeere, Verknappung der Süßwasserressourcen, Müll- und Schadstoffbelastung - spiegelt sich jedoch ein Verhalten und Handeln der menschlichen Gesellschaft gegenüber der räumlichen Umwelt als Lebensraum, das verantwortungslos und fast schon pathologisch bezeichnet werden kann. **Wissen, technische Macht und Entscheidungsfreiheit sind nicht von vornherein gleichbedeutend mit Vernunft und Verantwortung**. Der Mensch als ethisches Subjekt, als Einzelner und Gesellschaft, muss sich der daraus resultierenden ethischen Verpflichtung stellen (H. JONAS 1986). Bloßes Wissen darf nicht mit Denken/Vernunft verwechselt werden. **Die moralische Herausforderung liegt vielmehr darin, wie mit Wissen umgegangen, wie Wissen angewandt wird.** Entscheidend ist, dass der Zuwachs an Wissen mit einem verantwortungsvollen Umgang mit der Natur korrespondiert. Die menschliche Gesellschaft ist gefordert, durch verantwortungsbewusstes Verhalten und Handeln die Leistungsfähigkeit der räumlichen Umwelt zu stützen und zu sichern, als lebensräumliche Grundlage jetziger und künftiger menschlicher Generationen sowie eines vielfältigen nicht-menschlichen Lebens.

Die Entwicklungsdynamik moderner Industriegesellschaften koppelt sich immer stärker von den eigenen natürlichen Existenzvoraussetzungen ab. Die Entwicklung sozio-ökonomischer Systeme ist unzureichend mit den ökologischen Systemen koordiniert und es fehlt an einer zutreffenden Rückkopplung. **Die Umweltproblematik erweist sich somit als ein Strukturproblem der gesamten menschlichen Gesellschaft**. **Umweltprobleme sind nicht nur einfach unerwünschte ökologische Folgen, für die eine Minimierung und nachsorgende Reparatur ausreicht. Sie müssen als Herausforderung für eine gesellschaftliche Neuorientierung begriffen werden. Die Probleme bestehen, weil sie trotz analytischer Kompetenz und technischer Brillanz Folgen von Verhaltensweisen sind, die in anthropozentrischen Absichten separierter gesellschaftlicher Strukturen begründet liegen.** Die koordinierte Vernetzung der komplexen kulturellen (sozio-ökonomischen) Systeme mit den sie tragenden natürlichen Systemen, als integriertes Mensch-Umwelt-System, hat bereits der Sachverständigenfragen für Umweltfragen (SRU 1994) als entscheidend gesehen.

Umweltethik ist gleichsam als ein umfassendes Integrationskonzept für die in neuzeitlichen Gesellschaften auseinanderdriftenden sozialen, ökonomischen und natürlichen Systeme zu sehen. Entscheidend für ein solches Bemühen ist es allerdings, die mentalen Hürden zu überwinden, damit querschnittsorientierte, interdisziplinär und international ausgerichtete und organisierte Verhaltensregeln und Handlungen sich entwickeln und etablieren können. Die einer solchen Umweltethik zu Grunde liegende Intention entspricht einem **integrierten Anthropozentrismus.**

6.2 Die Konkretisierung durch Wissenschaft

6.2.1 Das Wissen und die Erkenntnis

Seine kognitive Fähigkeit ermöglicht es dem Menschen, Wissenschaft zu generieren. Bereits CH. DARWIN (1871) ging davon aus, dass der Mensch die höchste organische Entwicklung erreicht hat, doch er glaubte an eine soziokulturelle Entwicklung. Allein der biologische Zustand deute darauf, dass eine Weiterentwicklung nur auf einer höheren Ebene erreicht werden kann. J. LUBBOCK (1874) war es, der schließlich in der Wissenschaft den Garanten dieser Weiterentwicklung sah. *„Das Streben der jetzigen Erfindungen und Verbesserungen ist nicht sowohl darauf gerichtet, irgendeine gewaltsame Umwälzung im Menschen selbst hervorzurufen, sondern ihn vielmehr mit der Natur in Einklang zu bringen, nicht ihn mit neuen Kräften zu begraben, sondern ihm zu zeigen, wie er die alten anzuwenden hat“* (J. LUBBOCK 1874, II/298). Doch dann begann durch die Auseinandersetzung zwischen Theologie und Wissenschaft eine Phase, in der zwei Sichtweisen aufeinander prallten: hier Theologie und Glaube, dort Wissenschaft und Wissen. R. MOSIS (1983) spricht von der *„Aufteilung der Einen Welt in eine naturwissenschaftlich-erfassbare, technisch handhabbare und in eine andere, theologisch-glaubend gedeutete und verstandene“.* Schließlich stellte es sich auch heraus, dass die im Sinne von Fortschritt als sozial und kognitiv propagierte Weiterentwicklung keineswegs die Notwendigkeit einschließt, dass sich Wissen, Handeln, Moral und Glauben parallel und sich gegenseitig stützend entwickeln und verhalten (E. OESER 1983). Wird Erkenntnis mit Wahrheit, Entwicklung mit Fortschritt und Wissen mit Sinn verwechselt? Jedenfalls steht fest, *„dass die Wissenschaft das waghalsigste Unternehmen in der Geschichte der Menschen darstellt, dessen Ausgang jedoch noch immer offen ist“* (E. OESER 1983).

Der eigentliche Beginn der Wissenschaft wird in der Regel den Griechen zugeschrieben. Für diese Phase sind das Suchen nach allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und die Konstruktion von Theorien charakteristisch. Erkenntnis diente der Orientierung des Menschen in der Welt (G. BÖHME 1980; G. BÖHME, J. GREBE 1980). Am Beginn der abendländischen Wissenschaft steht das Fragen, das Suchen nach Erklärungen und Begründungen, um den Mythos abzulösen. Das klassische Ideal, die Neutralität der Wissenschaft, die autonom, voraussetzungs- und wertfrei sein soll, geht auf ARISTOTELES zurück. Mit dem Postulat der Freiheit der Wissenschaft wird das Streben nach reiner Erkenntnis, nach der Wahrheit verbunden. Es sollte ein Streben nach Erkenntnis sein, unbehindert von Dogmen, Vorurteilen und Bevormundung. J. MONOD (1971) hat diesen Standpunkt als ‚Erkenntnis um der Erkenntnis willen' präzisiert. *„Das letzte Ziel, das höchste Gut, ist nicht... die Glückseligkeit des Menschen, noch vergängliche Macht oder die Bequemlichkeit des Lebens, auch nicht das Sokratische ‚Erkenne dich selbst' - sondern objektive Erkenntnis“*. **Doch am Beginn der Neuzeit, in der Renaissance, verkündete bereits Sir F. BACON (1561 - 1626) ‚Wissen ist Macht'.**

Nach der klassischen Vorgabe müssen wissenschaftliche Erkenntnisse unpersönlichen Kriterien unterworfen werden. Eine Erkenntnis muss auf Grund empirischer und/oder logischer Kriterien einer unvoreingenommenen Prüfung unterliegen, um als objektiv zu gelten. Die Bezeichnung objektiv für eine Erkenntnis ergibt sich zunächst formal aus der Gegenüberstellung eines erkennenden Subjekts (Mensch) zu einem erkennbaren Objekt (Gegentand, Sachverhalt). Da aber die Erklärung eines Objektes aus der Sicht verschiedener Subjekte unterschiedlich ausfallen kann, impliziert objektiv zudem Gemeinsamkeiten, Übereinstimmung in

der Erkenntnis der verschiedenen Subjekte bzw. die Wiederholbarkeit der Erkenntnis (intersubjektive Erkenntnis). Erst die Übereinstimmung mit Beobachtung und/oder mit bereits bestätigtem Wissen gilt dann als objektives Wissen. In der wissenschaftlichen Tätigkeit ist Objektivität jedoch keineswegs automatischer Bestandteil, sondern vielmehr eine Verpflichtung, eine Anforderung an die Wissenschaft und ihre Vertreter. Die entscheidenden normativen Grundlagen für die von der Wissenschaft angestrebte Wahrheit sieht A. F. COURNAND (1977) in Objektivität, Ehrlichkeit, Toleranz, disziplinierter Skepsis und selbstloser Hingabe. Wissenschaft als *„Erkenntnisgewinnung setzt also die strenge und vor allem stete Bindung an ein vorgegebenes Ethos voraus“* (H. MOHR 1985). Ohne die Glaubwürdigkeit der Wissenschaftler müsste ansonsten das Selbstverständnis einer wissenschaftlich-technisch ausgerichteten Kultur insgesamt in Frage gestellt werden (C. F. GETHMANN 2007). Voraussetzung für das Vertrauen in die Wissenschaft, sind zuverlässige Erkenntnisse, die sich im theoretischen und praktischen Handeln bewähren.

Wissenschaft untersucht methodisch alle rational zugänglichen materiell-natürlichen und geistig-kulturellen Erscheinungen der Welt. Sie erklärt und begründet, beschreibt und ordnet die gewonnenen Erkenntnisse zu Theorien. Wissenschaft umfasst das gesamte durch Forschung erworbene und durch Lehre weiter gegebene Wissen. Forschen ist methodisches Gewinnen von Erkenntnissen und ihre systematische Dokumentation (Abb. 32). Die Lehre betrifft die Weitergabe der Erkenntnisse aus den jeweiligen Forschungsfeldern sowie der Methodik zur Erkenntnisgewinnung.

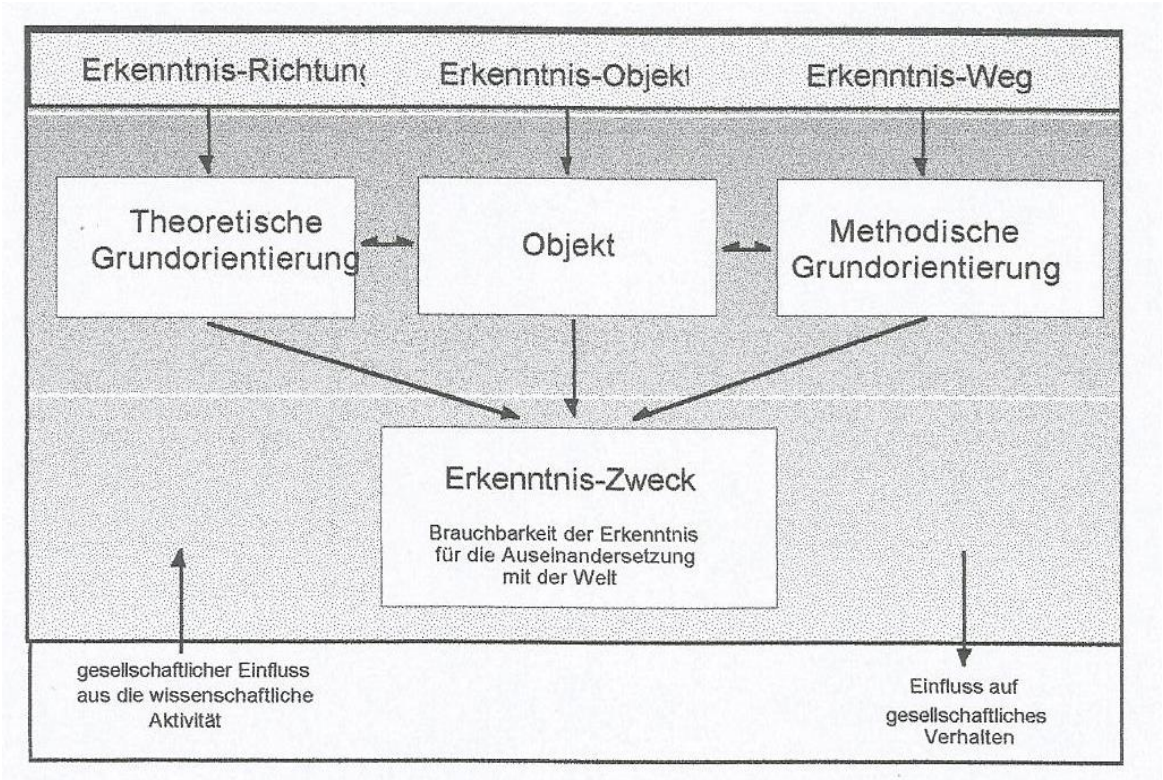


Abb. 32 Allgemeiner wissenschaftstheoretischer Rahmen

Doch jede wissenschaftliche Erkenntnis ist immer nur als vorläufig anzusehen. Denn es ist nicht auszuschließen, dass es künftig bessere, passendere, logischere und verständlichere Erkenntnisse/Theorien geben wird. Außerdem ist die Unfehlbarkeit des Wissenschaftlers

mehr als ein Irrglaube. Doch keine Erkenntniserweiterung ist zu erwarten und zu erreichen ohne das wissenschaftliche Grundprinzip des in Fragestellens (Zweifel als Denkprinzip), altes Wissen durch neues Wissen zu ersetzen.

Die kritische Diskussion und Auseinandersetzung über die Nicht-Übereinstimmung von Erkenntnissen/Theorien, ist immer wieder notwendiger Anlass, die Fähigkeit zur Objektivität zu prüfen, zu sichern und zu vervollkommnen. Damit ist aber ein anderes entscheidendes Problem noch nicht zwangsläufig ausgeschlossen, dass nämlich wissenschaftlich begründete Erkenntnisse einer anders motivierten Meinungsführung und Einflussnahme (subjektives Wissen, vorherrschende Denkrichtung, Autoritätswissen) untergeordnet werden und unterliegen. Schließlich sind Wissenschaftler gleichzeitig auch Mitglieder oder Sympathisanten anderer sozialer, politischer oder religiöser Gruppierungen, so dass Schwierigkeiten entstehen können, die richtige Balance zu finden. **Die fachliche wissenschaftliche Kompetenz allein stellt jedenfalls noch keinen hinreichenden Grund auch für eine ausgeprägte soziale, politische oder religiöse Urteilskraft und umgekehrt.** Es darf nicht der Eindruck entstehen, Objektivität ist ebenso eine Frage der Vereinbarkeit und was als objektive Erkenntnis gelten soll ist Folge eines Kompromisses, einer Absprache. Skepsis ist ebenso angebracht, wenn die Wissensproduktion der Forschung (Experten wie auch Institutionen) an spezielle (z.B. wirtschaftliche oder politische) Interessen gebunden ist. Denn Ergebnisse der Wissenschaft sollten Eigentum der Allgemeinheit sein und ihre Inhalte, Bedeutung, Brauchbarkeit und Anwendung der Öffentlichkeit sachlich richtig vorgestellt und erläutert werden. Ebenso entstehen kritische Situationen, wenn der Wissenschaftler dem *„Sog nach Popularität erliegt, die oft das stärkere Motiv ist als die unleugbare Verpflichtung des Wissenschaftlers, seine Resultate mit all ihren Konsequenzen in verständlicher Form der Gesellschaft, die ihn letzten Endes bezahlt, bekanntzugeben“* (E. OESER 1983).

Wissenschaft umfasst die Spanne von einer allein auf Erkenntnis gerichteten kulturellen Institution bis hin zu der von GALILEI provozierten Frage nach Wert und Verwendbarkeit von Wissen (B. BRECHT, Edition SUHRKAMP 1998). Der klassische unabhängige, eigenverantwortliche, allein auf Erkenntnis gerichtete Forscher- und Gelehrtentyp erscheint als Ausnahme. Die Motivation der Wissenschaft richtet sich heute vielmehr darauf, dass im Team erarbeitete und auf Vernunft und Erfahrung gebaute Erkenntnisse Beiträge zum besseren Verständnis der menschlichen Situation und zur Verbesserung seiner Lebensbedingungen sein sollen. Inwieweit aber damit immer der verheißene Fortschritt erreicht wird, bleibt diskutabel. Denn nach und nach und immer konsequenter entpuppten sich wissenschaftliche Erkenntnisse ebenso als Herrschaftsinstrument. **Heute ist Wissenschaft in vielen Feldern anwendungsorientiert und dabei oft speziell interessengeleitete und orientierte Zweckforschung und oft eine nur vordergründig von der Gesamtgesellschaft getragene und ihr dienende Unternehmung**.

Das Ideal der Wertfreiheit der Wissenshaft ist jedenfalls umstritten. J. HABBERMAS (1968) hegt mit Recht erhebliche Zweifel, ob sich die von MAX WEBER (1864 - 1920) erwähnten Aspekte der Richtigkeitsrationalität, Zweckmäßigkeitsrationalität und die Wertrationalität wirklich eindeutig trennen lassen. Einerseits gehen in jede Wissenschaft normative Anteile als Konventionen, Normierungen, oder Auswahlkriterien ein, ohne die ein wissenschaftliches Wissenssystem überhaupt nicht erstellt werden könnte (H. KEUTH 1989). Andererseits ist in

vielen Forschungsunternehmungen von vornherein die gezielte Suche nach anwendungsrelevanten, wirtschaftlich verwertbaren Ergebnissen das Motiv. Schon allein deshalb wäre es naiv zu glauben, dass Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeit immer wertneutral sind.

Die moderne Wissenschaft unterscheidet sich inzwischen im Ansatz und in der Entwicklungsgeschwindigkeit. E. OESER (1983) spricht von *„axiomatisch-deduktiven Theorien mit einem eleganten analytischen Formalismus".* Die experimentell-praktischen Aktivitäten stützen sich auf mit Hilfe von Beobachtungs- und Messapparaturen gewonnene Daten und Informationen, wobei *„der wissenschaftliche Erfolg von der Verarbeitung dieser Daten abhängt"* (E. OESER 1983). Ihre Verarbeitung beruft sich auf logisches Denken, jedoch ausgehend von postulierten und vorgegebenen, den Fragestellungen zugeordneten Axiomen. Der Wahrheitswert daraus abgeleiteter Ergebnisse und Erklärungsalternativen kann allerdings empirisch oft nur noch unvollkommen, schwer bis nicht mehr nachvollzogen werden (E. OESER 1983).

Der Prozess der wissenschaftlichen Spezialisierung hat zwar weitreichende Erkenntnisse und deren technische Anwendung ermöglicht. Die Legitimation für Wissenschaft ist Erkenntnis und Erkenntnis ist ein überragender Wert. Doch Wissenschaft ist nicht nur ein kognitives sondern auch ein moralisches Unternehmen. *„Es ist in der Tat der Wahrheitsbegriff - Wahrheit als primäres Erkenntnisinteresse, als regulative Idee -, dem die Wissenschaft seit der Aufklärung ihre sachliche und moralische Autorität verdankt"* (H. MOHR 1995). Doch dem gegenüber steht ebenso der Vorwurf, die Wissenschaft habe in der jüngsten Entwicklung unserer Welt versagt. Denn obwohl *„das Kausalitätsprinzip... für den Menschen von heute apriorisches Wissen über die Struktur der Welt"* (H. MOHR 1995) sein sollte, hat die Nicht-Anwendung dieses Wissens unvorhergesehene Neben- und Späteffekte bewirkt und neue Wissensfelder haben zusätzliche moralische Probleme aufgeworfen. *„Effekte, die man haben will, bekommt man auch, und zwar auf jeden Fall, und nebenbei noch viele andere Effekte, die man nicht haben wollte oder die man unter Umständen gar nicht bemerkt"* (E. OESER 1983).

Die Einheit von Philosophie und Wissenschaft, die Gesamtsicht, scheint sich zu verlieren. Ein wichtiger Grund dieser Entwicklung wird im linearen Denken, in reduktionistischen, wissenschaftlich-technokratischen Denkweisen gesehen (P. WEISH 2007). Als gesellschaftliches Teilsystem kann Wissenschaft aber ebenso wenig losgelöst von den entscheidenden Wertepositionen und Verhaltensweisen der Gesamtgesellschaft gesehen werden. Bei der Umsetzung und Anwendung werden dabei wissenschaftliche Erkenntnisse vielfach verformt und anderen gesellschaftspolitischen und auch individuellen Zielen und Maßstäben untergeordnet. Dadurch entsteht leicht der Eindruck, Ethik ist in der neuzeitlichen Wissenschaft als etwas angeblich Nicht-Wissenschaftliches ausgeklammert (H. KAEGELMANN 1994). Doch das gesellschaftliche Wertesystem ist letztlich bestimmend für den Umgang mit Wissenschaft und ihren Erkenntnissen. *„Das 17. Jahrhundert war so weise, die Vernunft als ein notwendiges Mittel in der Behandlung der menschlichen Angelegenheiten zu betrachten. Die Aufklärung und das 19. Jahrhundert waren so töricht, in der Vernunft nicht nur ein notwendiges, sondern ein hinreichendes Mittel zur Lösung aller Probleme zu sehen. Noch törichter wäre es, würden wir heute, wie manche es möchten, beschließen, dass die Vernunft, weil sie nicht hinreichend ist, auch nicht mehr notwendig ist"* (F. JACOB 1983).

Ein Grundanspruch allerdings muss weiterhin in der Wissenschaft Bestand haben. **Wissenschaftliche Erkenntnis muss sich an der Suche nach Wahrheit und am Kausalitätsprinzip orientieren**. Für wissenschaftliches Denken und Handeln gilt die Wahrheit als Regulativ. Denn im Sinne von J. MITTELSTRAß (1982) ist sie mehr als nur eine konventionelle Übereinkunft, sondern auf ihr muss sich das Wissenschaftsethos als Gefüge moralischer Verhaltensweise gründen. Nach H. G. GADAMER (1982) *„ist Ethik nicht nur Gesinnungsfrage, auch unser Wissen oder Nichtwissen muss verantwortet werden… Das worauf es in der menschlichen Gesellschaft allein ankommt, ist, wie sie ihre Zwecke setzt oder besser noch, wie sie für die Übernahme der von allen bejahenden Zwecke Einverständnis erzielt und die richtigen Mittel findet".*

6.2.2 Die Wissenschaft und die Gesellschaft

Moderne Gesellschaften beschreiben sich unterschiedlich und diskutieren, welche Etiketten/Bezeichnungen angemessen sind. Mit Stichworten wird versucht, die Kernstrukturen der jeweiligen gesellschaftlichen Zustände zu fassen und zu erklären. Es entstanden zahlreiche, z.T. konkurrierende Bezeichnungen, und schließlich auch die der *Wissenschaftsgesellschaft* (R. KREIBICH 1986) und *Wissensgesellschaft* (N. STEHR 1994; CH. HUBIG 2000).

So verschieden die jeweiligen Bezeichnungen und Sichtweisen auch immer erscheinen, allen sind Information und Wissen als zentrale Querschnittskategorien gemeinsam. Nicht selten wird aber die sich entwickelnde Gesellschaft weder als krisenhaft noch als risikobelastet beschrieben, sondern als fortschrittsorientierter sozialer Wandel. Wissenschaft bedeutet Zuwachs an Beherrschungswissen und die bestehenden Probleme werden nur als vorrübergehend wahrgenommen. Auf diese seit der Aufklärung entwickelte Überzeugung hat FRANCIS BACON mit seiner Utopie *Nova Atlantis* (1624) offensichtlich nachhaltigen Einfluss ausgeübt. Wissenschaft ist gleichbedeutend mit einer Veränderung der äußeren Natur, was allein durch Erfolg, d.h. durch die Verbesserung der Lebensverhältnisse, gerechtfertigt wird. Misserfolge werden ausgeblendet, nur Erfolge werden bekannt gegeben. Die Gefahren und Unsicherheiten werden verdrängt und *„in genau diesem Sinne ist die für die Moderne charakteristische Verwissenschaftlichung der Erfahrung von Anfang an eine Risikoverwissenschaftlichung"* (W. BONß 2002). Für M. MIEGEL (2001) ist die sich abzeichnende Wissensgesellschaft *„der dritte gewaltige Paradigmawechsel in der Geschichte der Menschheit".*

Die Wissens- und Wissenschaftsabhängigkeit als Strukturmerkmal moderner Gesellschaften wurde jedoch schon früher erkannt. Bereits H. SCHELSKY (1961) charakterisierte die moderne Gesellschaft als *„wissenschaftlich-technische Zivilisation".* Im angelsächsischen Sprachraum bildete sich der Begriff der *„knowledge-able societies"* (R. E. LANE 1966; P. F. DRUCKER 1968). Von der Politik wird Wissensgesellschaft und Informationsgesellschaft in der Regel ohne wirkliche inhaltliche Klärung gleichgesetzt und in der Förderung der Informationstechnik eine entsprechende wissenschaftliche Innovation gesehen (BMBF 1997). Die damit verbundene Unterstellung - mehr Information = mehr Wissen = bessere Handlungsmöglichkeiten - verdrängt allerdings, dass nicht in der Bereitstellung von Information das entscheidende Kriterium liegt, sondern im Umsetzen in sinnvolles verantwortungsvolles Verhalten und Handeln (W. BONß 2002). Das verkürzte, einseitige und meist lineare Denken bewirkt auch hier eine Instrumentalisierung. Doch die Erfolge werden immer mit Nebenfolgen und Folge-

problemen erkauft, deren Kompensation inzwischen mehr Aufwand erfordert als die angeblich erzielten Vorteile. Bei Fragen zu den Gefahren und Unsicherheiten der Technologien wird trotz allem, gleichermaßen als *„ideologische Überhöhung“* (J. HABERMAS 1968), immer noch mit entsprechendem Optimismus auf den Glauben an die Wissenschaft verwiesen, auf ihre Eindeutigkeit und Absolutheit, Lösungsfindung und Berechenbarkeit.

Es ist nicht einfach, diesen Anspruch in einer Zivilisation zu relativieren, die durch die Idee einer wissenschaftlichen Naturbeherrschung und Gesellschaftssteuerung entscheidend geprägt wurde und Fortschritt ausschließlich mit wirtschaftlichem Wachstum gleichsetzt. *„Wachstum hat sich in gewisser Weise zur Religion unserer Zeit entwickelt und bedarf als solche keine rationalen Begründungen mehr“* (M. MIEGEL 2010). Die als Weiterführung der Aufklärung propagierte Verwissenschaftlichung als Informations- und Wissensanhäufung hat jedenfalls bislang zu keiner besseren Berechenbarkeit der Welt geführt. W. BONß (2002) sieht darin eher eine Selbstgefährdung der Menschheit, die zu einer zunehmenden Skepsis gegenüber dem bislang unbestrittenen Überlegenheitsanspruch der bestehenden Wissenschaft beiträgt. Auch N. STEHR (2000) bemerkt bei modernen Gesellschaften einerseits eine wachsende und vielfach auch irreversible Wissenschaftsabhängigkeit, andererseits zugleich eine Unsicherheit und Selbstgefährdung der Gesellschaft. Immer mehr Fragen innerhalb der gesellschaftlichen Diskussion gelten den Risiken.

Allein **die globalen Umweltprobleme zwingen dazu, über die Zukunftsfähigkeit menschlicher Gesellschaften nachzudenken und nicht voreilig eine Harmonisierung durch Wissenschaft schon für gegeben zu halten**. Denn die von R. K. MERTON aufgestellten grundsätzlichen Verhaltensregeln, die das wissenschaftliche Ethos umschreiben, sind heute offensichtlich als zu individualistisch und nicht mehr ausreichend. Die Situation hat sich grundlegend geändert. Angesichts der globalen Krisen muss ein verbindender gesellschaftsethischer Grundkonsens entwickelt werden, **ein neues Ethos, in dem wissenschaftliche Erkenntnisse und gesellschaftlich-lebensräumlich geprägte Motivation zu neuen Werten verschmelzen**. K. POPPER (1991) geht z.B. davon aus, dass Forschung positiv von einem Sinn geleitet sein sollte. H. JONAS (1986) hält es für zwingend erforderlich, dass der Mensch die Verantwortung trägt für Folgen und deren Reichweite in den komplexen und interdependenten Sozial- und Umweltsystemen. Die Vernunft, die einst mit der kulturellen Entwicklung entstand (F. v. HAYEK 1983) und eine erklärende und aufklärende Rolle spielen sollte, hat sich in der modernen Welt zu einer selektiven, nutzungsorientierten und fortschrittsgläubigen instrumentellen Vernunft verändert. Diese Herausforderung ist ein ernst zu nehmendes Problem und keine vorübergehende Episode. Das Problem ist kein Ergebnis vorübergehender Mängel, keine gewissermaßen nur pubertäre Erscheinung einer reifenden Weltgesellschaft, sondern ein grundsätzliches Problem der Gesamtgesellschaft selbst.

Ein entscheidendes Merkmal einer solchen modernen Gesellschaft ist ihre Offenheit. Wie jedes komplexe offene System ist auch die offene Gesellschaft ein Phänomen, dessen Fortbestand nicht selbstverständlich ist. Sie hängt vielmehr von Bedingungen ab, die (wie moralische Legitimation, Bildung u.a.) immer wieder intern erneuert und oft auch neu geschaffen und gestaltet werden müssen. **Eine offene Gesellschaft ist ein System, das spezifischer struktureller und funktionaler Ausprägungen, Abhängigkeiten und Wirkungs-zusammenhänge bedarf, um trotz Dynamik seine Qualität und Stabilität zu erhalten**. Offene Gesell-

schaften können viel leichter zerstört als aufgebaut werden. Das sollte Grund genug sein, mit den natürlichen und sozialen Grundlagen politisch und intellektuell nicht leichtfertig umzugehen.

Eine aus unterschiedlichen Spannungsfeldern resultierende Unsicherheit gilt - gegenüber früheren fortschrittsoptimistischen Analysen - als Strukturmerkmal einer solchen offenen Gesellschaft. Bezeichnend dafür ist, dass es neben den nationalstaatlichen Regulativen notwendig wird, wissensbasierte Teilbereiche herauszulösen und zu internationalen und interdisziplinären Regulationsstrukturen zu verknüpfen. Auch die Veränderungsbereitschaft und Veränderungen in der Gesellschaft dürfen nicht mehr ausschließlich von staatlichen und ökonomisch- bzw. industriespezifischen Interessen bestimmt werden. Zivilen Organisationen als gesellschaftliche Teilsysteme muss für die Infragestellung und grenzübergreifenden Erkenntnis-, Lern- und Veränderungsprozesse ebenso eine zentrale Rolle zugestanden werden. Diese Strukturierung bedeutet mehr als nur eine einfache gesellschaftliche Ausdifferenzierung und Verselbständigung, sondern eine wechselnde Zuordnungsdynamik von Autonomie und struktureller Bindung der Teilsysteme im gesamtgesellschaftlichen Zusammenhang. Von ganz besonderer Bedeutung für den modernen Gesellschaftscharakter aber ist das Verhältnis zwischen unvollständigem Wissen, Entscheidungsnotwenigkeit und Risiken (W. BONß 2002; M. HEIDENREICH 2003).

Moderne Gesellschaften bewegen sich im Spannungsfeld zwischen nationaler Gesellschaft und globaler Gesellschaft, Wissenschaft und lernenden zivilen Organisationen, Ausdifferenzierung und struktureller Kopplung von sozialen Teilsystemen, unvollständigem Wissen und Entscheidungsnotwendigkeit sowie Risiken und Planungsnotwendigkeit.

6.2.3 Die Umweltwissenschaft

(1) Der integrative und systemische Ansatz

Die in der modernen Gesellschaft trotz allem bestehende Unsicherheit gegenüber wissenschaftlichen Aussagen wird unter anderem darauf zurückgeführt, dass z.B. von einem so komplexen System wie das der räumlichen Umwelt des Menschen, Erkenntnisse bislang nur segmentweise gewonnen und dann entsprechend isoliert handlungsrelevant aufbereitet werden. Der Systemzusammenhang wird mehr oder weniger vernachlässigt und ausgeklammert, so dass immer wieder Folgerisiken eintreten auf die erneut reagiert werden muss. Diese Vorgehensweise ähnelt sehr dem Prinzip Versuch und Irrtum, ist aber kaum zur Lösung von Umweltproblemen geeignet.

Seit der Mensch seine Erfahrungen registriert und dokumentiert, hat sein Einfluss die energetische und stoffliche Dynamik der räumlichen Umwelt, gemessen an der Erdgeschichte, zunächst nur unbedeutend verändert. Doch seit rund 200 Jahren zeigt die Anthroposphäre ein exponentielles Wachstum im Energie- und Stoffumsatz. Dieses physische Wachstum wurde durch die Umweltpolitik weder wesentlich gebremst noch durch Zielvorstellungen neu qualifiziert und dimensioniert. Die Umweltqualitätsziele konnten gar nicht oder bestenfalls ansatzweise erreicht werden. Das Wachstum anthropogener Strukturen setzt sich bislang fort. Der Stoff- und Energiehaushalt ist nicht mehr nachhaltig. Energie- und Stoffumsatz sind mitbestimmend für Struktur und Funktion natürlicher Ökosysteme, doch genauso ent-

scheidend ist der Energie- und Stoffumsatz für das Zusammenwirken natürlicher und anthropogener Strukturen und Funktionen. Der Energie- und Stoffumsatz der Anthroposphäre nimmt Einfluss auf den Energie- und Stoffumsatz der natürlichen Umwelt. Ein zentrales Interesse muss deshalb die Erfassung und Bewertung von anthropogenen Stoffwechselprozessen sein, ihrer zeitlichen und stofflich-energetischen Dimension. Die entscheidenden Kernfragen sind: Wie kurz- oder langfristig, direkt oder indirekt, lokal oder global wirksam sind diese Prozesse und welche Risiken bergen sie? Wie können die menschlich verursachten Stoff- und Energieströme in einer nachhaltigen Art und Weise gestaltet werden ? (S. BRINGEZU, ST. MOLL, H. SCHÜTZ 2002a)

Dringend notwendig ist ein zuverlässiges Wissen über die systemischen Zusammenhänge in der räumlichen Umwelt sowie zwischen räumlicher Umwelt und Gesellschaft, das verständlich, handlungswirksam und öffentlich zugänglich ist. Eine autonome, integrierende, der Wahrheit verpflichtete Umweltwissenschaft scheint dringend notwendig. **Eine solche Umweltwissenschaft aber kann nicht konstruiert werden, sondern muss in einem Orientierungsrahmen entstehen und wachsen.** Sie muss sich mit dem komplexen Systemzusammenhang zwischen natürlichen, sozialen und ökonomischen Strukturen (natürliche umwelt - lebensräumliche Umwelt des Menschen - soziale Umwelt) auseinandersetzen, mit den natürlichen Umweltstrukturen, ihren existenziellen Leistungen für den Menschen und den durch seine Aktivitäten ausgelösten Veränderungen für Mensch und Natur.

Die menschliche Gesellschaft sieht sich heute Problemen und Risiken gegenüber, die umfassendere Lösungen verlangen als die einzelnen Fachdisziplinen von sich aus erreichen können. Nicht am genialen Einfall fehlt es, sondern an der erforderliche Art des Denkens und der zugeordneten Struktur. **Dem komplexen Systemzusammenhang lebensräumlicher Umwelt muss eine adäquate Denkweise und Forschungsstruktur entsprechen. Erforderlich ist eine systemische Betrachtungsweise auf der Basis eines Forschungsverbundes, einer Bündelung aller umweltbezogen Disziplinen. Denn erst wenn ganz unterschiedliche Erkenntnisgebiete in Zusammenhang gebracht werden, gelingen neue, treffendere und wesentlichere Einsichten.**

(2) Der Wissenspool

Sollen die Ergebnisse der Forschung effektiv, brauchbar und wichtig sein, dann erfordert Forschung eine richtige Fragestellung. Aber was ist die richtige Fragestellung und das richtige anvisierte Ziel? *„Wissenschaft und Forschung bilden einen steten Kreislauf zwischen Suchen, Entdecken und Überprüfen. Was an neuen Erkenntnissen die Prüfung übersteht, wird als gesichertes Wissen aufgenommen. Der Begriff ´gesichert hat allerdings zwei Gesichter, ist er doch immer nur Ausdruck einer Momentaufnahme. Gegenwärtig gesichertes Wissen wäre die richtige Bezeichnung. Täglich wird scheinbar gesichertes Wissen über den Haufen geworfen. Vor bestehendem Wissen keinen Respekt zu haben, ist ein Merkmal hochwertiger Forschung. Dieser Kreislauf zwischen Erkenntnis und Überprüfung kann nur funktionieren, wenn die Forschungsergebnisse lückenlos, schnell und unverzerrt kommuniziert werden“* (SPIEGEL online 08.01.2014). Die Praxis ist jedoch in vielen Gebieten von diesem Idealzustand weit entfernt. *„Wir scheinen mitten in* der *Wissensgesellschaft angekommen zu sein, stümpern*

aber erstaunlich oft dort, wo Wissen entstehen sollte, nämlich in der Wissenschaft“ (SPIEGEL online 08.01.2014).

Inzwischen gibt es zwar einen immensen Wissenspool - Ergebnisse und verworfene Ergebnisse - der jedoch lediglich eine mühsam, mehr oder weniger zufällig zusammengetragene Grundlage darstellt. Dieser Wissenspool hat daher ein entscheidendes Problem, er ist nicht systematisch entstanden, in sich nicht vernetzt, das Wissen ist nicht untereinander verglichen, nicht abgestimmt und koordiniert und nicht transparent. Die größten Fehler sind, dass oft die falschen Fragen gestellt werden und nicht geprüft wird, ob vergleichbare Untersuchungen bereits vorliegen. Die Forschungsergebnisse sind keineswegs allen Wissenschaftlern zugänglich.

Ein Großteil der Forschungsansätze ist nicht systematisch ausgewählt, ist unabgestimmt und unkoordiniert entstanden. Das Potential einer systematischen Wissensnutzung wird ignoriert und weniger Antworten können gegeben werden, die vielen Millionen nützen könnten. Die eigentlich leitenden Kräfte sind Geld und Wirtschaftlichkeit, Prestige und Macht. Hinzu kommt der Konkurrenzdruck. Nicht zuletzt wird die Qualität eines Wissenschaftlers und auch der Publikationsorgane nur daran gemessen, wie oft eine Arbeit zitiert wird. Dabei ist es unerheblich, ob die Arbeit zitiert wird, *„weil sie gut ist, oder weil sie provokativ, auffallend oder falsch ist“* (SPIEGEL online 08.01.2014). Das wiederum bedeutet, dass mit vorläufigen und unvollständigen Ergebnissen und eher angesagter statt wirklich wichtiger Forschung in die Öffentlichkeit gegangen wird. Auf dieser Basis entsteht ein enormer Zeitdruck, der von Wirtschaft und Politik zusätzlich verstärkt wird.

Die entscheidende Voraussetzung zur Effektivierung ist die Aufarbeitung und Bereitstellung eines Wissenspools, der koordiniert, vernetzt und mit einem verpflichteten Zugriff versehen ist. Neue Forschungsprojekte sollten nur in Kenntnis des vorhandenen, systematisch zusammengetragenen und korrigierten Wissens durchgeführt werden. Nur dann können relevante Innovationen hergeleitet werden, zukunftsfähige wirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen, die zugleich weitestgehend transparent und auch öffentlich zugänglich sind. Die Medien/Publikationsorgane sollten sich auf die objektive, gleichwertige Wiedergabe von spektakulären und weniger spektakulären Forschungsansätzen und Ergebnissen beschränken und vermeiden, dass Halbwahrheiten und Unausgegorenes in die gesellschaftliche Kommunikation gelangen. Ein fragwürdiges Steuerinstrument bietet in diesem Zusammenhang der *Impact Factor* (OSTERLOH M., FREY B.S 07.07.2013). Dieser Faktor reflektiert die Dauer, während der ein in einer Zeitschrift veröffentlichter Artikel an anderen Stellen zitiert wird. Damit sagt dieser überbewertete Faktor zwar etwas über das Ansehen des Journals aus, aber nicht über die eigentliche Qualität der Veröffentlichung. Die Qualität eines Wissenschaftlers sollte am Inhalt seiner Aussage und nicht an der Anzahl seiner Veröffentlichungen bemessen werden.

(3) Die Grenzen von Wissenschaft?

In einer modernen Gesellschaft scheint die Wissenschaft die Deutungshoheit über nahezu alle gesellschaftlichen Bereiche zu erobern. Denn die Freiheit der Wissenschaft wird von

Staat garantiert. Trotzdem ist von Wissenschaft und Forschung die grundsätzliche Frage nicht wegzudenken: Wo sind die Grenzen der Forschung? Was ist erlaubt und wo bestehen Tabus?
Zwei Sachverhalte bestimmen im Wesentlichen das heutige naturwissenschaftlich orientierte Verständnis:

- Wissenschaftliche Theorien und philosophische Spekulationen sind nicht mehr im tra-ditionellen Sinne unterscheidbar, weil der Wissenschaft ihre eigentlichen Stärken - die empirische Nachprüfbarkeit und die experimentelle Absicherung - immer mehr abhandenkommen sind.
- Die alte Überzeugung, dass wissenschaftlicher und humaner Fortschritt zusammenfallen ist im Schwinden, auch diese Basis geht offenbar verloren. Zunehmend fehlt das Orientierungswissen (Ethik und Moral), das hilft Entscheidungen zu treffen, wie mit neuen Technologien und entsprechend neu gewonnen Wissen umgegangen werden soll.

An sich zielen Wissenschaft und Forschung ihrem Wesen nach auf das Überschreiten von Grenzen, streben nach neuem Wissen, das vergangenes Wissen überholt und ersetzt. Zwangsläufig aber folgt daraus, dass Wissenschaft und Forschung befürchten Gefahr zu laufen, diesen Charakter der Wissenschaftlichkeit einzubüßen, wenn Tabus beachtet werden. Diese Problematik wird am deutlichsten in den Bereichen der Life-Sciences. So entsteht beispielsweise mit der an einer genetischen Manipulation/Veränderung von Organismen orientierten Forschung und Anwendung ein weitreichender gesellschaftlicher Konflikt: Denn sowohl die Zustimmung als auch die Ablehnung werden ethisch begründet.

Ist es die Wissenschaft, für die Tabus zu gelten haben? Oder liegt das Problem in der Anwendung von Wissen? Oder sind beide Aspekte in der Form gar nicht zu trennen? In jedem Fall resultieren daraus Konflikte, die nur im gesellschaftlichen Konsens, im gemeinsamen Einverständnis lösbar sind.

6.3 Das Umwelthandeln

Als Begründung für Umweltvorsorge und Umweltentwicklung gilt: Der Mensch als vernunftbegabtes Wesen steht vor einer großen existenziellen Herausforderung. Die lebensräumliche Funktion der Erde wird durch die anthropogene Inanspruchnahme und Überformung zunehmend in Frage gestellt. Es bedarf gewaltiger Anstrengungen, diese Entwicklung in eine tragfähige Richtung zu lenken. **Dazu ist verantwortliches Denken und Handeln gefragt, ein planmäßiges Vorgehen, das Rationalität und Kreativität einschließt**. Die bestehende Herausforderung liegt in der Komplexität und im globalen Ausmaß des Problems. Dem muss daher ein ebenso komplexer strategischer und operativer und zugleich durchgängiger Handlungsansatz und Handlungsrahmen entsprechen.

6.3.1 Der Paradigmawechsel

Die Weltgemeinschaft muss sich eingestehen, dass die von ihr bislang propagierte Umweltpolitik nicht annähernd erfolgreich war und es höchste Zeit ist, umzusteuern. Von den Ländern zwar zur Kenntnis genommen, wurden Umweltmaßnahmen im besten Fall nur von ei-

nem kleinen Teil zögernd und dann auch nur unzureichend umgesetzt. Der Ruf nach mehr politischem Willen und gesellschaftlicher Unterstützung ist ein berechtigtes Anliegen. Aber entscheidend sind die Wertvorstellungen, an die sich das Verhalten einer Gesellschaft orientiert. Eine Umweltpolitik, die den anstehenden Problemen mit einem **entsprechenden vernünftigen, rationalen und planvollen Verhalten und Handeln** zu begegnen sucht, setzt zuerst einen radikalen gesellschaftlichen Paradigmawechsel voraus. **Es ist erforderlich, dass in Politik, Wirtschaft und Technik, national wie global, der dominante Wachstumsgedanke abgelöst und dem gegenüber der Lebensqualität, d.h. der sozialen Gerechtigkeit sowie der Vorsorge und dem Schutz der natürlichen Umwelt prioritäres Gewicht verliehen wird**. In Gesellschaften, für die bisher ausschließlich wirtschaftliches und technisches Wachstum Fortschritt bedeutete, ist es zweifellos ein gewagtes Unternehmen. Doch nur eine überzeugende und wahrheitsgemäße Informationspolitik, die der Gesellschaft ein solches Umdenken plausibel vermittelt und begründet, kann eine Veränderung im Umwelthandeln bewirken. Vor allem in den wirtschaftlich starken Ländern muss diese neue gesellschaftliche Priorität entschlossener durchgesetzt werden. Nur auf dieser Basis wird es möglich sein, Umweltpolitik und Umwelthandeln verantwortlich und effektiver zu organisieren und den Kreis der Handelnden ausreichend zu erweitern.

6.3.2 Die Planung

Wenn rationales Denken und Verhalten entscheidend sind, um sich der für den Menschen bestehenden Herausforderung zu stellen, dann ist Planung eine zentrale Bedingungen hierfür. Denn *„Planung ist die gedankliche Vorwegnahme künftigen Handelns*“ (H. STACHOWIAK 1970). Planung ist die gedankliche Vorwegnahme von Erfordernissen und Handlungsschritten, die zur Erreichung eines Ziels notwendig erscheinen. Planen ist ein rationaler Prozess, der aber ebenso die Fähigkeiten Erfahrung und Intuition erfordert und mit einbezieht.

Die Bedeutung von Planung lässt sich in vier entscheidende Optionen für Handlungen und Konfliktregelungen zusammenfassen, indem Planung *„a) frühzeitig auf Probleme Einfluss nimmt, indem sie Problemwahrnehmung, Problemdefinition und den möglichen Problemlösungsraum zu strukturieren versucht (Frühwarnfunktion), b) die Zeitachse des Handels in die Zukunft verlängert (Orientierungsfunktion), c) durch Berücksichtigung von sachlichen Interdependenzen und deren Interessensabhängige Bewertung Ziel- und Maßnahmenkonflikte frühzeitig ausräumt (Koordinierungsfunktion) und d) die Verhärtung von Verteilungs- und Interessenskonflikten zugunsten gemeinwohlorientierter, kooperativer Lernprozesse aufzulösen versucht (Moderationsfunktion)“* (D. FÜRST 1995). Planung ist eine Vorgehensweise, Entscheidungsprozesse rationaler und die Entscheidungshorizonte langfristiger zu gestalten. Planung als Prozess verbindet Rationalität mit Zukunftsorientierung, Koordination und Steuerung.

6.3.3 Die operative Grundstruktur

G. ISBARY (1962) definierte Raumordnung als *„auf das Ziel gerichtet, alle menschlichen und natürlichen Kräfte des Gesamtraumes und seiner Teilräume entsprechend der Tragfähigkeit und ihrer Aufgaben im Rahmen des Ganzen und seiner Entwicklung zu ordnen, zu gestalten und zur Entfaltung zu bringen“*. Dem entsprechend ist Raumplanung (als Ziel- und Aktions-

begriff) der zugeordnete operativ-instrumentelle Bereich, der zur Erarbeitung und Erstellung einer angestrebten räumlichen Ordnung dient. Umweltplanung (als Ziel- und Aktionsbegriff) gilt dann als jener Bereich, der eine spezifische Koordination der Interaktionen zwischen Gesellschaft und räumlicher Umwelt impliziert, der auf Schutz und Vorsorge für die natürlichen Grundlagen zur Optimierung lebensräumlicher Qualität zielt.

Als Teil des gesellschaftlichen Regelungssystems muss die Organisation eines solchen Handlungssystems logischerweise in seiner Grundstruktur einem informationsverarbeitenden System folgen. Das entstehende Operationsfeld muss, bezogen auf das Verhältnis Gesellschaft-Umwelt, eine Regelungsfunktion übernehmen können (Abb. 33). Gleichzeitig müssen die jeweiligen operativen Komponenten im System eine in erster Linie ihrer Funktion/Aufgabe verpflichtete, aber kooperationsfähige Eigenständigkeit aufweisen (Abb. 34).

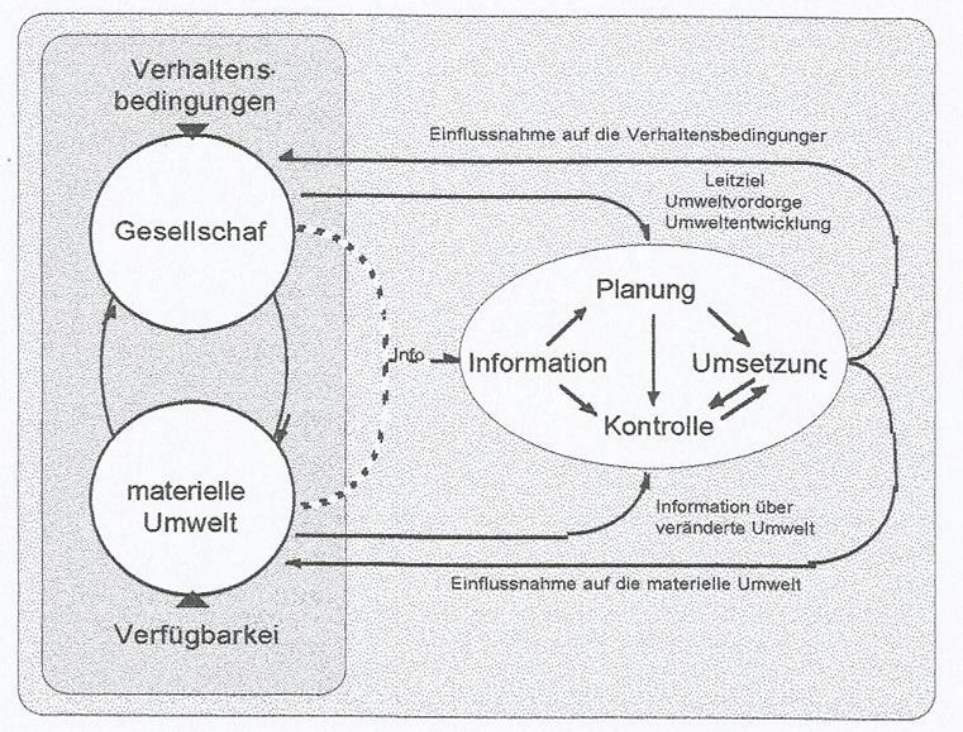


Abb. 33 Umweltschutz/Umweltvorsorge - Teil des gesellschaftlichen Regelungssystems

Ein solches Handlungs- und Regelungssystem muss als zukunftsgestaltende Vision auf allen (kommunalen, regionalen, nationalstaatlichen und internationalen) Aktionsebenen als Kern eine operative Grundstruktur mit folgenden Komponenten besitzen:

Das **Wertesystem** (= Führungsgröße): Diese Komponente stellt die verhaltensleitenden Bedingungen, die ein solches Handeln veranlassen und begründen. Im Vordergrund dieser normativen Bedingungen steht eine ethische Grundorientierung. Die reale räumliche Umwelt zeigt sich als ein Komplex ökologischer Strukturen, die jedoch infolge intensiver menschlicher Inanspruchnahme durch Überformung, Umformung und Instabilität immer mehr ihre Qualität als nachhaltig leistungsfähiger Lebensraum einbüßt. Doch nicht nur der Mensch ist materiell wie immateriell von der Leistungsfähigkeit der natürlichen Umwelt, von ihrer abiotischen und biotischen Strukturen abhängig. Betroffen von den Eingriffen und Ver-

änderungen ist ebenso das nicht-menschliche Leben. Die entscheidende Rolle die der Mensch (als Individuum und Gesellschaft) in diesem Zusammenhang spielt, entspringt seiner Fähigkeit zu bewusstem Handeln. Ihm allein wächst die Verantwortlichkeit zu, sowohl für den gegenwärtigen Zustand als auch für die künftige Entwicklung der lebensräumlichen Umwelt. Von den instrumentellen Gegebenheiten sind es vor allem das vorhandene Wissen, die bestehende Technologie und die Möglichkeit zu politischem Handeln, die ihn in die Lage versetzen, ein solches Umwelthandeln zu organisieren, effektiv zu gestalten und durchzuführen.

Das **Informationssystem** (= Rezeptor): Im Vordergrund steht die Beschaffung und Erfassung, Aufbereitung und Beurteilung sowie schließlich Speicherung und Bereitstellung aller Daten und Informationen zur Ausprägung der räumlichen Umwelt. Das Informationssystem vervollständigt ein erläuternder Katalog aller umweltpolitischen Instrumente, die Handeln legitimieren und steuern, sowie der Prinzipien, die als Gestaltungsmaßstäbe für Gesetze, Programme, Verfahren oder Einzelaktivitäten dienen und so die Verwirklichung inhaltlicher Ziele ermöglichen.

Systematisch und zuverlässig erhobene Daten über den Vernetzungszustand der räumlichen Umwelt müssen die Grundlage bilden für umweltpolitische Entscheidungen. Veränderungen in der Ausprägung der räumlichen Umwelt können nur durch eine langfristige Beobachtung und Erfahrung belegt werden. Die Nutzbarkeit der Ergebnisse/Daten hängt dabei entscheidend von ihrer Präsentation ab, d.h. von ihrer Qualität, Zuverlässigkeit und Vermittelbarkeit. Eine funktionierende Umweltbeobachtung liegt dann vor, wenn ihre Auswertung sich an Umweltqualitätszielen orientieren kann, eine Risikobewertung und die Verwendbarkeit für eine Erfolgskontrolle der politischen Maßnahmen zulässt.

Das **Planungssystem** (= Regler 1): Das Interesse im Bereich der räumlichen Umwelt gilt zwei Sachverhalten, der Problemsuche und der Lösungssuche. Die Problemsuche ermittelt und beurteilt im Systemzusammenhang das am Planungsziel orientierte Problem- und Entwicklungspotenzial nach Art, Umfang, Qualität und zeitlicher Dimension. Bei der Lösungssuche wird aufgezeigt, wie das Problempotenzial gemindert oder aufgelöst, das Entwicklungspotenzial gefördert oder beschleunigt werden kann und welche Vorteile oder Nachteile damit verbunden sein können. Neben der inhaltlichen Lösung gilt es auch, die dafür erforderlichen Instrumente und Mittel anzusprechen, zu entwickeln und nach ihrer Brauchbarkeit für die Lösung zu hinterfragen. Da es für ein Problem in der Regel nicht nur eine Lösung gibt, ist ein vergleichendes Abwägen möglicher Alternativen (sachlicher und instrumenteller Art) erforderlich, um schließlich die Entscheidung zu treffen, welche Lösung als Maßnahme, Plan oder Konzept dargestellt, erläutert und umgesetzt werden soll.

Das **Umsetzungssystem** (= Effektor): Die Durchführung der durch politische Entscheidung bestimmten Lösungen wird hinsichtlich der beteiligten Akteure, der infrage kommenden Mittel und zeitlichen Abfolge organisiert und letztlich auch realisiert. Dabei kommt es darauf an, auf welcher Ebene (international, national, regional oder kommunal) die Lösungen jeweils zum Tragen kommen sollen.

Das **Kontrollsystem** (= Regler 2): Die Kontrolle ist ein in der Praxis oft vernachlässigter, aber unbedingt notwendiger Systemteil. Der Kontrollprozess umfasst eine vergleichende Prüfung (Evaluierung) zwischen Zielsetzung, eingespeisten Informationen, geplanten Maßnahmen und ihrer Umsetzung nach Inhalten, Abläufen und Legitimität. Gegebenenfalls müssen Korrekturen im Wertesystem, bei den Information, Maßnahmen und/oder der Ausführung veranlasst werden.

Schon bestehende umweltorientierte Institutionen sollten in ein solches System organisatorisch eingegliedert werden. Aus Gründen der Effektivität ist es erforderlich, den einzelnen operativen Teilsystemen jeweils einen spezifischen, von ihnen verantworteten, geschlossenen aber kooperationsfähigen Aufgabenbereich zuzuweisen. Auf allen Ebenen sollte eine im Kern vergleichbare Strukturierung und Gliederung entstehen, um eine durchgängige horizontale und vertikale Kooperation zwischen den jeweiligen Teilsystemen als auch mit und zwischen den Gesamtsystemen zu gewährleisten. Voraussetzung ist außerdem eine Transparenz der Aktivitäten und Abläufe. Informationen und Erkenntnisse müssen in ihrer Gültigkeit rational und sachlich begründet sowie gesellschaftlich verfügbar und nachvollziehbar sein. Das Umwelthandeln ist an politische Entscheidungen gebunden, die sowohl den Auftrag/die Aufgabe der jeweiligen operativen Teilsysteme betreffen als auch deren Ergebnisse. Die politischen Entscheidungen müssen legitimiert und für die Öffentlichkeit nachvollziehbar sein.

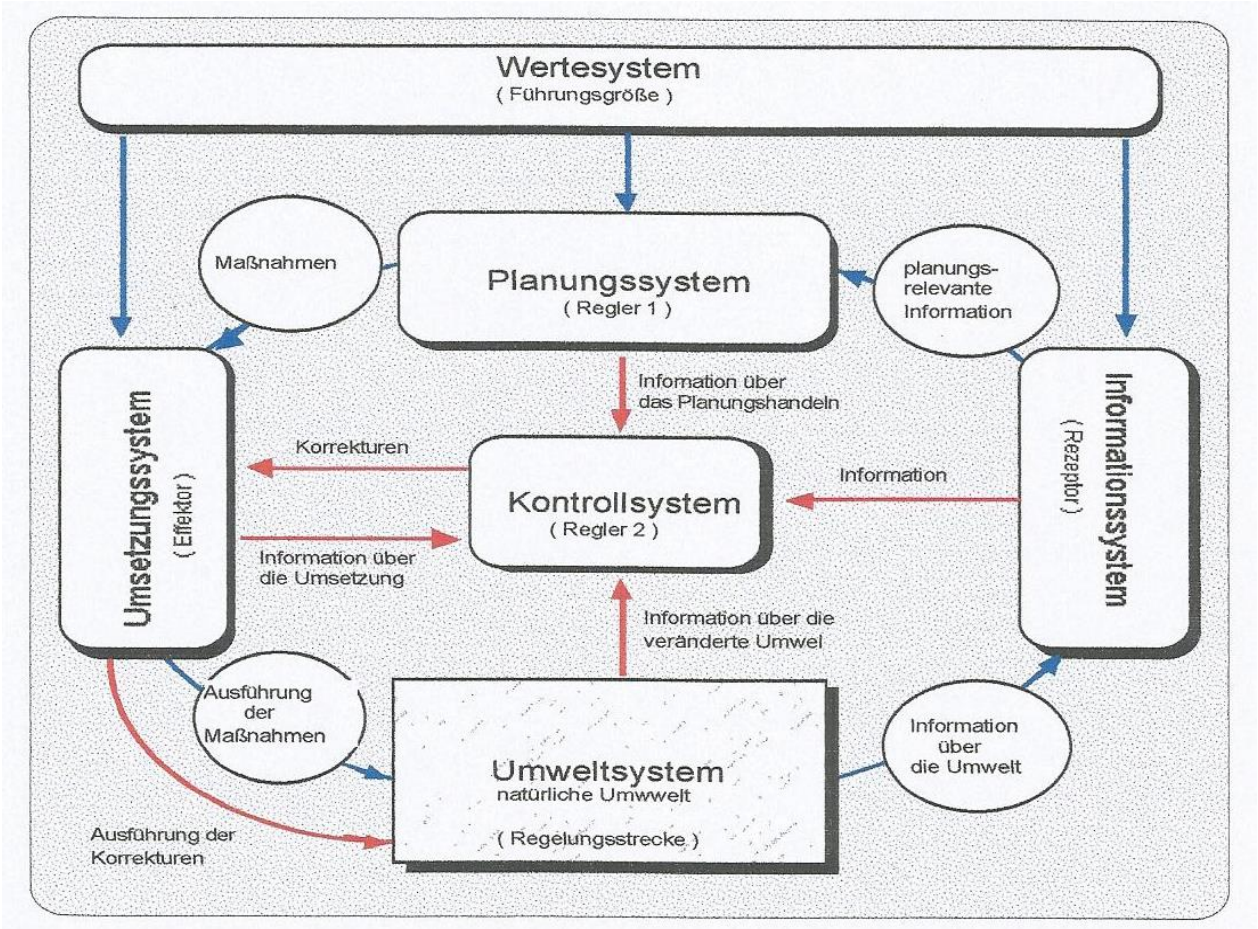


Abb. 34 Operative Komponenten des Umwelthandelns

7 Die offene kulturelle Evolution

Der Homo sapiens - ein weiser und einsichtiger Mensch?

Innerhalb der biologischen Systematik zählt der Mensch als höheres Säugetier zur Ordnung der Primaten, zur Familie der Hominiden und der Gattung Homo. Für die einzige bis heute überlebende Art der Gattung Homo wählte CARL VON LINNÈ 1758 in der zehnten Auflage seines Werks *Systema Naturae* die Artbezeichnung Homo sapiens, weiser und einsichtsfähiger Mensch (WIKIPEDIA 16.10.2015 - Mensch). J. ILLIES (1983) verweist darauf, dass selbst der Biologe LINNÉ offensichtlich in der damals herrschenden, an der Schöpfungsgeschichte orientierten, abendländischen und idealistischen Denktradition (Ge.1.27 ff) verhaftet war, nach der es nur so viele Arten gibt, wie am Anfang von Gott geschaffen wurden. Den Menschen selbst schuf Gott nach seinem Abbild, der folglich weise und einsichtsfähig ist.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fand jedoch durch die Begründung und Formulierung der Abstammungslehre durch LAMARCK und DARWIN eine der größten geistigen Erschütterungen statt. Der Gedanke, dass der Mensch selbst das Ergebnis einer natürlichen Entwicklung ist, veränderte die geistige abendländische Welt. In der nachfolgenden Zeit hat der Homo sapiens immer wieder versucht, seiner einstigen Selbsttitulierung gerecht zu werden. Wissenschaftliche Rationalität und technisches Vermögen schienen es zu bestätigen. Dabei wurde die Gewissheit, Gott hat den Menschen erschaffen, immer mehr abgelöst von der Überzeugung, allein Evolution und Hominisation liefern die Erklärung. Der Mensch ist in der Lage, die Welt zu vermessen. In den letzten Jahrhunderten absolvierte der Mensch jedenfalls einen wissenschaftlich-technischen Gewaltmarsch. Oder tut der Homo sapiens damit nur das, was für alle anderen Lebewesen auch gilt, sich in der Welt zu behaupten? Die Hominiden waren anderen konkurrierenden Arten und Gattungen schon bald überlegen. Was an körperlichen Fähigkeiten fehlte, wurde durch ein kognitives Potenzial wettgemacht, das beim Homo sapiens seinen bisherigen Höhepunkt erreichte. Die geistigen Fähigkeiten, womit der Mensch seine Sonderstellung glaubt begründen zu können, sind jedoch trügerisch. Denn kein Organismus greift zugleich in seine Umwelt so einschneidend ein, wie es der Mensch tut. Der Unterschied liegt in den ungeahnten Auswirkungen seiner kognitiven Fähigkeit begründet, in der sich zugleich anthropozentrisches einseitiges Denken mit Aufwand, Kostspieligkeit und Arroganz verbindet. Zumindest seit Mitte des vorigen Jahrhunderts ist es nicht mehr zu leugnen, dass die menschliche Tätigkeit Spuren hinterlässt, die auf eine fortschreitende quantitative und qualitative Veränderung lebensräumlicher Strukturen und Funktionen deuten. Damit offenbart sich aber ein sehr widersprüchliches Menschenbild. Dem Homo sapiens werden nicht nur Attribute z.B. wie „*Krone der Schöpfung, Einzigartigkeit des Menschen*“ (A. HUXLEY 1947) oder „*Säugetier von Gottes Gnaden*“ (U. LÜCKE 2006) zugewiesen. Es werden dem ebenso Charakterisierungen entgegengestellt wie „*Homo demens*“ (E. MORIN 1974), *„Irrläufer der Evolution“* (A. KÖSTLER 1978), oder wie es F. M. WUKETITS (2001) ausdrückt, *„Naturkatastrophe Mensch“.*

Im Laufe der gesamten philosophisch-wissenschaftlichen Erkenntnissuche ist jedoch ein Phänomen ebenso erstaunlich wie rätselhaft. ST. TOULMIN (1982) schreibt, *„es handelt sich um die Tatsache, dass die Welt der Natur für menschliche Lebewesen überhaupt intelligibel*

ist". Der gleiche Autor unterteilt die zugeordnete Diskussion dabei in drei aufeinander folgende Phasen. *„Während eines ersten Abschnittes hieß der Schlüsselbegriff Ordnung oder Kosmos; während des zweiten Abschnittes Harmonie oder Plan, und während des dritten noch andauernden Abschnittes heißt er… Evolution*". Nach allem was wir heute wissen, ist Evolution ein das gesamte Universum betreffendes Prinzip, ein alle Entwicklungen umgreifender und einschließender Prozess. Nach R. RIEDL (1983) gleicht die Evolution einer Abfolge autopoietischer Schritte, deren Möglichkeiten, wie es C. BRESCH (1983) formulierte, bereits in den sogenannten Alpha-Bedingungen liegen. In jeder autopoietischen Phase vollzog sich dabei eine nicht vorhersehbare Wahl aus einer großen Anzahl von Möglichkeiten. *„Dies ist auch der Grund, weshalb die Menschwerdung… zwar eine mögliche aber keine notwendige Folge dieses Universums ist"* (R. RIEDL 1983). Offen allerdings ist, ob es weitere der Erde vergleichbare Planeten gibt und anderswo vergleichbares Leben existiert. In jeden Fall aber ist die irdische biologische Evolution nur ein Ausschnitt aus einem Gesamtgeschehen. Trotz aller erkenntnismäßigen Unzulänglichkeiten verbindet sich mit diesen Gedanken dennoch ein einschneidender geistesgeschichtlicher Paradigmawechsel. *„Es geht - es ist wichtig genug, um es zu wiederholen - um die Tatsache, dass die Welt für den Menschen ein anderes Gesicht angenommen hat"* (H. v. DITFURTH 1983).

Das in den letzten Jahrzenten durch die Naturwissenschaft entworfene Bild einer evolutierenden Welt sieht die Evolution als offenen Prozess. Damit sind aber zugleich auch die Grenzen für das wissenschaftliche Operationsfeld abgesteckt. Einerseits lässt sich zwar rückschauend die Entstehung von Materie, Raum, Zeit und Leben erklären. Andererseits bietet die Evolution in ihrer Offenheit gegenüber der Zukunft keine festgelegte geschichtliche Perspektive. Die vergangene, gegenwärtige und nur äußerst begrenzt auch die künftige Wirklichkeit einer evolutierenden Welt ist einer naturwissenschaftlichen Deutung, Argumentation und Erklärung zugänglich. Darüber hinaus aber, sowohl rückwärts als auch nach vorn gerichtet, führt lediglich der Glaube an eine, die sinnlich erfahrbare Welt übersteigende transzententale Kraft und Wirklichkeit als Urheber und Sinngeber. Evolutionstheorie und Schöpfungsglaube sind Erklärungsversuche zum Weltverständnis, die sich nicht notwendigerweise ausschließen, sondern eher aufeinander beziehen und ergänzen. Die Spannung zwischen beiden Erklärungsversuchen beruht nicht zuletzt darauf, dass Theologen *„mit menschlicher Sprache und irdischen Begriffen glaubhaft von einer übermenschlichen und überirdischen Wirklichkeit reden müssen"* (H. v. DITFURTH 1983). Doch *„Glaube und Wissen tragen die Kultur"* (R. J. RIEDL, F. KREUZER 1983). Das Bindeglied beider Erklärungsversuche aber ist letztlich die Frage nach der menschlichen Existenz. P. TEILHARD DE CHARDIN (1964) hat den Versuch unternommen den Gegensatz zwischen Evolutionstheorie und Schöpfungsglaube zu überwinden, indem er *„ein kohärentes Weltbild entwickelte, in dem einzelwissenschaftliche, philosophische und religiöse Einsichten zu einer sinngebenden und welterklärenden Einheit zusammengebracht wurden - und das mit dem Primat des naturwissenschaftlichen Denkens"* (R. LEY 1983).

Mit der Entstehung des Menschen und seiner Weiterentwicklung sind Verhaltensweisen entstanden, die ihn von allen anderen Lebewesen unterscheiden. Gerade der Umstand seiner evolutionären Entstehung und Entwicklung birgt gleichzeitig das notwendige Potenzial. Doch der Mensch muss sich bewusst werden, nicht nur Ergebnis einer Entwicklung, sondern

ebenso daran Beteiligter zu sein. Evolution ist zwar gleichbedeutend mit Fortentwicklung nicht aber zwangsläufig mit Fortschritt. Diese Frage stellt sich vor allem für den Menschen, weil er als besonderes Ergebnis dieser Evolution gesehen wird.

Alle Arten, einschließlich der menschlichen Art, müssen in einer entsprechenden Umwelt leben in der sie sich entwickeln können. Wie keine andere Art ist jedoch der Mensch in der Lage, die Umwelt entsprechend seinen Bedürfnissen zu verändern. Zutreffend aber ist auch, dass solche Veränderungen Grenzen haben müssen. Doch mit dem demografischen und ökonomischen Wachstum und der Fähigkeit, jedwede verfügbare Ressource auszubeuten, hält die Klugheit und Weisheit nicht in demselben Tempo mit. Das Ergebnis ist, dass die natürlichen Grundlagen in ihren Funktionen für den Menschen bereits in einem alarmierenden Ausmaß geschwächt sind. Die Menschheit ist nicht in der Lage, die äußeren Grenzen zu erkennen und ob oder wie darauf eingewirkt werden kann. Doch diese Tatsache ist nichts Unabänderliches, sofern der Mensch seine inneren Grenzen überwindet. *„Wenn die Menschheit gegenwärtig in Schwierigkeiten geraten ist, weil die Umwelt bis zu einen gefährlichen Punkt hin zerstört worden ist, dann ist das bestimmt nicht auf äußere Ursachen zurückzuführen, sondern auf Engstirnigkeit und eine armselige Selbstkontrolle“* (A. PECCEI 1988). Wenn die Menschheit aber diesen Schritt nicht wagt, dann behindert sie die Entwicklung in Richtung einer größeren Reife. *„Die gegenwärtige globale Krise, in der alte und neue Bevölkerungs-, Rohstoff-, Energie-, Vermassungs-, Inflations-, Armuts-, Entfremdungs-, Militarisierungs- , Ordnungs-, Verelendungs-, Ungerechtigkeits- und andere Probleme größer werden und sich unentwirrbar miteinander verschlingen, entsteht daraus, dass es für die Menschen sehr schwer ist, die Erkenntnisstufe und den Verantwortungssinn zu entwickeln, der ihnen ein verändertes Universum abverlangt“* (A. PECCEI 1988). Die Menschheit ist gefangen in den bisher zwar dienlichen, aber inzwischen überholten kulturellen Grenzen, die von einer Entwicklung abhalten. **Das Problem der Lebensqualität, des Überlebens der Menschheit, liegt unter den gegebenen Bedingungen damit eindeutig im Menschen selbst, in den gegenwärtigen Begrenzungen und Fehlerhaftigkeiten**. P. LÜTH (1984) vermerkt in Anlehnung an E. KANT, *„in pragmatischer Hinsicht komme es auf den Menschen als frei handelndes Wesen an, also auf das, was er aus sich selber machen kann und machen soll“.* Die biologische Evolution des Menschen ist kaum steuerbar, die Zukunft des Menschen liegt daher in der kulturellen Evolution. F. v. HEYEK (1983) sieht Vernunft als Produkt einer kulturellen Evolution. **Es ist eine schwierige und notwendige aber nicht unmögliche Aufgabe, die es wert ist, immer wieder angegangen zu werden, die kulturelle Evolution so zu beeinflussen, um zukunftsfähige Vernunft zu generieren.** Dafür den Mut und eine Richtung zu finden, die das Unternehmen Menschheit über die Schwelle trägt, wäre ein realistisches evolutionäres Ziel. Das Niveau der moralischen Werte und die Vernunftbegabung der heutigen Menschheit bergen noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial.

Literatur und Internet

Allègre Cl. et al. (2001) - Chemical composition of the Earth and the volatility control on planetary genetics.
Earth and Planetary Science Letters, 2001, 185 (1-2), S. 49-69

Ashby W. R. (1956) - An introduction to Cybernetics.
London 1956

Ashby W.R. (1974) - Principles of the Self-Organizing-System.
In: Buckley W. (Hrsg.), Modern System Research for the Behavioral Scientist.
4. ed., Chicago 1974

Ashby W.R. (1985) - Einführung in die Kybernetik
stw 34, Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 2. Auflage 1985

Bacon F. (1624/1982) - Neu Atlantis (Nova Atlantis zuerst erschienen 1624).
Reclam, Stuttgart 1982

Beese F. (1997) - Multitalent. Die vielfältigen Funktionen des Bodens. – Politische Ökologie, 15. Jg., Sonderheft 10 „Bodenlos“

Begon B., Harper J.L., Townsend C.R. (1986, 1991) - Ecology. Individuals, population and Communities. Oxford/London 1986
Deutschsprachige Ausgabe: Ökologie – Individuum, Population, Lebensgemeinschaft.
Birkhäuser Verlag, Basel 1991

Berger A., Loutre M.F. (2002) - An Exceptionally Long Interglacial Ahead?
Science 297, S.1287-1288, 2002

Bertalanffy L. v. (1949) - Zu einer allgemeinen Systemlehre.
Biologia generalis 19/1, S.14-18, 1949

Bertalanffy L. v. (1950) - The theory of open systems in physics and biology.
Science 111, S.23-29, 1950

Bertalanffy L. v. (1953)- Biophysik des Fließgleichgewichtes

Bertalanffy L. v. (1956) - General System Theory.
Gen. System. Yearb. 1, 1956

Bertalanffy L. v., Beier W., Laue R. (1977) - Die Physik des Ungleichgewichts.
Vieweg, Braunschweig 1977

Birnbacher D. (1983) - Ökologie und Ethik.
Stuttgart 1983

Birnbacher D. (1991) - Mensch und Natur, Grundzüge der ökologischen Ethik.
In: K. Bayertz (Hrsg.), Praktische Philosophie, Hamburg 1991

BMBF - **Bundesministerium für Bildung und Forschung** (1997) - Innovationen für die Wissensgesellschaft. Förderprogramm Informationstechnik.
Bundesdruckerei, Bonn 1997

Bohle H. W. (1995) - Limnische Systeme.
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 1995

Böhme G. (Hrsg.) (1980) - Alternativen der Wissenschaft.
dtw 334, Suhrkamp, Frankfurt/M. 1980

Böhme G., Grebe J. (1980) - Soziale Naturwissenschaft.
In: G. Böhme, Alternativen der Wissenschaft, dtw 334, Suhrkamp Frankfurt/M.1980

Bonß W. (2002) - Riskantes Wissen? Zur Rolle der Wissenshaft in der Risikogesellschaft.
In: Heinrich-Böll Stiftung (Hrsg.); Gut zu Wissen. Verlag Westfälisches Dampfboot 2002.
http:/www.wissensgesellschaft.org./themen/risiko/iskanteswissen.pdf

Bornkamp R. (1971) - Grundzüge der Ökologie.
In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht Bd.24, Frankfurt/M 1971

BpB - Bundeszentrale für politische Bildung (2006) - Wasserverfügbarkeit.
Bundeszentrale für politische Bildung 2006
http://www.bpb.de/files/IUW9RM.pdf

Brandt K. (1890) - Über die biologischen Untersuchungen der Plankton-Expedition.
Naturwissenschaftliche Rundschau 5, 1890

Bräuer G. (2004) - Der Ursprung lag in Afrika.
Spektrum der Wissenschaft: Evolution des Menschen II. Dossier 1, S.34-42, 2004

Brecht B. (1998) - Das Leben des Galilei.
Edition Suhrkamp, Suhrkamp Verlag 1998, ISBN 978-3-518-18801-9

Brenner A. (1998) - Ökologie-Ethik.
In: A. Pieper, U. Thurnherr, Angewandte Ethik. Eine Einführung. München 1998

Brenner H. (2012) - Entstehung des Lebens.
http://www.planet-wissen.de/natur/forschung/entstehung_des_lebens/pwwbentstehungdeslebens100.html

Bresch C. (1983) - Evolution aus Alpha-Bedingungen, Zufalls-Türmen und Systemzwängen.
In: Riedl R. J., Kreuzer F. (Hrsg.), Evolution und Menschenbild.
Hoffmann & Campe, Hamburg 1983

Breuer H. (2000) - dtv-Atlas Chemie.
Band 1, dtv-Verlag

Bringezu G. St., Moll St., Schütz H. (2002 a) - Der Stoffhaushalt nationaler Volkswirtschaften und Aspekte eines nachhaltigen Ressourcenmanagements.
Technikfolgeabschätzung - Theorie und Praxis Nr.1, 11. Jg., März 2002a.
http://www.itas.fzk. de/tatup/021/brua02a.pdf

Bronger D. (2004) - Metropolen, Megastädte, Global Cities. Die Metropolisierung der Erde.
Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt 2004

Burenhult G. et al. (2000) - Die ersten Menschen. Die Ursprünge des Menschen bis 10 000 v.Chr.
Jahr-Verlag, Hamburg 2000

Campbell B. (1985) - Ökologie des Menschen. Unsere Stellung in der Natur von der Vorzeit bis heute.
Harnack Verlag, München 1985

Cournand A. F. (1977) - The code of the scientist and its relationship to ethics.
Science 98, 699-705, 1977

Crutzen P. (2002) - Geology of mankind.
Nature 415, January 2002.
http://www.studgen.uni-mainz.de/sose04/schwerp3/expose/geology.pdf

Czihak G., Langer H., Ziegler H. (Hrsg.) (1992) - Biologie.
5. Aufl., Spinger Verlag Berlin/Heidelberg/New York 1992

Darwin Ch. (1871, 2005) - Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zucht-wahl.
Erste deutsche Übersetzung des englischen Originaltextes, Reclam Stuttgart 1871.
Fischer Taschenbuch, Frankfurt/M. 2005

DFG - Senatskomission für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften (2014) - 10.3 - Krisen der Evolution und Dynamik der Biodiversität.
http://www.sk-zag.de/10.3_Krisen_der_Evolution_und_Dynamik_der_Biodiversitaet.html

Dillmann O. (2013) - Geowissenschaftlicher Dienst.
http://www.geodienst.de/einteilunggesteine.htm

Ditfurth H. v. (1983) - Evolutionäres Weltbild und theologische Verkündigung.
In: R. J Riedl, F. Kreuzer (Hrsg.) Evolution und Menschenbild.
Hoffman und Campe, Hamburg 1983

DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2015) - Der Urknall - oder: als das Nichts explodierte.
http://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6738/11073_read-25276/

Drucker P. F. (1968) - The Age of Discontinuity. Guidelines to our Changing Society.
Harper Row, New York 1968

DSW - Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (2007) - DSW-Datenreport - soziale und demografische Daten zur Weltbevölkerung 2007.
http://www.weltbevoelkerung.de/pdf/dsw-datenreport-07.pdf

DSW - Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (2014) - DSW-Datenreport - soziale und demografische Daten zur Weltbevölkerung 2014.
http://www.weltbevoelkerung.de/pdf/dsw-datenreport-14.pdf

Düchs G. (2005) - FEECA-Europabüro (aksb/IAE).
EuropeInfo (Hrsg. Com. ECE/OCIPE) 67, January 2005.
http://www.aksb.de/upload/dateien/europ_werte.pdf

EIKE - Europäisches Institut für Klima und Energie (09.11.2011) - Kritik an Trenberth` Energiefluss 09.11.2011.
http://www.eike-klima-energie -eu/ fileadmin/user-upload/Bilder-Dateien/Jaeger- Trenberth-BFones-tenb-2.jpg

Ellenberg H. (Hrsg.) (1973) - Ökosystemforschung. Ergebnisse vom Symposium der Deutschen Botanischen Gesellschaft und Gesellschaft für angewandte Botanik in Innsbruck, Juli 1971.
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1973

Eurostat - Statistisches Amt der europäischen Gemeinschaften (2001) - Economy - Wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide.
Luxemburg 2001

Evans F. C. (1956) - Ecosystem as the basic unit in ecology.
Science 123, S.1127-1128, 1956

Faupl P. (2003) - Historische Geologie.
UTB Wissenschaft, 2. Aufl., 2003

Friedrichs K. (1927) - Grundsätzliches über die Lebenseinheiten höherer Ordnung und den ökologischen Einheitsfaktor.
Naturwissenschaft 15, 1927

Friedrichs K. (1937) - Ökologie als Wissenschaft von der Natur.
Bios 7, 1937

Frielinghaus M., Grimme H. (1999) - Boden als begrenzte Ressource - Begründung für den Bodenschutz.
In: Buchwald K., Engelhardt W., Umweltschutz: Grundlagen und Praxis, Bd. 4 Schutz des Bodens. Economica Verlag, Bonn 1999

Fröhlich G. (2006) - Nachdenken über das Gute: Ethische Positionen.
Verlag Vandenhoeck & Ruprecht 2006

Fürst D. (1995) - Planung.
Handwörterbuch der Raumordnung, ARL Hannover 1995

Gadamer H. G. (1982) - Hermeneutische Probleme der praktischen Vernunft.
In: Good P. (Hrsg.) Von der Verantwortung des Wissens.
Edition suhrkamp 1122, NF Band 122, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1982

Geier M. (2012) - Aufklärung. Das europäische Projekt.
2. Aufl., Rowohlt, Reinbek bei Hamburg 2012

Georgescu-Roegen N. (1971) -Entropy Law and the Economic Process.
Cambridge Mass. 1971

Gethmann C.F. (01.2007) - Die Krise des Wissenschaftsethos.
BIOspektrum 13. Jg., 01.2007.
http://www.biospektrum.de/blatt/d_bs_pdf&_id=932426

Gigon A. (1983) - Über das biologische Gleichgewicht und seine Beziehung zur ökologischen Stabilität.
Ber. Geobot. Inst. Zürich 50, Stiftung Rübel, Zürich 1983

Gigon A. (1984) - Typologie und Erfassung der ökologischen Stabilität und Instabilität mit Beispielen aus Gebirgsökosystemen
Verh. Ges. f. Ökologie 12, 1984

Gigon A., Bolzern H. (1988) - Was ist das biologische Gleichgewicht? Überlegungen zu einem Phänomen, das es streng genommen gar nicht gibt.
Aus Forschung und Medizin, Das Gleichgewicht der Natur 3. Jg., Heft 1, März 1988

Graf F. W. (2006) - Moses Vermächtnis. Über göttliche und menschliche Gesetze.
München 2006

Habermas J. (1968) - Technik und Wissenshaft als Ideologie.
Suhrkamp, Frankfurt/M. 1968

Habermas J. (1991) - Erläuterungen zur Diskursethik.
Suhrkamp, Frankfurt/M. 1991

Haeckel E. (1866) - Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen.
2 Bände, Berlin 1866

Haeckel E. (1869, 1879) - Natürliche Schöpfungsgeschichte.
Berlin 1869; 7. Aufl. Berlin 1879

Haken H., Wunderlich A. (1986) - Synergetik. Prozesse der Selbstorganisation in der belebten und unbelebten Natur.
In: Dress A., Hendrichs H., Küppers G., Selbstorganisation - Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft.
Piper, München-Zürich 1986

Hartmann N. (1948; o.J.) - Einführung in die Philosophie.
Nachschrift der Vorlesung im Sommersemerster 1948 in Göttingen.
Bearbeitung Auerbach K., 7. Auflage, Hankel, Osnabrück, o.J.

Hartmann N. (1962) - Ethik.
4. Auflage, de Gruyter, XXII, Berlin 1962

Hayek F .v. (1983) - Die überschätzte Vernunft.
In: Riedl R.J., Kreuzer F.(Hrsg.),Evolution und Menschenbild. Hoffmann u. Campe, Hamburg 1983

Heidenreich M. (2003) - Die Debatte um die Wissensgesellschaft.
In: Böscher St., Schulz-Scheffer I. (Hrsg.), Wissen in der Wissensgesellschaft.
Westdeutscher Verlag, Opladen 2003
http://www.sozialtruktur.uni-oldenburg.de/dokumente/wissensgesellschaft _2002.pdf

Hellberg-Rode G. (2004) - Bodenentwicklung.
http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04.htm

Hensen V. (1887) - Über die Bestimmung des Plankton und das im Meer treibende Material an Pflanzen und Tieren.
5. Bericht der Kommission zur wiss. Untersuchung der deutschen Meere, Kiel 1887
Hermes J. (2013) - Über Sprache und Tierkommunikation.
http://texperimentales.hypotheses.org/744

Herwartz D. et al. (2014) - Identification of the giant impactor Theia in lunar rocks.
Science 344, 1146 2014

Horster D. (2009) - Grundwissen Philosophie - Ethik.
Reclam 2009

Horster D. (12.05.2009) - Es gibt keinen Werteverfall.
Interview von K. L. Baader; Hannoversche Allgemeine Zeitung, HAZ Nr.109, 12.05.2009

Horster D. - Werteverlust und Werteverfall - was sind die Gründe?
http://www.gottfried-wilhelm-leibniz-gesellschaft.de/Dokumente/Hortser.pdf

Höffe O. (Hrsg.) (1980) - Lexikon der Ethik.
2. Auflage, Beck´sche Schwarze Reihe Bd. 152, Verlag C.H.Beck, München 1980

Hubig J. (2000) - Unterwegs zur Wissensgesellschaft. Grundlagen -Trends - Probleme.
Edition sigma, Berlin 2000

Huch et. al. (Hrsg.) (2001) - Klimazeugnisse der Erdgeschichte.
Springer, Berlin

Huxley J. (1947) - Man in the Modern World.
Chatto & Windus, London 1947

Huxley J. (1956) - World Population.
Scientific American 194, 3, 1956

Illies J. (1983) - Der Jahrhundert-Irrtum. Würdigung und Kritik des Darwinismus.
Umschau Verlag, Frankfurt/M. 1983

Irrgang B. (1992) - Christliche Umweltethik.
München 1992

Isbary G. (1962) - Der Wandel in der Raumordnung.
Der Forst- und Holzwirt 17/4, 1962

Jacob Fr. (1983) - Das Spiel der Möglichkeiten. Von der offenen Geschichte des Lebens.
München 1983

Jaspers K. (1955) - Der philosophische Glaube.
4. Auflage, Verlag Piper & Co., München 1955

Jonas H. (1986) - Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation.
5. Auflage, Insel Verlag, Frankfurt 1986

Junker R., Scherer S. (2001) - Evolution - ein kritisches Lehrbuch.
5. Auflage, Weyel Lehrmittelverlag, Gießen 2001

Kaegelmann H. (1994) - Neuordnung der Wissenschaft - Die Ordnung von Kultur und Wissenschaft in umfassender systematischer Gliederung.
Verlag Kritische Wissenschaft 1994

Keuth H. (1989) - Wissenschaft und Werturteil. Zu Werturteilsdiskussion und Positivismusstreit.
Mohr-Siebeck, Tübingen 1989

Klages H. (1988) - Wertedynamik. Über die Wandelbarkeit des Selbstverständlichen.
Edition Interfrom, Texte + Thesen Bd. 212
Verlag A. Fromm, Osnabrück 1988

Klages H., Gensicke Th. (2006) - Wertesynthese - funktional oder dysfunktional.
Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 58. Jg., 2, 2006

Kloft W. J. (1978) - Ökologie der Tiere.
UTB 792, Ulmer, Stuttgart 1978

Klötzli F. A. (1989) - Ökosysteme.
UTB 1479, G. Fischer, Stuttgart 1989

Köstler A. (1978) - Der Mensch Irrläufer der Evolution. Die Kluft zwischen unserem Denken und Handeln – eine Anatomie menschlicher Vernunft und Unvernunft.
Scherz, Bern-München 1978

Krämer H. (1992) - Integrative Ethik.
Frankfurt/M., 1992

Kraus H. (2004) - Die Atmosphäre der Erde - eine Einführung in die Meteorologie.
Springer Berlin 2004

Kratochwil A., Schwabe A. (2001) - Ökologie der Lebensgemeinschaften.
Stuttgart 2001

Kreibich R. (1986) - Wissenschaftsgesellschaft. Von Galilei zur High-Tech-Revolution.
Suhrkamp, Frankfurt/M. 1986

Krug A. (2010) - Keine "prinzipielle" Differenz. Aber nur Menschen besitzen "Wir-Intentionalität“.
http://www.3sat.de/page/?source=/scobel/147993/index.html

Kuntze H., Roeschmann G., Schwerdtfeger G. (1994) - Bodenkunde.
UTB 1106, 4. Aufl., Ulmer, Stuttgart 1994

Lane. E. (1966) - The decline of politics and ideology in a knowledgeable society.
American Sociological Review 31, 649-662, 1966

Larcher W. (1984) - Ökologie der Pflanzen.
UTB 232, 4. Auflage, Ulmer, Stuttgart 1984

Lauer S. (1995) - Klimatologie.
2. Auflage. Westermann, Braunschweig 1995

Leitenberger B. (o.J.) - Die Entstehung des Lebens auf der Erde Teil 1.
http://www.bernd-leitenberger.de/leben1.shtml

Leser H. (1991) - Landschaftsökologie
UTB 521, 3. Auflage, Ulmer, Stuttgart 1991

Ley R. (1983) - Evolution als Schöpfung.
In: R. J Riedl, F. Kreuzer (Hrsg.), Evolution und Menschenbild.
Hoffman und Campe, Hamburg 1983

Lochbühler W. (1996) - Christliche Umweltethik.
Frankfurt/M. 1996

Lüke U. (2006) - Das Säugetier von Gottes Gnaden.
Herder, Freiburg/Breisgau 2006

Lüth P. (1984) - Der Mensch ist kein Zufall. Umrisse einer modernen Anthropologie.
Fischer Taschenbuch 3067, Frankfurt 1984

Major J. (1969) - Historical development of the ecosystem concept.
In: Van Dyne G.M., The ecosystem concept in natural resource management.
Academic Press, New York-London 1969

Maturana H. R. (1982) - Erkennen. Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit.
Vieweg, Braunschweig-Wiesbaden 1982

Maturana H. R., Varela F. J. (1987) - Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens.
3. Auflage, Scherz Verlag, Bern 1987

Mayr E. (1942) - Systematics and the origin of species.
Columbia University Press, New York 1942

Mayr E. (1982) - The Growth of Biological Thought.
The Belknap Press of Harvard University Press 1982
Deutsche Übersetzung von K. de Sousa Ferreira: Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt: Vielfalt, Evolution und Vererbung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 1984

Mayr E. (2003) - Da ist Evolution
C. Bertelsmann-Verlag München 2003

McDougall J. D. (2000) - Eine kurze Geschichte der Erde. Eine Reise durch 5 Milliarden Jahre.
Econ, München 2000

Meadows D. H. (1972) - The Limit of Growth.
Universe Books, New York 1972
Deutsche Übersetzung von Hans-Dieter Heck: Die Grenzen des Wachstums.
Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. dva informativ 1972

Meadows D. J. (2010) - Die Grenzen des Denkens.
Sustainability Institute, neu bearbeitet von Diana Wright, übersetzt von Karen und Hartmut Bossel unter Mitwirkung von Stephanie Weia-Gerhardt.
Eocom Verlag, München 2010

Miegel M. (2001) - Die deformierte Gesellschaft. Wie die Deutschen ihre Wirklichkeit verdrängen.
Propyläen, Berlin 2001

Miegel M. (2010) - Exit – Wohlstand ohne Wachstum.
Propyläen, Berlin 2010

Mittelstraß J. (1982) - Wissenschaft als Lebensform.
Reden über philosophische Orientierung in Wissenschaft und Universität.
Suhrkamp, Frankfurt/M. 1982

Mohr H. (1995) - Natur und Moral - Ethik in der Biologie.
In: Nagel W., Wuketits F. M. (Hrsg.), Dimensionen der modernen Biologie. Band 4.
Wiss. Buchgesellschaft, Sonderausgabe, Darmstadt 1995

Monod J. (1971) - Zufall und Notwendigkeit.
Philosophische Fragen der modernen Biologie, München 1971
Morin E. (1974) - Das Rätsel des Humanen. Grundfragen einer neuen Anthropologie.
Piper, München-Zürich 1974

Mosis R. (1983) - Der biblische Schöpfungsgedanke und das evolutionäre Weltbild.
In: Riedl R. J., Kreuzer F. (Hrsg.), Evolution und Menschenbild.
Hoffmann & Campe, Hamburg 1983

Müller H. J. (1984) - Ökologie.
UTB 1318, G. Fischer, Stuttgart 1984

Nitzsche R. (2010) - Stapfen im Stein.
http://www.zeit.de/wissen/2010-01/landgang-wirbeltiere

Odum E. P. (1953, 1980) - Fundamentals of ecology. Philadelphia-London-Toronto 1953. Deutsche Übersetzung der 3. Auflage von J. und E. Overbeck: Grundlagen der Ökologie Band 1: Grundlagen, Band 2: Standorte und Anwendung.
Thieme, Stuttgart 1980

Oeser E. (1983) - Evolution und Involution der Wissenschaft.
In: Riedl R. J., Kreuzer F. (Hrsg.), Evolution und Menschenbild, Hoffman & Campe, Hamburg 1983

Oeser E. (1988) - Das Abenteuer der kollektiven Vernunft. Evolution und Involution der Wissenschaft.
P. Parey, Berlin-Hamburg 1988

Oschmann W. (2006) - Evolution des Systems Erde: Geobiologische und paläobiologische Prozesse als Antrieb.
http://servermac.geologie.uni-frankfurt.de/Staff/Homepages/Oschmann/Oschmann/Homepage/P21-Homepage/P21-02.html

Osterloh M., Frey B.S (07.07.2013) – IMPACT FACTOR Heißt ´gut´ publiziert auch ´gute´ Publikation?
http://www.forschung-und-lehre.de/wordpress/?p=13772

Peccei A. (1988) - Ein Essay.
In: E. Laszlo, Die inneren Grenzen der Menschheit. 1. Auflage, Horizonte Verlag, Rosenheim 1988

Pieper A., Thurnherr U. (1998) - Angewandte Ethik. Eine Einführung.
München 1998

Pinnekamp J. (2007) - Weltweite Wasser- und Abwasserprobleme.
Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen 2007.
http://www.hydro-ingenieure.de/img/pdf-jubilaeum/071011-pinnekamp.pdf

Popper K. R. (1991) - Auf der Suche nach einer besseren Welt.
6. Auflage, Piper, München-Zürich 1991

Pott R. (2012) - Die biologische Evolution.
http://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/alumni/unimagazin/2012_zeit/netz05_pott.pdf

Primack R. P. (1995) - Naturschutzbiologie.
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford 1995

Purves W. K. et al. (2006). Biologie. 7. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2006, ISBN 978-3-8274-1630-8, S. 2f. (Englisches Original: Life, the science of biology. Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 2004, ISBN 0-7167-9856-5)

Riedl R. J. (1979) - Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution.
P. Parey, Berlin-Hamburg 1975

Riedl R. J. (1983) - Denkordnung als Abbild der Naturordnung.
In: Riedl R.J., Kreuzer F. (Hrsg.), Evolution und Menschenbild.
Hoffmann & Campe, Hamburg 1983

Riedl R. J., Kreuzer F. (1983) - Vorwort.
In: Riedl R. J., Kreuzer F. (Hrsg.), Evolution und Menschenbild.
Hoffmann & Campe, Hamburg 1983

Roth G. (1986) - Selbstorganisation - Selbsterhaltung - Selbstreferenzialität: Prinzipen der Organisation der Lebewesen und ihre Folgen für die Beziehungen zwischen Organismus und Umwelt.
In: Dress A., Hendrichs H., Küppers G. (Hrsg.), Selbstorganisation. Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft.
Piper, München 1986

Rumm P. (12.11.2008) - Klimawandel und Grundwasser. Vortrag in Rahmen der Ringvorlesung Umwelt TU München 12.11.2008
http://asta.fs.tum.de/asta/referate/umweltreferat/ringvorlesung-umwelt/archiv/ws-2008-09/grundwsser-und-klimawandel_rumm_2008-11-12.pdf
Datenabruf 04.10.2009

Scheffer F., Schachtschabel P. (2002) - Lehrbuch der Bodenkunde.
15. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg 2002

Schelsky H. (1961) - Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation.
Westdeutscher Verlag, Köln 1961

Schmidt-Bleek F. (2007) - Nutzen wir die Erde richtig? Die Leistungen der Natur und die Arbeit des Menschen.
S. Fischer Verlag, Frankfurt 2007

Schorn S. (o.J.) - Massenaussterben / (Mass) Extinction Event.
http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Pal%E4ontologisches%20Portrait/Massenaussterben?redirectfrom=Massenaussterben&memberid=

Schultz J. (1988) - Die Ökozonen der Erde.
Die ökologische Gliederung der Geosphäre.
UTB 1514, Ulmer, Stuttgart 1988

Seiffert H. (1985) - Einführung in die Wissenschaftstheorie.
Bd. 3, Handlungstheorie-Modellogik-Ethik-Systemtheorie.
Beck'sche Schwarze Reihe Bd. 270,
Verlag C. H. Beck , München 1985

Spiegel online (2012) - Entstehung des Lebens: Geburtsstunde im Tümpel.
http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/entstehung-des-lebens-geburtsstunde-im-tuempel-a-815037.html

Spiegel online (08.01.2014) - Qualität der Forschung: „Wir stümpern, wo Qualität entstehen sollte".
Systemkritik: Wissenschaftselite beklagt zu viel Forschungsmüll.

SRU - **Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen** (1994) - Für eine dauerhaft umweltgerechte Entwicklung.
Umweltgutachten 1994, Verlag Kohlhammer, Stuttgart 1994

Stachowiak H. (1969) - Denken und Erkennen im kybernetischen Modell.
Wien/New York 1969

Stachowiak H. (1970) - Grundriss einer Planungstheorie.
Kommunikation IV/1, 1970

Stanley S.M. (2001) - Historische Geologie. Eine Einführung in die Geschichte der Erde und des Lebens.
Spektrum Lehrbuch, 2. Auflage, 2001
Stehr N. (1994) - Arbeit, Eigentum und Wissen. Zur Theorie von Wissensgesellschaften.
Suhrkamp, Frankfurt/M. 1994

Stehr N. (1994) – Arbeit, Eigentum und Wissen.
Zur Theorie von Wissensgesellschaften.
Suhrkamp, Frankfurt 1994

Stehr N. (2000) - Die Zerbrechlichkeit moderner Gesellschaften.
Velbrück, Weilerswist 2000

Steur H. (2015) - Hans' Paleobotany Pages.
http://steurh.home.xs4all.nl/engcook/ecooks.htm

Stockrahm S. (2014) - Der Mond, eine echt schwere Geburt
http://www.zeit.de/wissen/2014-06/mond-entstehung-theia-kollisionstheorie

Strobach K. (1991) - Unser Planet Erde: Ursprung und Dynamik.
Borntraeger Verlag Berlin-Stuttgart 1991

Suess E.
Das Antlitz der Erde
3.Bände 1883 - 1909

Sukachev V. N. (1944) - On principles of genetic classifikation in biocoenology.
Übersetzung aus dem Russischen Raney F., Daubenmire R.
Ecology 39, 1944

Sukachev V. N. (1959) - The correlation between the concept ‘forest ecosystem‘ und ‘forest biogeocoenose‘ and their importance for the classification of forests. (abstract)
Proc. IX. Intern. Bot. Congr. Vol. II, 1959

Tansley A. G. (1935) - The use and abuse of vegetational concept and terms.
Ecology 16, 1935

Teilhard de Chardin P. (1959) - Der Mensch im Kosmos.
Beck, München 1959

Teilhard de Chardin P. (1964) - Auswahl aus dem Werk.
Walter Verlag, Olten und Freiburg/Breisgau 1964

Teilhard de Chardin P. (1967) - Die lebendige Macht der Evolution.
Walter Verlag, Olten und Freiburg 1967

Thienemann A. F. (1926) - Limnologie.
Breslau 1926

Thienemann A. F. (1939) - Grundzüge einer allgemeinen Ökologie.
Stuttgart 1939

Thienemann A. F. (1956) - Leben und Umwelt. Vom Gesamthaushalt der Natur.
rde Band 22, Rowohlt, Hamburg 1956

Tischler W. (1975) - Ökologie . Wörterbücher der Biologie.
UTB 430, Fischer, Stuttgart 1975

Toulmin St. (1982) - Evolution und menschliches Erkennen.
In: Good P., Von der Verantwortung des Wissens, edition suhrkamp 1122, NF 122, Frankfurt 1982

Tugendhat E. (1997) - Dialog in Letitia.
Frankfurt/M. 1997

UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (30.03.2009) - Neue Theorie über größtes Massensterben der Erdgeschichte.
http://www.ufz.de/index.php?de=17896

Uni-Protokolle (18.04.1998) - Moralische Werte in der Gesellschaft. Friedrich-Schiller-Universität Jena 18.04.1998
http://www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/39285

Varela F. (1979) - Principles of Biological Autonomy.
Elsevier-North Holland, New York 1979

Varela F., Maturana H. R., Uribe R. (1974) - Autopoiesis, the organization of living systems: its characterization and a model.
Biosystem 5, 1974

Wahlert G. v. (1990) - Zur Evolutionsökologie der Biosphäre.
In: Jüdes U., Eulefeld G., Kapune Th. (Hrsg.) Evolution der Biosphäre. Edition Universitas, Verl. Ges. Hirzel, Stuttgart 1990

Walter H., Breckle .W. (1983, 1984, 1986) - Ökologie der Erde. Band 1 Ökologische Grundlagen in globaler Sicht; Band 2 Spezielle Ökologie der tropischen und subtropischen Zonen; Band 3 Spezielle Ökologie der Gemäßigten und Arktischen Zonen Euro-Nordasiens UTB Große Reihe , Fischer, Stuttgart 1983 / 1984 / 1986

Walter R. (2003) - Erdgeschichte: Entstehung der Kontinente und Ozeane.
5. Auflage, Walter de Gruyter-Verlag 2003

Weinberg K. (2012) - Der Urknall - Die Entstehung des Universums.
http://centauri-astronomie.de/universum.php

Weish P. (2007) - Für eine Wertorientierung der Wissenschaft.
Referat im Rahmen der interdisziplinären Ringvorlesung Ethik und Technik,
TU Wien 2007.
http://homepage.univie.ac.at/peter.weish/schriften/Wertorientierung%20der%20Wissenschaft.pdf

Welt.de (14.12.2012) – Mikroben
http://www.welt.de/wissenschaft Mikrobe-loeste-groesstes-Massensterben-der-Erde-aus.html

Whittaker R.H. (1972) - Evolution and measurement of species diversity.
Taxon 21, S.213-251, 1972

Wiener N. (1948) - Cybernetics or Control ans Communication in the Animal and the Machine.
MIT Press London 1948

Wiener N. (1971) - Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine.
rde Band 294, 4. Auflage, Rowohlt, Reinbeck-Hamburg 1971

Wikipedia (22.08.2015) - Fossil.
http://de.wikipedia.org/wiki/Fossil

Wikipedia (22.08.2015) - Landgang.
http://de.wikipedia.org/wiki/Landgang

Wikipedia (22.08.2015) - Urknall.
http://de.wikipedia.org/wiki/Urknall

Wikipedia (15.09. 2015) - Ersatmosphäre
https://de.wikipedia.org/wiki/Erdatmosph%C3%A4re

Wikipedia (11.06.2014) - Entwicklung der Erdatmosphäre.
http://de.wikipedia.org/wiki/Entwicklung_der_Erdatmosph%C3%A4re 11. Juni 2014

Wikipedia (12.09.2014) - Adaptive Radiation.
http://de.wikipedia.org/wiki/Adaptive_Radiation

Wikipedia (11.10.2014) - Geologie.
http://de.wikipedia.org/wiki/Geologie

Wikipedia (26.11.2014) - Klima.
http://de.wikipedia.org/wiki/Klima

Wikipedia (01.12.2014) - Sauerstoff.
http://de.wikipedia.org/wiki/Sauerstoff

Wikipedia (02.12.2014) - Biosphäre.
http://de.wikipedia.org/wiki/Biosphaere

Wikipedia (16.10.2015) –Mensch
https://de.wikipedia.org/wiki/Mensch

Wildfeuer A. G. (1998) - Art, Person, philosophisch (Manuskriptfassung).
In: Korff W., Beck L. Mikat. P., Lexikon der Bioethik, Gütersloher Verlagshaus, Gütersloh 1998
http://perennis.de/public/publikationen/Dokumente/Ib/pers.PDF

Wilson E.O (1988) – Biodiversity.
National Academy Press, Washington DC 1988

Wuketits M. F. (1995) - Evolutionstheorien. Historische Voraussetzungen, Positionen, Kritik.
In: Nagel W., Muketits M. F. (Hrsg.), Dimension der Modernen Biologie,
Band 7. Wiss. Buchgesellschaft, Sonderausgabe Darmstadt 1995

Wuketits M.F. (1995) - Evolution als Systemprozess.
in: Nagel W., Wuketits M. F. (Hrsg.) - Dimensionen der modernen Biologie, Band 7,
Wiss. Buchgesellschaft, Sonderausgabe Darmstadt 1995

Wuketits M. F. (2001) - Naturkatastrophe Mensch. Evolution ohne Fortschritt.
dtv, München

Zalasiewicz J. et al. (2008) - Are we now living in the Anthropocene.
Geolog. Society of America 18, S. 4-8, 2008

Zecchini A. (o.J.) - Das 6. Massensterben der Erdgeschichte.
http://www.naturefund.de/erde/atlas_des_klimas/ursachen/das_sechste_massensterben_der_erdgeschichte.html