

# **Funktionale Bedeutung des Wassers in der Landschaft**

Naturwissenschaftliche Sichtweisen und wasserwirtschaftliche Praxis  
im Wandel der Zeit

Studienarbeit

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie  
und landschaftlichen Wasserbau  
Universität Hannover

Institut für Ökologie  
Fachgebiet Limnologie  
Technische Universität Berlin

Anke Bischoff  
7. Januar 2003



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Einleitung.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Wasserwirtschaftliche Praxis im Verlauf abendländischer Kultur .....</b>	<b>7</b>
1.1 Ursprünge wasserwirtschaftlicher Praxis .....	7
1.2 Wasserwirtschaftliche Praxis in der europäischen Antike.....	8
1.3 Wasserwirtschaftliche Praxis während der Inkulturnahme der Landschaft Brandenburgs .....	10
1.3.1 Anfänge der Urbarmachung und Besiedelung der Mark Brandenburg.....	10
1.3.2 Entwicklungen in der Phase deutscher Kolonialisierung .....	10
1.3.3 Großmelioration des Havelländischen Luchs .....	11
1.3.4 Großmelioration im Oderbruch – Der Gewinn einer neuen Provinz im eigenen Land .....	13
1.3.5 Entwicklungen infolge naturwissenschaftlich technischer Fortschritte .....	15
1.3.6 Wasserwirtschaft und Landwirtschaft – der Beginn einer Symbiose .....	15
1.3.7 Nebenwirkungen naturwissenschaftlich technischen Fortschritts.....	16
1.3.8 Entwicklungen infolge hydrologischer Erkenntnisse .....	17
1.3.9 Die Lösung des Jahrhunderte währenden „Elbe – Havelwinkel – Problems“ .....	18
1.4 Komplexmeliorationen.....	19
1.5 Fazit .....	20
<b>2 Selbstreflexion wasserwirtschaftlicher Praxis.....</b>	<b>22</b>
2.1 Situation des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg .....	22
2.2 Wasserwirtschaftliche Grundlagen .....	26
2.3 Ziele und Vorstellungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft.....	27
2.4 Situation in Deutschland - Probleme, Herausforderungen, Strategien .....	28
2.5 Schwierigkeiten bei der Umsetzung einer „nachhaltigen Wasserwirtschaft“ .....	31
2.6 Konfliktfelder.....	31
2.7 Fazit .....	32
<b>3 Naturverständnis in den abendländischen Naturwissenschaften .....</b>	<b>34</b>
3.1 Naturerfahrung und Naturnutzung .....	34
3.2 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung - Anfänge naturwissenschaftlichen Denkens .....	35
3.3 Mechanisierung des Weltbildes.....	36
3.3.1 Kopernikanische Wende.....	36
3.3.2 Die Welt als Uhrwerk .....	37
3.3.3 Durchbruch naturwissenschaftlich technischen Denkens .....	37
3.3.4 Beständigkeit des mechanistischen Naturverständnisses .....	39
3.4 Grundlegende Veränderungen wissenschaftlichen Naturverständnisses ..	40
3.5 Fazit .....	41
<b>4 Die funktionale Bedeutung des Wassers in der Landschaft – Grundlagen eines ökosystemaren Naturverständnisses .....</b>	<b>43</b>
4.1 Naturwissenschaftliche Grundlagen.....	43
4.2 Die Bedeutung des Wassers als energiedissipatives Element .....	44
4.3 Zönosenkernstruktur – eine „autonome Funktionseinheit“ .....	46

4.4	Standortschaffung – Sukzessionsprozesse .....	48
4.4.1	Selbstoptimierungsprozesse während der „Etablierungsphase“ .....	49
4.4.2	Selbstoptimierungsprozesse während der „Optimierungsphase“ .....	49
4.4.2.1	Wechselbeziehungen zwischen ZKS und geologischem Untergrund ...	49
4.4.2.2	Wechselbeziehungen zwischen ZKS und Atmosphäre .....	50
4.4.2.3	Wechselbeziehungen zwischen Land und Fließgewässer .....	51
4.4.3	Zusammenspiel der Selbstoptimierungsprozesse .....	52
4.5	Stabilität und Fließgleichgewichte .....	52
4.6	Naturfunktionen – die essentielle Basis .....	53
4.7	Eingriffe – Pufferfähigkeit der Landschaft – Destabilisierungsprozesse .....	53
4.7.1	Destabilisierende Prozesse zwischen ZKS und geologischem Untergrund .....	55
4.7.2	Destabilisierende Prozesse zwischen ZKS und Atmosphäre .....	55
4.8	Nachhaltigkeit (Definition – Maßstäbe) .....	57
4.9	Fazit .....	59
<b>5</b>	<b>Synthese – Bewertung wasserwirtschaftlicher Ziele, Maßstäbe und Betrachtungsweisen aus ökosystemarer Sicht .....</b>	<b>61</b>
5.1.	Bewertung wasserwirtschaftlicher Grundannahmen.....	61
5.2.	Vergleich zwischen ökosystemaren und wasserwirtschaftlichen Herangehensweisen.....	62
5.3.	Konsequenzen aus der ökosystemaren Herangehensweise .....	63
5.4.	Situation des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg .....	64
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>67</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>73</b>

## Einleitung

Der Einfluss der Wissenschaft auf den gesellschaftlichen Umgang mit Wasser in westlichen Zivilisationen geht weit darüber hinaus, Erkenntnisse zur Diskussion zu stellen oder Grundlagen für Wassertechnik und Wasseranalyse zu erarbeiten. Wissenschaft schafft allgemein akzeptierte Entscheidungsgrundlagen und Beurteilungskriterien. Ungebrochen ist die Glaubwürdigkeit von Wissenschaft in der Gesellschaft (WBGU 1997, 285). Durch ihr wissenschaftliches Fundament gelten so auch oftmals herrschende Fortschrittsideale unseres „technokratischen“ Zeitalters als objektiv begründbar. Dem Wunsch, diese im Einklang mit der Natur zu vollziehen, wird nur allzu leicht eine subjektive und emotionalere Seite zugeschrieben (GLOY 1995a, 219).

Man braucht nicht lange zu suchen, um auf wesentliche Gründe für das hohe Maß an Glaubwürdigkeit der Wissenschaften zu stoßen. Innerhalb weniger Jahrzehnte haben sich die Industriegesellschaften einen Wohlstand geschaffen, der als Meilenstein gesellschaftlichen Fortschritts empfunden wird, auch wenn Nebenwirkungen zunehmen und zeiträumlich näher rücken.

Zu einem wesentlichen Standbein unseres Wohlstands zählt die wasserwirtschaftliche Praxis mit ihrer weitestgehend technisch geregelten „Umverteilung des natürlichen Wasserdargebots in Zeit und Raum gemäß den Bedürfnissen der Gesellschaft nach Wassermenge und Wassergüte“ (SCHULTZ 1993, 363). Im Zusammenhang wasserwirtschaftlicher Planungen geht es stets um die Reduktion natürlicher Prozesse auf ein handhabbares Maß. Das Vertrauen, ein geeignetes Maß gefunden zu haben, ist in der Wasserwirtschaft durchaus vorhanden. So gilt z.B. die quantitative Erfassung der Wasserressourcen als „ausreichende“ Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen (UBA 2001, 5).

Gleichzeitig scheinen sich auch hier zunehmend direkte und indirekt Nebenwirkungen bewährter Ansätze bemerkbar zu machen. Wie man diesen Nebenwirkungen theoretisch begegnen könnte, ist in wasserwirtschaftlichen Fachzeitschriften nicht nur unter dem Titel „Wasserwirtschaft im Wandel“ (HOFFMANN 2001) zu lesen. Ein wesentlicher Schritt scheint bereits getan, da „an die Stelle der überwiegend ressourcenbezogenen Auffassung von Wasserwirtschaft ein Verständnis [getreten ist], das die Funktionen des Wassers im Landschaftshaushalt und der Gewässer als Lebensräume und als Basis für wasserwirtschaftliche Zielsetzungen betrachtet, da Luft Boden und Wasser das Umweltkontinuum ausmachen.“ Diesen Bestandteilen weist man komplexe Wechselwirkungen zu“ (MANIAK 2001, 1).

Diskussionen um die Erfordernisse der Nachhaltigkeit werden in der Wasserwirtschaft seit geraumer Zeit geführt. Angesichts unvorhergesehener Geschehnisse wie der Flut an Oder und Elbe oder langfristiger Erfordernisse wie der Wasserrahmenrichtlinie sind Diskussions- und Handlungsbedarf zusätzlich gestiegen. Trotz Leitlinien, Prinzipien und Handlungsoptionen im Rahmen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft bestehen in vielerlei Hinsicht Unklarheit und unterschiedliche Vorstellungen wie man den heutigen Problemen und Herausforderungen richtungssicher begegnen soll. Ein Anknüpfen an bestehende Herangehensweisen reicht offensichtlich nicht aus.

In sämtlichen gesellschaftlichen Bereichen haben ethische, humanistische und ökologische Ansätze mittlerweile Rückenwind bekommen. Nicht zuletzt in der Politik gilt es mittlerweile als Selbstverständnis „grün“ zu sein (VORHOLZ 2002, 11). Dies ändert allerdings nichts daran, dass die diesbezüglichen Vorstellungen weit auseinander gehen. In Anbetracht der Kluft zwischen dem Anspruch an einen wissenschaftlich - technischen Fortschritt, und dem des „Einklinkens“ in die Natur, stellt sich die Frage nach dem Anspruch zum Dialog mit der Natur. Über kurz oder lang wird sich die Wissenschaft über ihre Fähigkeit zum Dialog mit der Natur messen lassen müssen, will sie ihre Glaubwürdigkeit bezüglich zukunftssicherer Handlungsstrategien bewahren.

Wesentlicher Kern der Studienarbeit soll sein, die funktionale und bislang scheinbar verkannte Bedeutung des Wassers in der Landschaft in seiner essentiellen Bedeutung für den Menschen zum Ausdruck zu bringen. Als Grundlage dient das Energie-Transport-Reaktions-Modell (ETR – Modell) nach Prof. W. Ripl (z.B. RPL 1991, RPL & HILDMANN 1997). Grundannahmen, die den Weg zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft verbauen, werden herausgearbeitet. Der Weg zu einem „neuen Dialog mit der Natur“ soll in diesem Zusammenhang ein wenig freigeräumt werden.

„Die Entwicklung wasserwirtschaftlicher Strategien im Kontext der ökologischen Funktion des Wassers in der Landschaft soll exemplarisch dargestellt werden.“ (Aufgabenstellung)

Der Schwerpunkt des ersten Teils dient als Spiegel der Gradlinigkeit herkömmlicher Herangehensweisen im Rahmen wasserwirtschaftlicher Praxis. Wesentlicher Schauplatz ist Brandenburg während seiner Inkulturnahme. Im anschließenden zweiten Teil geht es um das Bild, dass die Wasserwirtschaft von sich selbst hat. Eine Schilderung der „Situation“ des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg, der aktuellen Nachhaltigkeitsdiskussion sowie der Schwierigkeiten und Konfliktfelder, mit denen sich die Wasserwirtschaft heute konfrontiert sieht, steht hier im Vordergrund. Das mechanistische Naturverständnis, das den naturwissenschaftlich technischen Fortschritt ermöglicht, ein „Einklinken“ in die Natur gleichzeitig unmöglich gemacht hat, ist im dritten Teil Thema. Entwicklung, Beständigkeit und Überwindbarkeit werden hier aus naturwissenschaftlicher Sicht in Ansätzen beschrieben. Im vierten Teil wird das wissenschaftliche Fundament nachhaltiger und richtungssicherer Strategien nach dem ETR – Modell herausgearbeitet und klar eingegrenzt. Der fünfte Teil dient einer Bewertung wasserwirtschaftlicher Prinzipien und Herangehensweisen aus ökosystemarer Sicht. Inwieweit es Richtungssicherheit planerischer Ansätze geben kann, wird abschließend so weit möglich beantwortet. Art und Bedeutung eines neuen Dialogs mit der Natur werden in diesem Zusammenhang zusammengefasst.

# **1 Wasserwirtschaftliche Praxis im Verlauf abendländischer Kultur**

## **- Von den Ursprüngen im Orient bis zu den Komplexmeliorationen in Brandenburg**

Wasserwirtschaftliche Praxis definiert sich über Eingriffe, die dem „bestmöglichen“ Ausgleich zwischen dem Wasserdargebot der Natur und den Bedürfnissen des Menschen an Menge und Qualität dienen (Kap 2.2). Wasserwirtschaftliche Eingriffe bzw. Herangehensweisen, die im Rahmen der Inkulturnahme und Bewirtschaftung von Land bereits vor Jahrtausenden Einsatz fanden und sich im Laufe der Geschichte weiterentwickelt und durchgesetzt haben, sind im folgenden Thema. Ihre Bedeutung zur Nutzbarmachung und zur Erhaltung von Bodenfruchtbarkeit soll dabei stets berücksichtigt werden. Neben ein paar kurzen „Ausflügen“ in historische Wasserbaukünste Vorderasiens und dem Mittelmeerraum, dient die Entwicklung wasserwirtschaftlicher Praxis in Brandenburg als Beispiel zur Verdeutlichung des Themas.

### **1.1 Ursprünge wasserwirtschaftlicher Praxis**

Wasserwirtschaftliche Praxis findet erstmals im Zusammenhang des Übergangs von Jäger- und Sammlergesellschaften zu den Ackerbau- und Viehzuchtkulturen Erwähnung. Auf dem Weg zu einer „planmäßigen“ Nahrungsmittelerzeugung machte man sich Techniken zunutze, die heute als „erste im Sinne einer Melioration [Maßnahmen, die der Erschließung geeigneter Bodenflächen, der grundlegenden und dauerhaften Verbesserung des potentiellen Leistungsvermögens und damit der Mehrung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Förderung der technologischen Eignung für die Bewirtschaftung landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch nutzbarer Standorte dienen (DÖRTER 1986, 16), melior = besser] zu deutende Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt“ bezeichnet werden. Dabei handelte es sich zunächst oftmals um einfache Formen der Bewässerung, die sich durch die Nähe von Siedlungen zu Wasservorkommen gewährleisten ließen. Säcke aus Tierhäuten dienten z.B. dem Transport, Gefäße aus Stein und Holz zum Schöpfen und Gießen von Wassers. Ergänzt und abgelöst wurden solche Methoden des Wassertransports durch immer neue Techniken und Gerätschaften sowie eine zunehmende Ausnutzung von Geländebeschaffenheiten oder klimatischen Bedingungen etc.. Einfache Be- und Entwässerungsgräben kamen bei Vergrößerungen von Anbauflächen zum Einsatz. Solche Anfänge landschaftlichen Wasserbaus lassen sich in Bergländern Vorderasiens auf das 8.-6. Jt. vor Chr. zurückverfolgen (DÖRTER 1986, 18).

Im Laufe der Zeit entwickelten verschiedene Kulturen an verschiedenen Orten sehr unterschiedliche Techniken, um Wasser für die Bewirtschaftung ihrer Felder zu nutzen. Der steten Herausforderung einen Ausgleich zwischen natürlichem Wasserdargebot und den Bedürfnissen der Menschen zu schaffen, wurde dabei auf sehr unterschiedliche Weise nachgekommen. Unterteilen lassen sie sich jedoch in zwei wesentliche Strömungen, die in einer Anerkennung, bzw. Überwindung natürlicher Begrenzungen zum Ausdruck kommen. Die Strategien zweier verschiedener Kulturen im Umgang mit periodischen Hochwassern sollen dies verdeutlichen.

In Ägypten begann man sich vor einigen tausend Jahren die regelmäßigen Überflutungen des Nils zu Nutze zu machen. Während der Überschwemmungszeit ließen die Bauern die Feldarbeit ruhen. Ihre Aufgabe war es dann stattdessen z.B. den Transport von Steinen für den Bau von Pyramiden zu unterstützen (MÜLLER & AMMON 1972, 44). Gingen die Wassermassen zurück, blieben jedes Mal Nilschlämme, reich an Nähr- und Mineralstoffen, auf den Feldern zurück. Die „üppige Fruchtbarkeit“ ihrer Felder, die „ihnen alles gaben, was sie zum Leben brauchten, in drei und mehr Ernten im Jahr“, war den Ägyptern gewiß (ebd. 34). Als Chance erkannten sie die begrenzenden Hochwasser allerdings erst, nachdem sie die Seitentäler des Nils sowie die angrenzenden grasreichen Höhen durch Übernutzung zerstört hatten und daher gezwungen waren, sich auf das Niltal zu beschränken (HEILAND 1992, 76).

Ähnlich wie die Ägypter sahen sich die Sumerer im südlichen Mesopotamien, im Zweistromland, mit periodischen Überflutungen während der Hochwasserführungen von Eufrat und Tigris konfrontiert. Zeitweilige Versumpfungen standen auch hier sommerlichen Niedrigwasserführungen gegenüber. Um die Versorgung der Stadtbevölkerung mit Nahrungsmitteln gewährleisten zu können, entschied man sich in den Niederungen für kombinierte be- und entwässernde bautechnische Maßnahmen, um auf „kultivierten“ Flächen Landwirtschaft betreiben zu können. Es wurden lange begradigte Kanäle mit einem aufgedämmten Transportquerschnitt angelegt, die einem entsprechenden Gefälle folgten und die notwendige Regulierung für die Wasserverteilung und –dosierung gewährleisteten. Gefährdete Siedlungsgebiete wurden eingedeicht. Außerdem wurden künstliche Rückhaltebecken für die periodischen Hochwässer angelegt, um diese für die sommerliche Bewässerung verfügbar zu machen (DÖRTER 1986, 19). Kriegerische Auseinandersetzungen und eine mangelnde Pflege der Bewässerungssysteme brachten Bodenversalzen mit sich, was dazu führte, dass man im Laufe der Zeit das Hinterland durch Entwaldungen zur räumlichen Ausbreitung des Ackerbaus miteinbezog (HEILAND 1992, 75).

Nicht nur im Zweistromland ging die Erschließung und Bewirtschaftung fruchtbarer Böden mit Problemen einher, die sich in Versalzen, einer starken Abnahme der Bodenfruchtbarkeit bis hin zu völliger Desertifikation von Böden äußerten. Neben flächenhaften Rodungen legt man diesen Problemen zunehmend intensiviertere Bewässerungsformen sowie schwerwiegende Fehler in der Bewässerungsdosierung langfristig bewirtschafteten Bewässerungslandes zu Grunde. Erreichten die Probleme ein Ausmaß, dass Siedlungsgebiete aufgegeben werden mussten, konnten sie den Untergang ganzer Kulturen, wie dem der Sumerer einleiten (HEILAND 1992, 75). Aufgrund der geringeren Bevölkerungsdichte war es oftmals durchaus möglich, einen degradierten Ort zu verlassen, um neues Land zu suchen, das man dann wiederum neu bewässerungstechnisch erschließen konnte (DÖRTER 1986, 20).

## **1.2 Wasserwirtschaftliche Praxis in der europäischen Antike**

Die Anfänge griechischer (seit dem 1. Jt. v. Chr.) und römischer (seit dem 3. Jh. v. Chr.) Bewässerungskulturen konnten sich bereits auf ein reiches Erbe an wasserbaulichen Kenntnissen, z.B. aus Mesopotamien und Ägypten, stützen. Genutzt wurden vor allem

Kenntnisse über Dimensionierungen von Zuleitern und Verteilern, über Schöpfwerke und Techniken zur Grundwassergewinnung sowie zur Dosierung von Bewässerungsgräben (DÖRTER 1986, 23). Eingesetzt wurden sie zur großflächigen Bewirtschaftung von Flächen im eigenen Land und von großen Gebieten in den beherrschten Kolonien. Der Einfluss Roms erstreckte sich in diesem Sinne von den nördlicheren Regionen Europas und des Mittelmeerraums bis in die Hochsteppen Nordafrikas. Auf diese Weise setzten sich auch in diesen vorher als Weideland genutzten Gegenden, die ackerbaulichen Nutzungsformen der Römer allmählich durch. Um Bedürfnisse an Nahrungsmitteln oder Holz wie z.B. an Brennholz für die römischen Thermalanlagen, zu decken, spielte der Import von Gütern aus den Kolonien eine wesentliche Rolle. So stammt z.B. die Bezeichnung „Kornkammer Roms“ nordafrikanischer Kolonien aus dieser Phase. (HEILAND 1992, 76)

Den Leistungen wasserwirtschaftlicher Praxis aus der Zeit des Imperium Romanum wird bis heute große Bewunderung entgegengebracht. Der Blick richtet sich dabei vornehmlich auf die Stadt Rom selbst, auf ihre Errungenschaften im Bereich städtischer Wasserversorgungsanlagen, Kanalisationen, Straßenbauten, Wasserspiele, Thermen etc. (DÖRTER 1986, 23), zu denen auch das Cloaca Maximum gehört. Um Fäkalien und Abfallstoffe schnellst möglich abzuleiten, ging man dazu über, sämtliche Bachläufe zu kanalisieren. Was in Griechenland mit der Ausbildung unterirdischer Wassertunnel, Druckrohrleitungen, Aquädukten etc. zur Leitung, Speicherung und Verteilung von Wasser begonnen hatte, war bei den Römern in vielerlei Hinsicht übernommen und fortgeführt worden. Die Befriedigung der wachsenden Bedürfnisse der Stadtbevölkerung und der Aristokratie im Besonderen stand dabei stets im Vordergrund. Zwar ertönten auch Stimmen gegen eine „unnötige“ Wasserverschwendung im Badewesen und einen unverantwortlichen Wasserluxus (ALPERS 1988, 87), Ehrfurcht und Stellenwert, den man der Wasserversorgung und ihren Anlagen beimaß, überwogen jedoch bei weitem. So äußert sich der römische Schriftsteller Plinius der Ältere (23-79 n.Chr.): „Wenn man die große Menge Wasser an öffentlichen Orten, Bädern, Fischteichen, Häusern, Kanälen, Gärten, den Gütern der Stadt, Landhäusern, dann die zu dessen Herleitung gebauten Böge, durchgegrabene Berge und geebnete Täler mit Aufmerksamkeit betrachtet, so muss man gestehen, dass die ganze Welt kein größeres Wunderwerk aufzuweisen hat“ (v. ZABERN 1987, 10).

Auf das 5. Jh. n. Chr. beziffert man den Untergang des römischen Weltreiches. Es hinterließ Bauwerke städtischer Wasserbaukunst, denen noch heute große Bewunderung entgegengebracht wird. Es hinterließ ebenfalls „massive Landschaftsbeeinträchtigungen und -zerstörungen“ im eigenen Land sowie eine „Wüste“ im Norden Afrikas, eine ausgelaugte „Kornkammer Roms“. Dass es um die Werke ländlichen Wasserbaus eher still ist, mag darin begründet sein. Die Verkarstungen des Mittelmeerraumes werden zu einem erheblichen Maß auf das Wirken der griechischen und römischen Dynastien zurückgeführt (HEILAND 1992, 78).

## **1.3 Wasserwirtschaftliche Praxis während der Inkulturnahme der Landschaft Brandenburgs**

### **1.3.1 Anfänge der Urbarmachung und Besiedelung der Mark Brandenburg**

Das Ende der letzten Eiszeit vor rund 15000 Jahren leitete für weite Gebiete Nordeuropas eine Phase landschaftsbildender Prozesse ein, während derer sich Böden und Vegetation auf den verschiedenen Standorten weitgehend ungestört entwickelten und auf der Fläche des heutigen Brandenburgs ein „wasserreiches Waldland“ entstehen ließen (KALWEIT 1998, 13). Als sich dort vor rund 6000 Jahren erste Ackerbauern ansiedelten, setzten erste Rodungen und damit ein Lichten vorher geschlossener Waldbedeckungen ein. Anthropogen beeinflusste Bodenerosionsprozesse begannen erstmals eine Rolle zu spielen und führten bereits damals dazu, dass mancherorts Bodenbestandteile geneigter Ackerstandorte in Talauen sedimentierten oder Standorte mit ursprünglich kalkarmen Sedimenten vollständig entkalkten (KLEMM 1998, 239). Auf einen für den Menschen kaum bzw. nur schwer nutzbaren „Naturzustand“ großer Landesteile im Verlauf verschiedener klimatischer Phasen wird die mehr oder weniger dünne Besiedelung der Mark Brandenburg, die bis weit hinein in das letzte Jahrtausend dominierte, unter anderem zurückgeführt (KALWEIT 1998, 9).

Da es von der Kolonisation und Rodungstätigkeit unter römischer Herrschaft unbeeinflusst blieb und die Bevölkerung nach dem Ende der römischen Kaiserzeit besonders stark zurückging, begann bislang letztmalig eine Phase starker Wiederbewaldung (KLEMM 1998, 239).

### **1.3.2 Entwicklungen in der Phase deutscher Kolonialisierung**

Mit der deutschen Vorherrschaft von Albrecht dem Bären 1157 setzte wieder eine Phase intensiverer Siedlungsentwicklung mit einhergehender Landschaftskultivierung ein. Einwanderer aus Niedersachsen, Flamen und Holland kamen ins Land, die sich Wohn- und Ackerflächen z.B. durch Rodungen auf Waldflächen erst erschließen mussten (ELLMANN 1995, 6). Vorangetrieben wurde diese Phase z.B. durch die Mönche des Zisterzienserordens, die sich mit ihrem Erfahrungsschatz an neuen Rodungsformen sowie an Fischteichanlagen, Wiesenbewässerung und Mühlenbau, maßgeblich einbrachten (KALWEIT 1998, 23). Eingeführt und angebaut wurden unter anderem nicht heimische Steppenpflanzen wie Getreide, die sich im vorherrschenden feuchten Klima nicht flächenhaft ausbreiten konnten (RIPL WOLTER 2002b, 8). Als zunehmend bessere Ackergeräte eine wichtige Voraussetzung schufen, um auch die schweren Lehmböden der Niederungen zu bewirtschaften, wurde neben den Rodungen der Bau von Deich- und Entwässerungsanlagen zu einer wachsenden Aufgabe (ELLMANN 1995, 6). Neben den Zisterziensern brachten sich hier vor allem auch holländische Siedler ein. Erfahren im Bau von Deichen und Einzelpoldern zur Landgewinnung vom Meer, wurde ihr Wissen hochgeschätzt, wenn es darum ging, in sumpfige Gebiete wie die des Havellandes vorzudringen. Beispielsweise gab es bereits damals ein großes Interesse die regelmäßig überschwemmten Gebiete im Bereich des Elbe-Havelwinkels zum Siedeln und Wirtschaften zu nutzen, Gebiete, durch die auch die eiszeitlichen Elbarme verlaufen waren (ebd.). Zum Rückhalt des Elbwassers errichtete man

schon im 12 Jh. verschiedene Deichsysteme, zu dem auch der Jerichower Elbdeich im Elbe-Havelwinkel gehört (KALWEIT 1998, 112). Die Trennung der Wassereinzugsgebiete von Elbe und Havel durch permanent vorangetriebene Elbdeichbauten, sollte zu einer Aufgabe der nächsten Jahrhunderte werden, während derer besiedeltes Land allerdings immer wieder von verheerenden Hochwassern überschwemmt und verwüstet wurde (ELLMANN 1995, 6).

Die wasserbaulichen Techniken und der Einsatz zunehmend wirksamerer Ackergeräte begünstigten vielerorts zwar schon ein Vordringen in sumpfiges Terrain, für die Gewinnung von Ackerland spielten die Möglichkeiten großflächiger Rodungen in dieser Phase jedoch noch die maßgebliche Rolle. Die Rodungen wurden dabei in einem erheblichen Ausmaß betrieben und die Ackerflächen Brandenburgs dehnten sich bis zum Beginn des 14. Jhs. auf ein bis heute nicht wieder erreichtes Maß aus (KLEMM 1998, 239). Neben stärkeren Hochwassern folgten Bodenerosionsprozesse, „die in Art und Intensität im gesamten Holozän [Zeitraum seit der letzten Eiszeit] einmalig“ sind und auf nur wenige Starkregenereignisse zurückgeführt werden. Ein Großteil der Bodenverlagerungen reicherte sich in Talauen oder Gewässern an (ebd. 240). Eine starke Zunahme von Versumpfungen und Vermoorungen in den Talauen wird auf die Bodenverlagerungen dieser Phase zurückgeführt (ebd. 1). Viele Bauern sahen sich nach den starken Erosionsprozessen gezwungen, die Nutzung ihres Ackerlandes aufzugeben. Immer mehr Menschen hatten unter Missernten und Hunger zu leiden. Ein starker Bevölkerungsrückgang war nicht mehr aufzuhalten, als die Pestzüge in der Mitte des 14. Jhs. die Mark Brandenburg erreichten und vielerorts auf unterernährte Menschen trafen (ebd. 241).

Da jegliche Bemühungen Ackerbau wieder aufzunehmen gänzlich scheiterten, fand mit der Zeit eine Verlagerung innerhalb der Flächennutzungen von Acker- zu Weidewirtschaft statt. Wo man aufgegebenes Ackerland „verbuschen“ ließ, etablierte sich allmählich wieder ein höherer Waldanteil (ebd. 241). Als die Besiedelung des Landes im 16. Jh. wieder dichter wurde, traten erneut Bemühungen der Bevölkerung in den Vordergrund, die nassen und zeitweise überschwemmten Flächen zu kultivieren (KALWEIT 1998, 24).

### **1.3.3 Großmelioration des Havelländischen Luchs**

Zu einer Kontrolle der Hochwasser im Elbe-Havelwinkel hatten die Bauten verschiedener Deichsysteme bis zum 18. Jh. immer noch nicht geführt. Dafür hatten sie aber andere Prozesse ausgelöst. Zum einen hatte das Eindringen von Elbwasser in die Elbauen im Laufe der Jahrhunderte in einem Maße abgenommen, dass Flutrinnen der Elbe verlandet waren (ELLMANN 1995, 6). Zum anderen hatten sie den Hochwasserabfluss der westbrandenburgischen Gewässer in die Elbe so stark eingeschränkt, dass sich langandauernde und immerwiederkehrende Rückstauungen des Wassers in den Niederungen eingestellt und zu „Vermoorungen“ nordöstlich der Elbdeiche gelegener und damals mit Eichenwald bewachsener Niederungsgebiete geführt hatten (IHU 1997, 24).

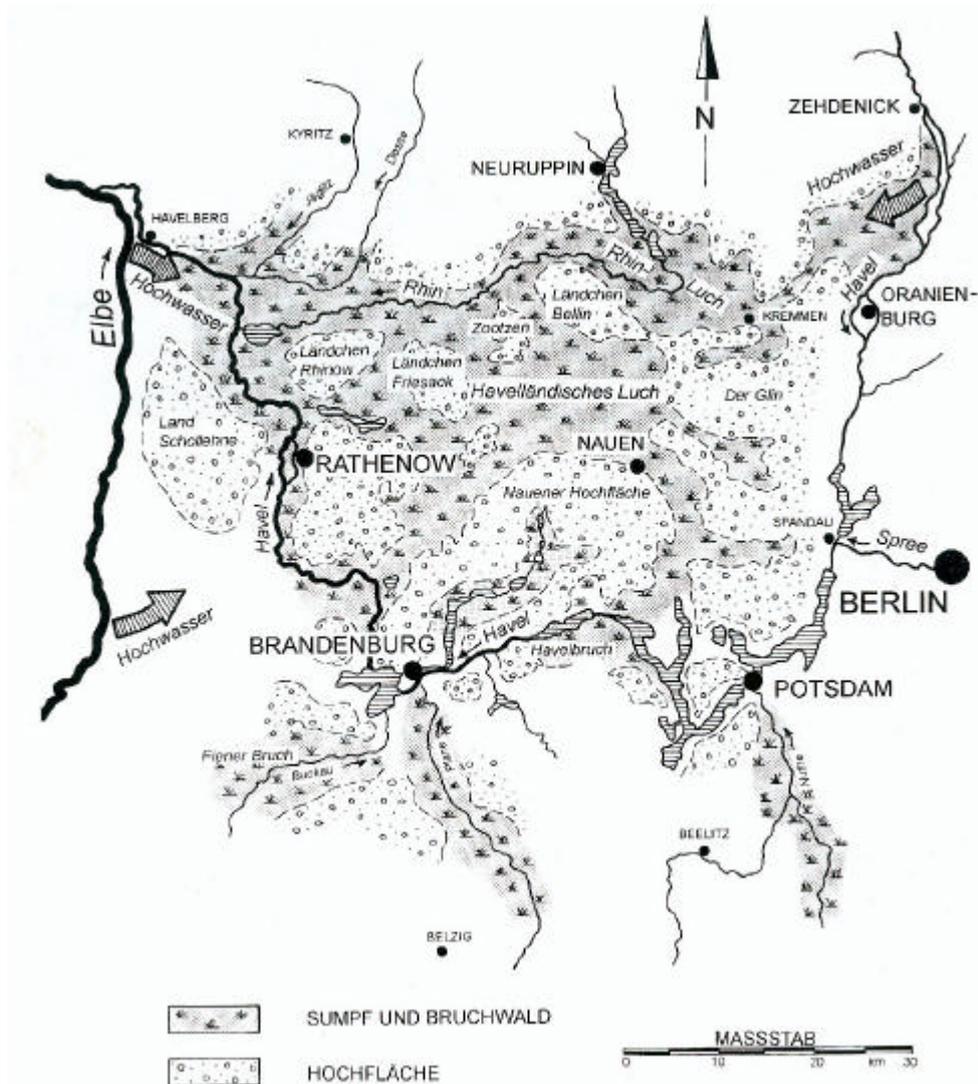


Abb. 1: Das "vernässte" Havelländische Luch (Quelle: KALWEIT 1998, 42)

Mit der Intention, ein herausragendes Beispiel der Melioration zu schaffen, und seine „Landeskinder aus der eingerissenen Lethargie hochreißen zu müssen“ (KALWEIT 1998, 40), initiierte der Soldatenkönig Friedrich I am Anfang des 18. Jh. die Großmelioration des Havelländischen Luchs. Als ein Komplex mooriger Niederungen, unterbrochen von sandigen Geländeerhebungen, bildete es ein wenig einheitliches Gebiet (Abb.1). Technischen Bedenken und Widerständen der Anwohner konnte er letztlich mit der Überzeugung begegnen, dass die Meliorationsmaßnahmen wertvolle Verbesserungen für die Landwirtschaft versprachen.

Als das Werk 1725, nach 7jähriger Arbeit vollbracht war, krönten 520 km Gräben und Kanäle die Arbeiten zur Entwässerung und Kultivierung des Havelländischen Luchs (ebd. 45, Abb.2). Der 73 km lange Hauptkanal bildete das Kernstück. Zwei Schleusen im oberen und unteren Bereich des Kanals, auf der Seite, auf der er sich von der Havel trennte als auch auf der, auf der er nach verkürztem Lauf wieder in sie mündete, sollten eine gezielte Wasserführung nach den Ansprüchen von Schifffahrt und Landwirtschaft ermöglichen.

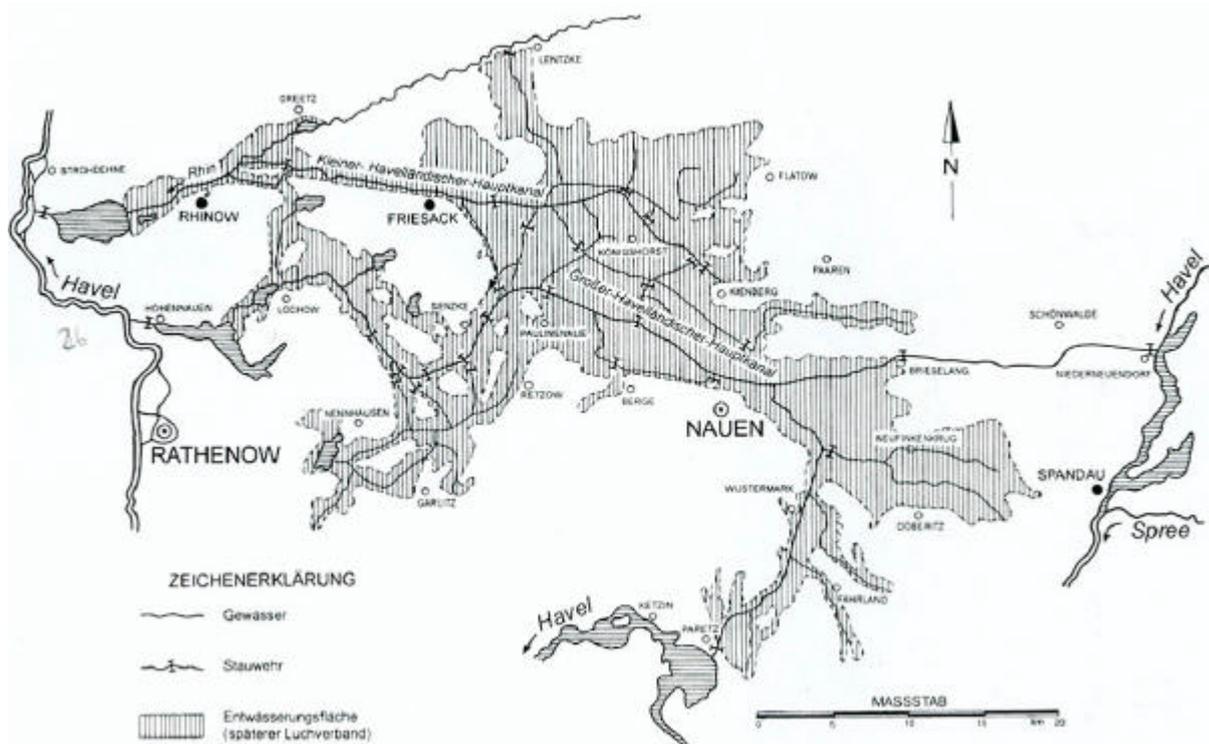


Abb. 2: Übersichtskarte zur Entwässerung des Havelländischen Luchs (Quelle: ebd. 43)

Um einem Absacken der Grundwasserstände unter 80 cm in Trockenzeiten optimal entgegenwirken zu können, wurden weitere Stauanlagen eingerichtet (ebd.). Die Wasserregulierung wurde nur zu einem bedingten Erfolg. Zwar profitierten die Landwirte in den folgenden Jahren auf den „meliorierten“ Flächen von der Grünlandwirtschaft. Was den Ackerbau betraf, ließ sich die Situation kaum verbessern. Während die Wiesen zu feucht waren, prägten wenig fruchtbare Sandböden die Höhen (ebd. 46).

### 1.3.4 Großmelioration im Oderbruch – Der Gewinn einer neuen Provinz im eigenen Land

Zur „Herzensangelegenheit“ seines Sohnes, Friedrich II („dem Großen“) wurde die Kultivierung des Oderbruchs. Die Möglichkeit der Ansiedelung Tausender von Kolonisten und die Aussicht auf Laufverkürzungen für die Schifffahrt, sprachen dafür, den „jährlich ausufernden Oderstrom aus dem Bruch zu verbannen und seine bisher wilden und nahezu nutzlosen Sümpfe in Kultur zu bringen“ (KALWEIT 1998, 57). Da der Staat das Recht hatte, Meliorationen und Gewässerausbauten auszuführen, wenn sie von der Verwaltung für erforderlich gehalten wurden, blieben die Widersprüche der örtlichen Bevölkerung, die sich gegen die Umstellung vom Fischer- in den Bauernstand wehrten, ungehört (ebd. 58). Unter dem Baumeister und Ingenieur Harlem begannen 1747 die Arbeiten im Oderbruch. Dem unregelmäßig mäandrierenden, teilweise verzweigten Lauf der Oder (ebd. 53) begegnete man z.B. mit einem Durchstich einer ausgeprägten Mäanderschleife im Neuenhagener Horst (ebd. 55), wodurch sich die Fließstrecke von 46 km auf 22 km verkürzte (Abb. 3).

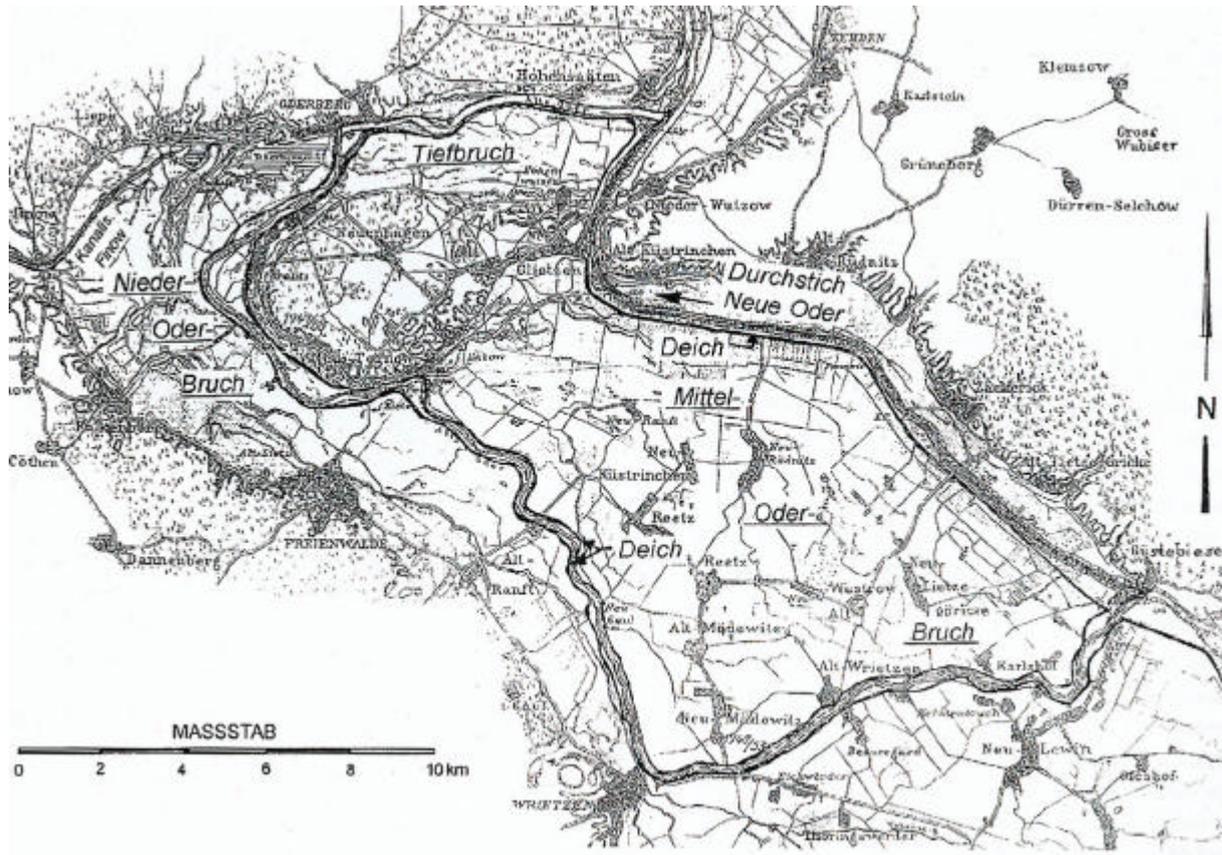


Abb. 3: Durchstich durch den Neuenhagener Horst (Quelle: ebd. 56)

Da man in diesem Bereich keine Möglichkeit sah, Deichvorland auszubilden bzw. zu erhalten, griff man auf ein damals übliches Flussbauverfahren zurück. Allein mit Hilfe von Tieren und Technik, aber ohne den Einsatz von Maschinen, formte man einen weit über 20 Meter tiefen Richtgraben, um dem Hochwasser ein gegenüber einem natürlichen Profil um das Zehnfache erweitertes Profil zu überlassen und baute über 85 km Oderdeiche und Hauptgräben zur Entwässerung des Hinterlandes (ebd. 55). Grundwassersenkungen stellten sich wie gewünscht ein. Landschaftliche Flächennutzungen konnten ausgeweitet, neue Kolonisten aus der Pfalz und den Niederlanden angesiedelt werden (ebd. 60). Mit Beendigung der Hauptanlagen zur Kultivierung des Oderbruchs im Jahre 1754 hatte Friedrich II unter „beträchtlichen Widerständen von Natur und Mensch eine Provinz im eigenen Land gewonnen“ (ebd. 59). Nach anfänglichen Schwierigkeiten ließen sich die landwirtschaftlichen Erträge in erheblichem Maße steigern (ebd. 62). Immer mehr Grünlandflächen wurden umgebrochen und in Ackerland verwandelt. Mit der Zeit wurde das Oderbruch fast vollständig für die Landwirtschaft erschlossen. Doch auch Probleme wie Vernässungen blieben und steigende Hochwasserspiegel, die man auf zunehmende Sandablagerungen zurückführte, machten sich bemerkbar. Deichkronen wurden erhöht. Kleine Deichbrüche kündigten wiederum eine Hochwasserkatastrophe an, die im Jahr 1785 lange Deichstrecken überströmen ließ (ebd. 65).

Die staatliche Großmeliorationen im Oderbruch hatte „Wert und Umfang der Meliorationen im Havelländischen Luch weit überschritten“ (ebd. 65). Angewendet wurden ähnliche Meliorationsmaßnahmen vielerorts in Brandenburg. Ursprünglich verästelte und sich wechselnde Fließwege suchende Flüsse wurden mittels Durchstichen und Begradigungen

geregelt und schiffbar gemacht, fast ein Dutzend Kanäle wurden allein zwischen 1740 und 1780 gebaut (ebd. 82). Wehre und Schleusen fanden immer wieder Einsatz, um die Wasserflüsse entsprechend zu regeln. Friedrich II gestaltete ein Wasserstraßennetz „nach den Bedürfnissen seiner Zeit“ (ebd. 87).

### **1.3.5 Entwicklungen infolge naturwissenschaftlich technischer Fortschritte**

Die Erkenntnisse wissenschaftlicher Forschung, vor allem der Physik, begannen sich in Form technischen Fortschritts mit Beginn des 19. Jh. in der Wasserwirtschaft bemerkbar zu machen. Fachbücher ermöglichten eine erleichterte Verbreitung von Erkenntnissen. Über bessere Baugeräte, Bauverfahren und Planungsmethoden konnte man bereits im Jahre 1802 in Eytelwein-Gillys Buch „Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst“ lesen (KALWEIT 1998, 89). Neben neuen Messtechniken und neuen Berechnungsverfahren versuchte Gotthilf Hagen, einer der führenden Köpfe des Wasserbaus, auch „tiefere Einsichten über die Zusammenhänge von Technik und Natur“ zu vermitteln (ebd. 116). Der Chemiker Justus von Liebig begründete die wissenschaftlich fundierte Mineraldüngung (ebd. 89). Neue Entdeckungen und Entwicklungen beeinflussten sich zunehmend gegenseitig.

Mit der beginnenden Dampfschiffahrt im Jahre 1816 (ebd. 92) ließ ein sich vergrößernder Wasserverkehr nicht lange auf sich warten. Schifffahrtswege mussten verbessert werden. Das bedeutete z.B. aufwendigere Bauweisen zur Sicherung des Gewässerbettes, da mit zunehmenden Schiffgrößen und Verkehrsdichten die Einwirkungen von Schiffswellen auf die Gewässerböschungen und der Schifffahrtsantriebe auf die Gewässersohlen anstiegen (ebd. 95). Angesichts zunehmender Aufträge sahen sich die Schiffer auf der Elbe auch in zunehmendem Maße von Niedrigwasser behindert, woraufhin eine Kommission der Anliegerstaaten eine Konvention zur Vereinheitlichung des Elbfahrwassers und zur Einhaltung bestimmter Mindestbreiten beschloss (ebd. 111).

### **1.3.6 Wasserwirtschaft und Landwirtschaft – der Beginn einer Symbiose**

Der aufkommenden Maschinenarbeit in der Landwirtschaft wurde durch neue Techniken im Wasserbau der Weg geebnet, indem z.B. durch den unterirdischen Verbau neuer Tonrohrdränungen oberirdische Entwässerungsgräben vielfach überflüssig wurden. Dadurch, dass die Dränen „überschüssiges“ Bodenwasser abführen konnten, versprach man sich einen günstigeren Grundwasserstand als die Naturverhältnisse es boten. Wo man sich lange Zeit mit einer Grünlandnutzung entwässerter Moore begnügt hatte, stiegen nun Möglichkeiten und Ansprüche diese mittels verbesserter Entwässerungsmöglichkeiten in Ackerland umzuwandeln (KALWEIT 1998, 122). In ungeduldiger Erwartung hatte der Landwirt und Schriftsteller Johann Gottlieb Koppe 1842 noch verkündet: „Der dürre und unfruchtbare Sand, an welchen sie die viele Arbeit verschwenden, gibt ihnen nur so viel Getreide, dass sie das Leben fristen, die Flächen dagegen, die Arbeit und Mühe reichlich lohnen und wohlhabend machen könnten, liegen im Sumpf oder werden für das Vieh als Weide benutzt, weil man keine Ahnung davon hat, welcher Verbesserung sie fähig sind“ (KLEMM 1998, 23). Zwar konnte auch solchem Unmut allmählich begegnet werden, allerdings machten sich bei

der Bewirtschaftung entwässerter Niedermoorflächen Schwierigkeiten wie Unkrautwüchsigkeit oder Frostanfälligkeit der Pflanzen bemerkbar, die sich in niedrigen Erträgen niederschlugen. Auf Standorten geringer Bodenfruchtbarkeit ließen sich die Erträge durch die Anwendungsmöglichkeiten der einsetzenden Mineralstoffdüngung oftmals steigern.

Reichte das natürliche Gefälle zur Entwässerung landwirtschaftlich interessanter Flächen nicht aus, wurden zunehmend auch Schöpfwerke [Pumpwerke, die das Wasser von Niederungsflächen abschöpfen, denen natürliche Vorflut zur freien Entwässerung zeitweise oder ständig fehlt (ERCHINGER 1993, 724)] eingesetzt, die die Vorflut um eine künstliche Entwässerung ergänzten. Als Bauern in trockenen Sommern auf die Idee kamen, zur Grünlandnutzung ausgewiesene Polder [Gebiet, das durch Eindeichung gegen Hochwasser geschützt ist und tiefer als der Außenhochwasserstand liegt (DÖRTER 1986, 109)] ackerbaulich zu nutzen, wurde die unzureichende Vorflut in nassen Jahren zu einem großen Problem. Der Einsatz von Schöpfwerken mit und ohne Dampfantrieb ließ selbst die Bewirtschaftung solcher Flächen zu (KALWEIT 1998, 135). Hochwasserschäden und Entwässerungsmängel blieben zwar nicht aus, doch insgesamt schienen die Einflüsse produktionssteigernder Neuerungen geradezu Wunder zu wirken. Errungenschaften der Mechanisierung, der Einsatz mineralischer Düngemittel – bereits 1893 verbrauchte die Landwirtschaft in Brandenburg rund 202914 t – führten in Verbindung mit besserem, z.T. hochleistungsfähigem Saatgut vielerorts zu beträchtlichen Steigerungen der Hektarerträge (KLEMM 1998, 34). Von der gezielten Abwasserverrieselung begann in der zweiten Hälfte des 19. Jhs. der Gemüseanbau vor den „Thoren“ Berlins zu profitieren (ebd. 42). Innerhalb weniger Jahrzehnte stieg die Menge verrieselten Abwassers durch das Wachstum der Stadt jedoch in einem Maße an, dass es zu „Verschmutzungen“ von Vorflutern und Veränderungen der Böden kam, die die Erträge sinken ließen (KALWEIT 1998, 142). Damit löste sich diese Eigenwirtschaft Anfang des 19. Jhs. langsam wieder auf.

### **1.3.7 Nebenwirkungen naturwissenschaftlich technischen Fortschritts**

Neue Möglichkeiten technischen Fortschritts wurden immer wieder von Nebenwirkungen vorangegangenen Fortschritts begleitet. Das Havelländische Luch war z.B. eine Region, in der sich die Verhältnisse über die Jahrzehnte immer schwieriger gestalteten. Zwar waren hier bereits „vor Generationen Sumpfgebiete der Wildnis abgerungen worden“ (KALWEIT 1998, 171), es stellte sich jedoch heraus, dass sie sich nur mit einem erheblichen Arbeitsaufwand als landwirtschaftliche Nutzflächen erhalten ließen. Dabei galt es nicht nur Entwässerungsanlagen vor dem ständig drohenden Zerfall zu bewahren, sondern sie gleichzeitig an die wachsenden Ansprüche der Landwirtschaft anzupassen. Abwanderungen nach Berlin taten ihr übriges, dass die ansässigen Bauern den Krautungen [Beseitigung unerwünschten Pflanzenwuchses (DÖRTER 1986, 92)] und Grundräumungen [Entfernung von Sohlaufhöhungen, verursacht durch Sedimentation angeschwemmten Materials oder durch Böschungsrutschungen (DÖRTER 1986, 92)] der zahlreichen Gräben und den Unterhaltungsarbeiten an den Bauwerken bald nicht mehr im erforderlichen Umfang nachkommen konnten (KALWEIT 1998, 171). Dieser Zustand hielt über Jahrzehnte an bis sich der 1848 gegründete Grabenschauverband 1896 zu einer Räumungsaktion entschied. Dadurch wurde ein beschleunigter Wasserabfluss in Teilbereichen wieder möglich (ebd. 172).

### 1.3.8 Entwicklungen infolge hydrologischer Erkenntnisse

Das Ende des 19. Jh. war von wesentlichen Erkenntnissen über „zusammenfassende Betrachtungen von Wasserdargebot und Wassernutzung“ geprägt, auf die sich die hydrologische Wissenschaften heute noch gründen. Gemeint sind Einsichten in die Zusammenhänge zwischen „Zahlengrößen“ des Wasserhaushaltes, die sich aus Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Speicherung zusammensetzen (Kap. 2.2). „Die umfassende Ermittlung des Wasserdargebots in seinem zeitlichen Wandel, seine Beherrschung und Verteilung auf die verschiedenen Nutzungen sowie die planmäßige Abwehr von Wasserschäden wurde damit eingeleitet“ (KALWEIT 1998, 123). Das „Handwerkszeug“ von Wasser- und Kulturbauingenieuren erhielt damit das wissenschaftliche Fundament, das es ihnen ermöglichte, steigende Anforderungen wie sie sich z.B. aus denen der Landwirtschaft ergaben in einem zunehmend besseren Maße zu erfüllen (ebd. 124).

Im Havelländischen Luch wurden die Räumungsaktionen Anfang des 20. Jhs. durch umfangreiche Baumaßnahmen ergänzt. Neben der Vergrößerung von Haupt- und Nebenkanälen, kamen Stauwehre für die Wasserstandhaltung in Trockenzeiten hinzu. Um dem Problem immerwiederkehrender Krumeverwehungen auf „unbestockten Ackerflächen“ entgegenzuwirken, entschied man sich z.B. für Windschutzhecken.

Ertragseinbußen durch Vermüllungen konnte nur schwer begegnet werden. Sie äußerten sich durch Verdichtungen oberer Bodenschichten mit mineralisierter organischer Substanz auf entwässerten und abgesackten Niedermoorflächen, wodurch diese wasserundurchlässig wurden (ebd. 175). Um solch einem Prozess vorzubeugen, bemühte man sich, ursächlichen Wasserschwankungen von vornherein entgegenzuwirken. In Zusammenarbeit mit Landwirten überlegten sich Wasserbauingenieure einen kombinierten Betrieb von Stauwehren und Schöpfwerken. Deren Einsatz begünstigte zusätzlich die Verlängerung von Vegetationsperioden. Man zielte auf eine jahreszeitlich kontrollierte Wasserregulierung. Im Winter sollten niedrige Grundwasserstände eine Durchlüftung und Aktivierung der Böden gewährleisten. Dies setzte eine gezielte Abführung des Bodenwassers voraus, wozu die Wehre im Herbst geöffnet und, wo nötig, zusätzlich noch Schöpfwerke gebaut wurden. Ein Walzen durch Wasser und Frost hochgequollene Moorböden sollten dadurch wiederzusammengedrückt werden als Vorsichtsmaßnahme gegen Vermüllung, zur Sicherung der Wasserversorgung flachwurzelnder Pflanzen aus dem Grundwasser, zur Verfestigung der Grasnarbe der Weideflächen (KALWEIT 1998, 175] und Bestellen von Ackerland wurde durch diese Maßnahmen teilweise sogar erst möglich. Indem man die Wehre ab März/April wieder schloss, versuchte man die für die Vegetationsperiode nötige Bodenfeuchte wiederum zu speichern. Man erhoffte sich dadurch die Grundwasserstände unter Grünland bei 40 cm und unter Ackerland bei 55 cm halten zu können (ebd. 176).

Solcherlei Vorgaben erwiesen sich in trockenen Sommern als nicht erreichbar. Die Speicherung des Eigenwassers durch Stauanlagen reichte nicht aus. Eine Zuführung von „Fremdwasser“ wurde erforderlich. Der Bedarf an Bewässerungswasser aus angrenzenden Flüssen kollidierte an der Havel mit den Ansprüchen der Schifffahrt. Erhebliche wasserrechtliche Schwierigkeiten und hohe Kosten ließen solche Zielkonflikte zu langjährigen und schwer lösbaren Problemen werden (ebd. 174).

Kombinierte Be- und Entwässerungsmaßnahmen ermöglichten eine weiter steigende Intensivierung der Landwirtschaft, von der wiederum zunehmende Anforderungen an eine technische Wasserregelung ausgingen. In den 20er Jahren des 19. Jhs. brachten die Fortschritte der Meliorationstechnik mechanisierte Dränungen sowie verbesserte Varianten von Schöpfwerken und Feldberegnungen auf den Markt. Mittels Schnellkupplungsrohren und Regnern konnten nun auch vorher trockene Flächen in „lohnende Bewirtschaftung“ gebracht werden (ebd. 185). Kleinere Schöpfwerke mit elektrischem Antrieb wurden gebaut. Diese ließen sich flexibler als solche mit aufwändigem Dampfmaschinenantrieb einsetzen. Dies erleichterte die Entwässerung und Bewirtschaftung von Flächen mit wechselnden Bodenverhältnisse und Geländehöhen wie z.B. im Oderbruch (ebd. 193). Die sich laufend verbessernden Entwässerungstechniken erleichterten auch die Trockenlegung von Tagebauten zur Gewinnung von Braunkohle, mit der man in der Lausitz bereits um 1900 begann.

### **1.3.9 Die Lösung des Jahrhunderts währenden „Elbe – Havelwinkel – Problems“**

Im Elbe – Havel – Winkel und in weiten Bereichen der Havelniederungen blieben die Hochwasser der Elbe über die Jahrhunderte (16.Jh.:45HW, 17.Jh.:27HW, 18.Jh.:30HW (KALWEIT 1998, 112)) ein ungelöstes Problem, dem man trotz regelmäßiger Ausbauten von Wasserläufen und einzelnen Eindeichungen nicht Herr geworden war (ebd. 144). In einer großen Aktion hatte man 1772 durch den Bau eines Trennungsdeiches zwischen Elbe und Havel (im Anschluss an den alten Jerichower Elbdeich) die Havelmündung um 8 km elbabwärts verlegt. Mit dieser Maßnahme versuchte man die Rückstauhöhe der Elbe zu vermindern. Zwar ließen sich dadurch neue Grünlandflächen durch die Rodung großer Buchenwälder schaffen, und Ackerflächen konnten von höher gelegenen Sand- und Heideflächen in die Niederungen verlegt werden, doch war die existenzbedrohenden Hochwassergefahr der Bewohner der Niederungen damit nicht gebannt (ELLMANN 1995, 8).

Lange Zeit wurde es still um weitere kostspielige und vor allem in ihren Auswirkungen schwer zu beurteilende Vorhaben (KALWEIT 1998, 245). Widerstände gab es auch von Seiten der Elbanlieger, die durch neue Bauten den Verlust großer Retentionsräume befürchteten mussten (ELLMANN 1995, 8). Die Auswirkungen des verheerenden Hochwassers 1926/1927 sowie die Notwendigkeit zur Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion, die sich nur mit einem wirksamen Hochwasserschutz erreichen ließ, bedingten den Entschluss, dass man 1927 die „Sicherung der unteren Havel gegen Hochwasserschäden“ besiegelte und bald in Angriff nahm. 1954 konnte man die Arbeiten zur Regulierung der Zu- und Abflüsse zwischen den Wassern von Havel und Elbe beenden (ELLMANN 1995, 6). Durch den Bau eines die Havel verlängernden Kanals hatte man die Havelmündung um 11 km elbabwärts verschoben und mit einem den Sommerstau haltenden Wehr (Gnevsdorf) versehen. Ein Durchstich zwischen Elbe und Havel, noch vor dem Anfang des neuen Kanals, wurde ebenfalls mit einem Wehr (Neu-Werben) versehen, um Wasser bei Hochwasserspitzen der Elbe in die Havelniederungen einleiten zu können (KALWEIT 1998, 247). Diese Funktion wurde während des Elbhochwassers im Sommer 2002 erstmals genutzt.

## 1.4 Komplexmeliorationen

Die Ergebnisse der Komplexmeliorationen der 60er und 70er Jahre beschreiben den Höhepunkt ober- und unterirdischer Wasserregulierung auf der Fläche im Osten Deutschlands. Eingeleitet wurden sie mit dem „Frühjahrsplan zur Entwicklung der Volkswirtschaft“ zu Beginn der 50er Jahre, der die ersten Weichen für die nachfolgenden Entwicklungen stellte (LUA 2002, 7).

Zunächst begann man ober- und unterirdische Bewässerungen (z.B. durch Einstau oder Beregnung) in beträchtlichem Maße auszudehnen. Nur anfangs stellte man dabei die landschaftliche Abwasserverwertung in den Vordergrund (KALWEIT 1998, 201). Die Bewirtschaftung trockener Standorte ließ sich durch Bewässerungsmaßnahmen ausdehnen. Gleichzeitig wirkte man mit diesen Maßnahmen Problemen der Vermüllung und Frostschädigung während der Vegetationszeit entgegen, die die ausgedehnte Ackernutzungen von Niedermoorböden in vermehrtem Maße mit sich brachte (ebd. 252). Zusätzlich ermöglichten neue Maschinen und Bauverfahren die Melioration von Gebieten, die aufgrund besonderer Schwierigkeiten Flurnamen wie „Teufelsbruch“ oder „Große Plage“ trugen.

In den 60er Jahren begann man dann Maßnahmen der Bodenmelioration mit solchen der Hydromelioration zunehmend im Komplex anzuwenden. Das zunehmend gleichzeitige Auftreten von Erscheinungen der Verdichtung, Staunässe und Versauerung in Böden erkannte man als zu beseitigendes Ärgernis. Mit dem Ziel den Bodenwasserhaushalt eines Standortes grundlegend zu verbessern, kombinierte man in der Folge z.B. Maßnahmen der Tiefenlockerung, der Rohrdränung und Kalkung (Abb. 4).

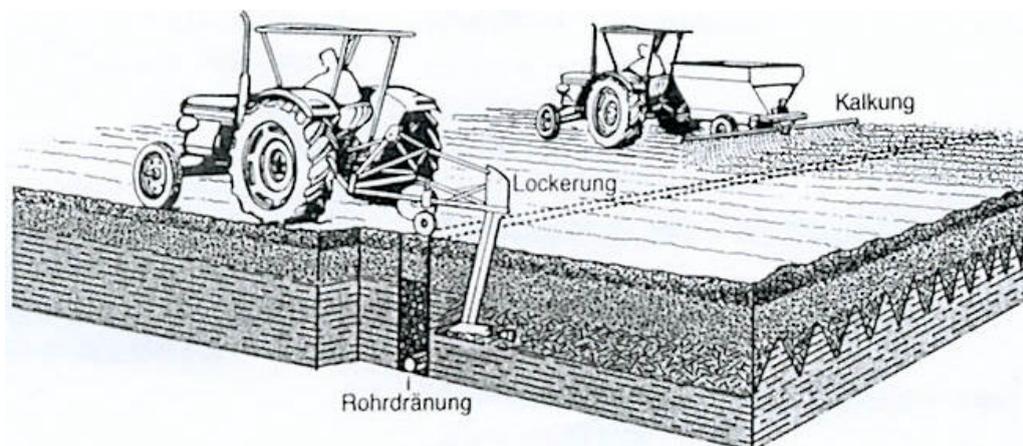


Abb. 4: Beispiel für kombinierte Melioration (Rohrdränung, Tiefenlockerung und Meliorationskalkung (Quelle: ALSING 1995, 434)

Alte Grabensysteme baute man vielerorts vollständig um oder neu. Große Gebiete in Niederungen wurden eingepoldert [Schaffung mehrerer aneinander angrenzender Polder]. Bei Hochwassergefahr ließen sich auf diese Art nach Bedarf einzelne Polder fluten, andere konnten wiederum mittels an den Rand von Poldern gebauter Schöpfwerke, von den Gefahren drohender Staunässe befreit werden (ELLMANN 1995, 9). Gleichzeitig versuchte

man mit dem Bau großangelegter Speicher, z.B. in Form von Talsperren, das oftmals überschüssige Wasserdargebot im Winter mit mangelndem Dargebot im Sommer auszugleichen, indem es sich dann zu Bewässerungszwecken einsetzen ließ. Eine technisch optimierte Regulierung des Wassers in der Landschaft (Abb. 5) blieb ein gesellschaftliches Ziel. Die landwirtschaftliche Produktion wurde intensiviert.



Abb. 5: Systeme zur Wasserregulierung (eig. Aufn., nahe Dosse und Jäglitz (Abb. 1), Sommer 2002)

Welche Bedeutung man diesen Formen der Landschaftskultivierung in jener Zeit beimaß, geht aus einem Zitat aus einem Lehrbuch für die sozialistische Berufsausbildung mit dem Titel „Hydromelioration – Bewässerung“ von 1968 hervor. Zu den Aufgaben der Melioration heißt es dort (MÖLLER, 13): „Eine der wichtigsten Aufgaben ist die Erhaltung und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit auf dem Acker und dem Grünland. Der Wasserhaushalt hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit. Seit Jahrhunderten wird in Deutschland mit großem Erfolg daran gearbeitet, den Überschuss an Wasser zu beseitigen. Es wurden Hochwasserschutzdeiche gebaut, um riesige Ländereien gegen die verheerenden Wirkungen der Überschwemmungen zu schützen. Große Sumpfgebiete und umfangreiche Moore wurden entwässert und für die landwirtschaftliche Nutzung erschlossen. Unzählige Regulierungen an Wasserläufen wurden und werden durchgeführt, um landwirtschaftliche Nutzflächen zu entwässern. Viele Tausende von Dränungen tragen dazu bei, die Erträge zu steigern. Alle Meliorationsmaßnahmen, durch die der Überschuss an Wasser beseitigt wird, haben sich erfolgreich ausgewirkt und vielen Menschen Nahrung gegeben.“

Die Entwässerungssysteme, mit denen man während der Komplexmeliorationen begonnen hatte, wurden in Brandenburg bis zum Ende der 80er Jahre ausgebaut (LANDGRAF & KRONE 2002, 440).

## 1.5 Fazit

In den ausgleichenden Maßnahmen zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf während der Inkulturnahme Brandenburgs, lässt sich bis zum Ende der Komplexmelioration eine Linie erkennen. Während Entwässerungen von Niederungsgebieten wie Moore und Auen, Begradigungen und Eindeichungen von Flussläufen mit der Zeit in ganz Brandenburg

Siedlungen auf grundwassernahen und hochwassergefährdeten Standorten entstehen ließen, schien sich die Siedlungstätigkeit der Menschen ganz allmählich vom „natürlichen“ Wasserfluss der Landschaft zu lösen. Innerhalb wasserwirtschaftlicher Praxis standen bis zum Höhepunkt der Komplexmelioration solche Versuche im Vordergrund, die die Kontrolle über das Wasser in der Landschaft perfektionieren wollten. Wasserwirtschaftlicher Fortschritt war dabei meist direkt an den technischen Fortschritt gekoppelt, egal ob es sich um einen Schutz vor dem Wasser oder um ein Nutzbarmachen von Wasser drehte. Wasser forderte sozusagen den technischen Erfindungsgeist der Menschen. Als Verbündete der Landwirtschaft konzentrierten sich wesentliche Aufgaben der Wasserwirtschaft darauf, Wasser nach Bedarf beschleunigt aus der Fläche abzuführen, gegebenenfalls zurückzuhalten (Kombination aus Stauwehren und Schöpfwerken) und gleichzeitig Flächen in (rechteckige) Form zu bringen. Begradigt, eingetieft und homogenisiert wurden Fließquerschnitte auch im Interesse der Schifffahrt. Der gegenseitige Nutzen von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft ist aus heutiger Perspektive grundlegend in Frage zu stellen.

Mit dem Ziel, den Wasserhaushalt für die Erfordernisse des Menschen unter Kontrolle zu bringen, wurden die „Antworten“ aus der Natur oftmals als Fehler oder Störungen verstanden, die es zu beseitigen galt. Über die Jahrhunderte lag die Konzentration auf einer Optimierung ähnlicher Strategien: Bau höherer Deiche, Intensivierung von Be- und Entwässerungen, Errichtung von Rückhaltebecken etc.. Fruchtbare Böden wurden erfolgreich erschlossen und der Bevölkerung zugänglich gemacht. Bodenfruchtbarkeit zu erhalten stellte sich als wesentlich schwierigere Aufgabe heraus. In der Geschichte der Flächenbewirtschaftung entwickelten Gesellschaften wie die Hochkulturen Ägyptens diese Fähigkeit nur dann, wenn zeit- und ortsgebundene Besonderheiten in ihren Grenzen erkannt und genutzt wurden.

## 2 Selbstreflexion wasserwirtschaftlicher Praxis

Die letzten Jahrzehnte haben viele Veränderungen mit sich gebracht. Reifende Erkenntnisse über die „Grenzen des Wachstums“ ließen dominierende Nutzungsansprüche des Naturraums ins Wanken geraten. Der „Schutz von Natur und Umwelt“ rückte zunehmend ins Blickfeld. Die Komplexmelioration stellten einen Höhepunkt wasserwirtschaftlicher „Gradlinigkeit“ dar. Im Zusammenhang mit den Klimadiskussionen, Wetterextremen und Überschwemmungsproblemen hat allerdings eine Phase der Selbstreflexion begonnen. In Brandenburg hat die „heutige Situation“ um den Landschaftswasserhaushalt diesen Prozess stark beschleunigt. Dieser soll zunächst beschrieben werden. Grundlagen, Zukunftsvorstellungen, Probleme und Konfliktfelder im Rahmen wasserwirtschaftlicher Themen und Fragestellungen sollen nachfolgend dazu dienen, den Weg, den die Wasserwirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit eingeschlagen hat, in Ansätzen zu erfassen.

### 2.1 Situation des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg

Brandenburg - bald ein Steppenland? Mit dieser Überschrift wurde 2002 eine Ausstellungswand des Landesumweltamtes in Brandenburg über den Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg betitelt. Anlass zu dieser Fragestellung gab unter anderem ein Vergleich der Stadt Cottbus mit einer amerikanischen Kurzgrassteppe. Diesem entnahm man, dass die klimatischen Zustände Brandenburgs in Extremjahren denen einer Prärie ähneln (LUA 2002, 11). Unter dem Begriff des Landschaftswasserhaushaltes, wird die Einbettung der Komponenten des Wasserkreislaufs in die Elemente der Landschaft verstanden. „Menge und Güte des Wassers mit ihren vielfältigen Wechselwirkungen in Landschaften und deren Ökosysteme“ stehen dabei im Vordergrund (ebd. 2). Einige wesentliche landschaftliche Veränderungen, die zur Beschreibung des Landschaftswasserhaushaltes beitragen und als direkte Folgen wasserwirtschaftlicher Praxis betrachtet werden können, werden zunächst kurz zusammengefasst.

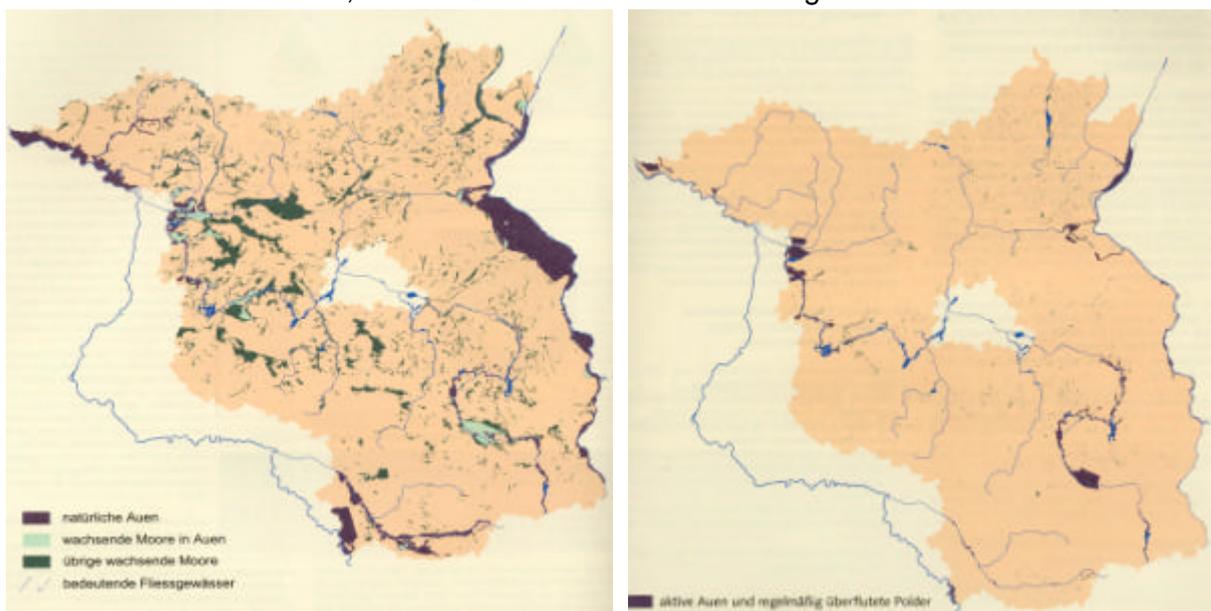


Abb. 6, Abb. 7: Der Flächenanteil an Auen und Mooren in Brandenburg: um 1700 und heute (Quelle: LUA 2001, 116 u. 117)

Flussauen und Moore, die sich um 1700 noch auf Flächen von insgesamt 436.000 ha ausgedehnt hatten, sind heute nur noch auf 72.400 ha zu finden. Das ist ein Rückgang um ca. 80% (LUA 2001, 115, vgl. Abb. 6 und Abb. 7). Allein zwischen 1970 und 2000 „verschwanden“ rund 54.000 ha.

Zu den Gewässerläufen Brandenburgs heißt es, dass mindestens 80% künstlich angelegt sind. Gemeint sind mit dieser Zahl primär die kleinen Gräben (Abb. 8), die sich zwecks Feuchtgebietsentwässerung für die Landwirtschaft über 23800 km erstrecken (LANDGRAF & KRONE 2002, 437).



Abb. 8: Entwässerungsgraben (eig. Aufn., nahe Dosse und Jäglitz, Sommer 2002)

Lange stellte man die Vorteile solcher Maßnahmen in den Vordergrund. Heute spricht man von den Intensivierungen wasserwirtschaftlicher Regulierung und Entwässerung ausgedehnter Feuchtareale selten ohne einen Zusammenhang zu dem „weitgehenden Verlust der Wasser- und Stoffspeicherfunktionen der Landschaft“ herzustellen (Abb. 9, Abb.10).

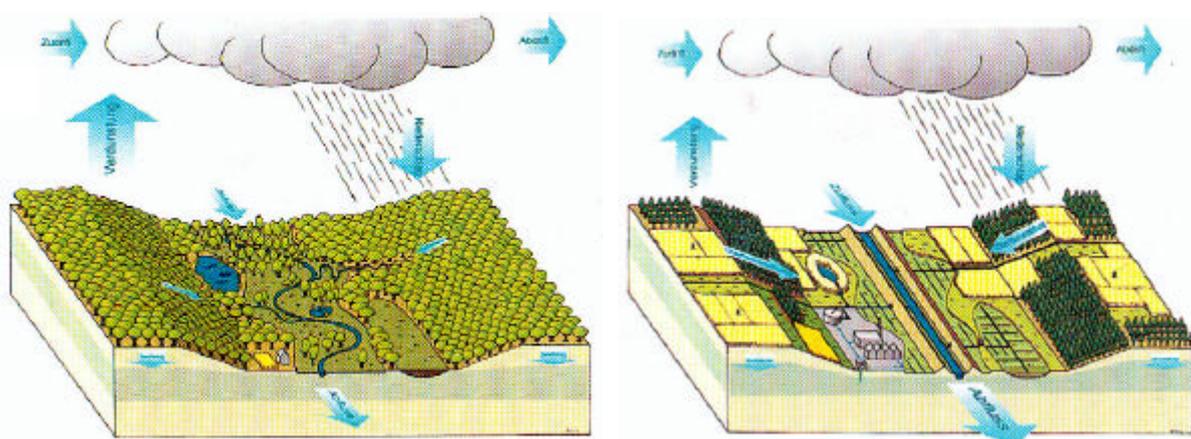


Abb. 9, Abb. 10: Die Situation des Landschaftswasserhaushaltes im 3. Jh. n. Chr. und heute (Quelle: LUA 2002)

Der Landschaftswasserhaushalt gilt in weiten Teilen Brandenburgs als gestört. „Extreme Hoch- und Niedrigwasser werden häufiger, ausgeprägte Dürren nehmen zu“, heißt es in einer diesbezüglichen Broschüre (LUA 2002). Das Oder-Hochwasser im Sommer 1997 verursachte allein in Brandenburg Schäden von 647 Mio. DM. Einer vorläufigen Schadensbilanz der Bundesregierung zufolge werden die Schäden durch das Elbhochwasser diesen Sommers für Brandenburg auf 200 Mio. Euro geschätzt (BI 2002). Gleichzeitig prägten extrem trockene Sommer die Jahre 1992, 1997 und 1998 (A&U JOURNAL 2001, 36). Nach dem niederschlagsarmen Frühjahr 2000 meldeten brandenburgische Landwirte in vielen Landesteilen gravierende Trockenschäden. Um diese auszugleichen zahlte das Landwirtschaftsministerium Entschädigungen in Millionenhöhe. Die Ertragsausfälle beliefen sich letztlich auf eine Schadenssumme von rund 150 Mio. Euro (LANDGRAF & KRONE 2002, 435).

Die landwirtschaftliche Produktion, die für ihre Rentabilität neben solchen „Einmalzahlungen“ regelmäßige Ausgleichszahlungen und Prämien schon lange voraussetzt, wirft bei einem Blick auf die Böden längst grundsätzliche Fragen hinsichtlich ihrer Effizienz auf. So problematisiert man bezüglich der „überwiegenden Sandböden“ Brandenburgs z.B. ein geringes Wasserhaltevermögen und den Hang zur Austrocknung (ebd. 426).

Gerade auf ehemaligen Niedermoorstandorten sieht man sich zusätzlich neben den Problemen der Vermüllung mit Moorsackungen, Moorverwehungen sowie teilweise völlig neuen Geländeprofilierungen konfrontiert. Verursacht durch stark begünstigte Mineralisationsprozesse, tauchen nach Jahren intensiver Bewirtschaftung oftmals Sandinseln auf, die vorher von humoser Substanz bedeckt waren. Je intensiver gewirtschaftet wird, desto schneller ist der Verlust dieser Substanz, was wiederum zu einem Sinken der Erträge führt. Inwieweit vorhandene Meliorationssysteme solchen Prozessen entgegen wirken können ist fraglich geworden. Spätestens dann, wenn es zu veränderten Geländeprofilierungen kommt, sind die Wasserstände kaum mehr nach ursprünglicher Projektionierung regulierbar. Hinzu kommen die aufwändigen, bzw. kostenintensiven Wartungsarbeiten. Dazu gehören regelmäßige Entkrautungen der Gräben oder Reparaturarbeiten an Schöpfwerken (Abb. 11, Abb. 12).



Abb. 11, Abb. 12: Entkrautung zugewachsener Entwässerungsgräben. Aufgrund der hohen Kosten werden die Gräben oft nur auf einer Seite und nur einmal im Jahr entkrautet. (eig. Aufn. nahe Dosse und Jäglitz, Sommer 2002)

Aufgrund der hohen laufenden Kosten, sind die Wartungsarbeiten so stark eingeschränkt worden, dass viele Systeme mittlerweile als marode zu bezeichnen sind (IHU 1997, 39). Zusätzlich tragen ungeklärte Eigentumsverhältnisse dazu bei, dass Tausende von Stauanlagen nicht mehr gesteuert und unterhalten werden (LANDGRAF & KRONE 2002, 440).

Auf extreme Wetterlagen, wirtschaftliche Einbußen sowie den „starken Einfluss durch Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes“ auf die Natur reagierte man im Juni 2000 mit der Einrichtung einer interdisziplinären Projektgruppe „Landschaftswasserhaushalt“ am Brandenburger Agrar- und Umweltministerium. Ihr Auftrag wurde die Erarbeitung eines „Sachstandsberichtes und einer Konzeption zum Umgang mit den knappen Wasserressourcen“ (A&U JOURNAL 2001, 36). Auf ungünstige klimatische und naturräumliche Gegebenheiten, eine intensive Nutzungsgeschichte sowie aktuelle Nutzungsansprüche führt man hier die „besondere“ Situation Brandenburgs zurück. Destabilisierende und stabilisierende Einflussfaktoren auf den gestörten Landschaftswasserhaushalt hat man in diesem Zusammenhang definiert (LANDGRAF & KRONE 2002, 440).

Zu der ersten Kategorie zählt man z.B. Überentwässerungen durch Meliorationen, die sich auf der gesamten Landesfläche als großflächige Grundwasserabsenkungen beobachten und im Mittel auf 54 cm zwischen 1980 und 1999 beziffern lassen (ebd. 435). Grundwasserabsenkungstrichter von Durchmessern bis zu 200 km<sup>2</sup> gelten als direkte Folge von Tagebauten. Darüber hinaus hat man in brandenburgischen Flüssen in den letzten 20 Jahren einen Rückgang der mittleren Jahresabflüsse um 50% festgestellt (A&U JOURNAL 2001, 36). Der Wasserhaushaltsgleichung [615 mm (Niederschlag) – 508 mm (Verdunstung) – 107 mm (Abfluss) = 0] entnimmt man, dass die Abflüsse Brandenburgs im Mittel 192 mm unter dem bundesweiten Durchschnitt liegen (LANDGRAF & KRONE 2002, 437). Als destabilisierend stuft man weiterhin die klimatischen Bedingungen durch geringe Niederschläge und vergleichsweise hohe Verdunstungsprozesse ein. Während die potentielle Verdunstung zwischen 1980 und 2000 um 5% anstieg, ist ein Rückgang des Niederschlags in der Jahressumme um 28% zu verzeichnen (ebd. 436). Die Niederschläge, die weiträumig unter 550 mm/Jahr liegen, werden als „angespannte Rahmenbedingung“ bezeichnet (LUA 2002, Abb. 13).

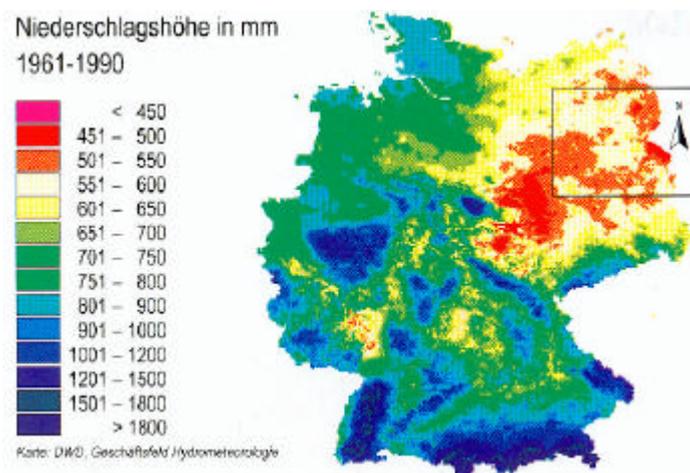


Abb. 13: Niederschlagsverteilung in Deutschland (Quelle: LUA 2002)

Ob die Witterungsverhältnisse der 90er Jahre auf die globale Erwärmung zurückzuführen sind, wird bislang als nicht sicher eingeschätzt. Allerdings prognostiziert das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung in einer Szenarienanalyse einen „weiteren Rückgang der Niederschläge bei gleichzeitigem Anstieg der potentiellen Verdunstung insbesondere ab dem Jahre 2040“ (LANDGRAF KRONE 2002, 441). Auf eine sich weiter verschärfende hydrologische Situation muss sich die Landwirtschaft sozusagen einstellen. Zu den wichtigsten Ansätzen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes zählen der „Wasserrückhalt in der Fläche (Bodenspeicher, Feuchtgebiete)“, die „Erhöhung der Grundwasserneubildung auf Waldstandorten (naturnaher Waldumbau)“ und eine „Abflussreduzierung in den Fließgewässern“ (ebd.).

Paradox erscheint immer wieder der Zusammenhang, der in verschiedenen Artikeln formuliert wird: Brandenburg ist gewässerreich aber wasserarm (LUA 2002, 4).

## 2.2 Wasserwirtschaftliche Grundlagen

Es wird davon ausgegangen, dass „das Wasserdargebot durch natürliche Gesetzmäßigkeiten beherrscht wird, die mit dem Arbeits- und Lebensrhythmus des Menschen und seinem politisch, wirtschaftlich und verkehrsmäßig bestimmten Siedlungsverhalten nur in Ausnahmefällen übereinstimmen, [und dass daraus] zwangsläufig Diskrepanzen zwischen den Realitäten der Natur und den Ansprüchen der Gesellschaft“ ergeben (v. ZABERN 1987, 9). Global betrachtet sind die Beziehungen zwischen dem Menschen und der Natur sozusagen eingebettet in das Spannungsfeld zwischen Dargebot der Natur und den Bedürfnissen der Gesellschaft (ebd.). Das Ziel jeglicher Wasserwirtschaft ist in diesem Zusammenhang der „bestmögliche Ausgleich zwischen dem Wasserbedarf und seiner Deckung aus dem natürlichen Dargebot“, zu dem es wasserwirtschaftlicher Eingriffe bedarf (MANIAK 1997, 6). Wasserwirtschaftliche Praxis definiert sich heute in Deutschland wie folgt:

„Wasserwirtschaft beinhaltet die Umverteilung des natürlichen Wasserdargebots in Zeit und Raum gemäß den Bedürfnissen der Gesellschaft nach Wassermenge und Wassergüte. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen der Wassernutzung (z.B. Trinkwasser, Bewässerung, Wasserkraft) oder zum Schutz vor dem Wasser (z.B. Hochwasser, Vernässung von Böden)“ (SCHULTZ 1993, 363).

Aus diesem Kontext heraus lassen sich die Fragen, bzw. Aufgaben der Wasserwirtschaft in drei wesentliche Bereiche unterteilen: die der Wassermengenwirtschaft (Abflussbeschleunigung, Abflussverlangsamung, Wasserspeicherung, Wassertransfer) der Gewässergüte (Umgang mit Problemstoffen) und der Gewässermorphologie (Gewässerausbau) (KRAEMER 1999, 3).

Die Ingenieurhydrologie, basierend auf der Hydrologie als „Wissenschaft vom Wasser auf und unter der Erdoberfläche“ liefert die für die Wasserbewirtschaftung notwendigen Grundlagen. Die verschiedenen Phasen des Wasserkreislaufs der Erde untersuchend, befasst sie sich vor allem mit den „Prozessen, welche für die Ausschöpfung und Erneuerung der nutzbaren Wasserressourcen maßgebend sind“ (MANIAK 2001, 1).

„Ausreichende“ Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen ist die quantitative Erfassung der Wasserressourcen (UBA 2001, 4). Indem die Erde als geschlossenes System betrachtet wird, lässt sich auch der Wasserkreislauf der Erde in einer idealisierten Form über die Wasserbewegung bzw. –erneuerung beschreiben. Über quantitative Wasserbilanzgrößen (Verdunstung (V), Abfluss (A), Niederschlag (N), Rücklagen (S)) werden Aussagen über das Wasservolumen der Erde und mittlere Verweilzeiten in Jahren bzw. Tagen getroffen (MANIAK 1997: 4). Einzelne Gebiete werden im Gegensatz zur Erde als offene Systeme betrachtet. Unter Verwendung der Wasserhaushaltsgleichung  $[N = A + V + S]$ , die sich auf einen systemtheoretischen „Black – Box – Ansatz“ gründet, kann der Wasserhaushalt eines Gebietes für ein bestimmtes Zeitintervall ebenfalls quantitativ erfasst werden und erfüllt damit die Bedingung als „ausreichende“ Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen zu dienen (UBA 2001, 4).

Da man wasserwirtschaftlichen Projekten stets Auswirkungen auf hydrologische und ökologische Verhältnisse innerhalb eines Einzugsgebietes zuschreibt, gibt es eine Fülle von Gesetzen und Vorschriften, an denen sich wasserwirtschaftliche Planungen orientieren müssen. Die grundlegenden Bestimmungen über die Gewässerbewirtschaftung trifft das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) als Rahmengesetz des Bundes. 1957 erstmals verfasst, heißt es in der Fassung vom 27.7.01 in §1:

„Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und dass jede vermeidbare Beeinträchtigung ihrer ökologischen Funktion unterbleibt.“ (Vorsorgeprinzip)

Das WHG regelt zentrale Aspekte, wovon einige beispielhaft genannt seien:

Das WHG unterstellt Gewässer vollkommen der staatlichen Aufsicht, woraus sich ergibt, dass Gewässerbenutzungen (z.B. Stoffeinleitungen, Wasserentnahmen) grundsätzlich einer behördlichen Zulassung bedürfen, die wiederum dem Ermessensbereich der jeweiligen Wasserbehörde obliegt. Zum Schutz der Gewässer ist ein solcher Ermessensbereich an bestimmte Mindestanforderungen gebunden, die sich wiederum auf den zahlreichen Regelwerken technisch-wissenschaftlicher Vereinigungen gründen. Als „Regeln der Technik“ haben sie dem „Stand der Technik“ zu entsprechen. Beispielsweise sind für ganz Deutschland raumzeitlich einheitliche (branchendifferenzierte) Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Neben erheblichen Anforderungen für Einleitungen, gehen aus dem WHG auch Vorschriften zum Ausbau von Gewässern oder die Festlegung von Überschwemmungsgebieten hervor. (UBA 2001, 14)

## **2.3 Ziele und Vorstellungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft**

Auf der Suche nach Strategien für die Zukunft wird in jedem Fall eine „nachhaltige Wasserwirtschaft“ angestrebt. Regeln, die für bestimmte Aspekte der Wasserwirtschaft Anforderungen aus Sicht der Nachhaltigkeit formulieren, werden bereits rege aufgestellt, nur eindeutig definiert ist eine „nachhaltige Wasserwirtschaft“ noch nicht (KRAEMER 1999, 5). Da der Begriff der Nachhaltigkeit trotz der Leitbilder der Konferenz in Rio 1992 und der

Enquete Kommission sehr dehnbar geblieben ist - es sozusagen noch immer keine einheitliche Definition gibt, die sich an einem klaren wissenschaftlichen Leitbild orientiert - wurde im Rahmen des Fachgesprächs „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ 1998 der Versuch unternommen, gemeinsame und verbindende Vorstellungen über den Begriff der Nachhaltigkeit speziell für den Bereich der Wasserwirtschaft zu bündeln. Definiert als „integrierte Bewirtschaftung aller künstlichen und natürlichen Wasser(teil)kreisläufe“, soll eine nachhaltige Wasserwirtschaft demnach drei wesentliche Ziele beachten (ebd. 5):

- ?? Den langfristigen Schutz von Wasser als Lebensraum bzw. als zentrales Element von Lebensräumen
- ?? Die Sicherung von Wasser in seinen verschiedenen Facetten als Ressource für die jetzige wie für nachfolgende Generationen
- ?? Die Erschließung von Optionen für eine dauerhafte naturverträgliche, wirtschaftliche und soziale Entwicklung

Um Sachverhalte und Maßnahmen bewerten zu können, haben Experten der deutschen Wasserwirtschaft stärker spezifizierte Leitlinien formuliert: die neun Prinzipien einer nachhaltigen Wasserwirtschaft, die sich untergliedern lassen in ein Regionalitätsprinzip, Integrationsprinzip, Verursacherprinzip, Kooperation- und Partizipationsprinzip, Ressourcenminimierungsprinzip, Vorsorgeprinzip, Quellenreduktionsprinzip, Reversibilitätsprinzip sowie ein Intergenerationsprinzip (ebd. 6). Ihre nähere Beschreibung soll an dieser Stelle nicht erfolgen.

In der Annahme, dass „ökologische, ökonomische, soziale und kulturelle Probleme und ihre Wechselwirkungen nur mit einem ganzheitlichen Ansatz gelöst werden können“, zählt man ergänzend „die Integration der Unversehrtheit der Umwelt, die ökonomische Effizienz und die Gleichbehandlung verschiedener Interessen“ zum Leitbild einer nachhaltigen wasserwirtschaftlichen Entwicklung dazu (MANIAK 2002, 3). Als sinnvolles Leitbild zur Beurteilung eines Ökosystems wird aus hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht der „potentiell natürliche Zustand“ des selbigen als sinnvoll erachtet. Indem die Idealvorstellung eines natürlich unbeeinflussten Ökosystems das Maximum auf der Werteskala bildet, soll dann die Natürlichkeit bzw. Naturnähe eines Ökosystems als Bewertungskriterium dienen (RÖTTCHER 2002, 1257).

Infolge der beschriebenen Zielrichtungen und der genannten Nachhaltigkeitsprinzipien haben Aktualität und Dringlichkeit „wasserwirtschaftlicher“ Probleme zugenommen (KRAEMER 1999, 13). In den nachfolgenden Kapiteln werden sie näher beschrieben.

## **2.4 Situation in Deutschland - Probleme, Herausforderungen, Strategien**

Die in den letzten Jahren in Brandenburg aufgetretenen Wassermangelsituationen gelten für Deutschland als einzigartig (LANDGRAF & KRONE 2002, 435). Ein direktes Problem stellt der Wassermangel jedoch in ganz Ostdeutschland dar, so dass dieser Problematik mittlerweile auch auf Bundesebene ein entsprechender Stellenwert eingeräumt wird (KRAEMER 1999, 9). Deutschland insgesamt zählt sich zu den wasserreichen Ländern, das „im Hinblick auf die Wassermenge im Allgemeinen keine Probleme“ hat (UBA 2001, 3).

Berücksichtigt wird, dass das Wasserdargebot in den einzelnen Regionen Deutschlands, z.B. hinsichtlich Niederschlagsmenge, Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen oder Verfügbarkeit von Oberflächengewässern, erheblich differiert (ebd. 7). Von einem gestörten Wasserhaushalt spricht man auf Bundesebene eher selten, dafür allerdings von erheblichen „Umweltauswirkungen“ wasserwirtschaftlicher Praxis (KRAEMER 1999, 13). „Die Hauptsorge gilt im dichtbesiedelten, hochindustrialisierten Deutschland nach wie vor der Wasserqualität und der Struktur der Gewässer“ (UBA 2001, 3).

Trotz der hohen Investitionen, insbesondere der letzten 10 Jahre (z.B. in Kläranlagen in Ostdeutschland), ist man zu der Erkenntnis gekommen, dass der Gewässerschutz eine Daueraufgabe bleibt (ebd.). Erkennt man für einzelne Substanzen Erfolge politischer Bemühungen, scheint sich die Gesamtsituation nicht zu entspannen. Neben „diffusen Quellen“ wird auch ein zunehmend „diffuses Substanzspektrum“ zum Problem (KRAEMER 1999, 10). Von dem guten ökologischen Zustand“, wie ihn die Wasserrahmenrichtlinie fordert, sind viele Gewässer in Brandenburg sowie in ganz Deutschland noch weit entfernt (UBA 2001, 4). Maßgebliche Reduzierungen von gefährlichen Stoffen und von Nährstoffen, insbesondere denen aus der Landwirtschaft, stehen aus (ebd. 3).

Ein zentrales Thema sind in diesem Zusammenhang auch Belastungen des Grundwassers (z.B. mit Nitrat). Zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung gilt dem Grundwasser demnach ein besonderer qualitativer und quantitativer Schutz (ebd.). Da die Grundwasserneubildungsrate die Entnahmerate oftmals übersteigt, werden trotz lokaler Übernutzungsprobleme der Grundwasservorräte, mengenmäßige Versorgungsengpässe kaum erwartet. Der Erhalt von Flächen zur Grundwasserbildung ist dabei von großer Bedeutung (A&U JOURNAL 2001, 37). Dort, wo die Versorgung aus lokalen Ressourcen, z.B. auch aufgrund von Qualitätsproblemen, nicht gesichert werden kann, kommen Talsperren und Fernversorgungsleitungen zum Einsatz (UBA 2001, 29).

Bezüglich der Gewässerstrukturen, werden neben den „unverkennbaren Spuren“ (KRAEMER 1999, 9), die die Wasserregulierungen für Binnenschifffahrt und Elektrizitätswirtschaft hinterlassen haben, die Eingriffe durch den Hochwasserschutz rückblickend als am schwerwiegendsten bezeichnet (ebd.). Für den zukünftigen Schutz von Gewässern setzt man im Rahmen eines integrierten Ansatzes für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen neben der weiteren „Verbesserung des ökologischen Zustandes“ auf eine „Verbesserung und Wiederherstellung natürlicher Lebensräume“ sowie einen „ganzheitlichen Hochwasserschutz“ (UBA 2001, 18). Zu den bestehenden Hochwasserproblemen heißt es : „Eine Vielzahl gravierender anthropogener Eingriffe [...] führte in langjährigen Prozessen zum Verlust von Überschwemmungsflächen und zur elementaren Veränderung des an die Landschaft und die jahreszeitlichen Rhythmen angepassten Abflussverhaltens der Gewässer“ (ebd.). Die Auswirkungen des Elbhochwassers mögen diesen Zusammenhang einmal mehr bestätigt haben. Zumindest ist die Erkenntnis gereift, „dass eine rein technische Herangehensweise nicht die gewünschten Ergebnisse erbringt“ (KRAEMER 1999, 7). Bezüglich eines ganzheitlichen Hochwasserschutzes strebt man nun eine „ausgewogene Kombinationen von Maßnahmen am Fluss, im Einzugsgebiet und in den gefährdeten Bereichen an“. Technischer Hochwasserschutz und Maßnahmen zum Gebietswasserrückhalt sollen sich dabei ergänzen (UBA 2001, 18).

So wichtig der Bereich der Entwässerungen lange Zeit war, so wenig Aktivitäten zeichnen sich in diesem Bereich nunmehr ab. Wesentlich bedingt die nahezu „vollständige Verwirklichung bestimmter Nutzungsinteressen“ diesen Umstand. Kommunen haben ihre Gewässer weitgehend ausgebaut, die weiträumige landwirtschaftliche Flurbereinigung [Schaffung von optimal erschlossenen, den jeweiligen Produktionsbedingungen sowie den technischen Erfordernissen angepassten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungseinheiten, die nach Form, Geländegestaltung und Bodenverhältnissen möglichst einheitlich und von natürlichen und anthropogenen Hindernissen bereinigt sind (DÖRTER 1986, 248)] ist „praktisch beendet“ (UBA 2001, 7). Allerdings erkennt man die abflussbeschleunigenden Maßnahmen (z.B. Entwässerung) mittlerweile auch als großräumiges Phänomen, das dazu geführt hat, dass „das Element Wasser vielfach aus dem Landschaftsbild verschwunden ist und als Kulturelement an Bedeutung verloren hat“ (KRAEMER 1999, 8). Als notwendig werden nun auch hier Rückbau, bzw. Renaturierungsansätze ehemals propagierter Maßnahmen wasserwirtschaftlicher Praxis erachtet, die darauf zielen „naturnahe“ Strukturen wiederherzustellen. Neben einer Revidierung vieler im Rahmen der Flurbereinigung durchgeführten Maßnahmen, erhofft man sich mit diesem Ansatz, die Stagnation beim Ausbau kleiner Gewässer zu überwinden (ebd.).

Gefahren einer Klimaänderung als Folge steigender Treibhausgasemissionen gelten als wissenschaftlich unbestritten. (UBA 2001, 27). Neben einer Erwärmung sowie erhöhten Verdunstungs- und Niederschlagsraten (GÜNTHER & STALMANN 2002, 996), rechnet man mit „einer deutlichen innerjährlichen Verschiebung des Niederschlagsregimes und mit einer zunehmenden Variabilität im Bereich von Starkniederschlägen, was zu einer Zunahme von Extremereignissen führen wird“ (UBA 2001, 27). Solche Ansätzen, die der gedanklichen Kette: Treibhausgase -> Klimaveränderungen -> Veränderungen lokaler Wasserhaushalte folgen, bringen Forschungsprojekte hervor, die sich an den „zu erwartenden“ Veränderungen lokaler Wasserhaushalte als zukünftige Rahmenbedingung orientieren. Dazu gehört z.B. ein aktuelles Forschungsprojekt zur „Optimierung der Landnutzung im Spreewald bei verändertem Wasserdargebot“. Mit Hilfe von Szenarien sollen Möglichkeiten der Anpassung der Landnutzung an ein verringertes Wasserdargebot untersucht werden.

In der Vergangenheit war es im Rahmen wasserwirtschaftlicher Praxis meist möglich, einen Ausgleich zwischen den sich teils widersprechenden Nutzungsanforderungen zu erzielen, so dass die Wasserwirtschaft auch „kaum jemals in der Bundesrepublik zu den gesellschaftlichen Spannungsfeldern gehört hat“ (KRAEMER 1999,13). Allerdings sieht man die zunehmend thematisierten Umweltauswirkungen als „ein Indiz für das Übergewicht, das Nutzungsinteressen gegenüber Schutzinteressen“ dabei gehabt haben. Hohen Belastungen, denen aquatische Ökosysteme heute unterliegen oder auch die Tatsache, dass der ursprüngliche Zustand der Gewässer fast nirgends bewahrt werden konnte, werden als Beispiele für Resultate von Kompromissen genannt, die oftmals auf Kosten des Gewässerschutzes erfolgten (ebd.,13).

## **2.5 Schwierigkeiten bei der Umsetzung einer „nachhaltigen Wasserwirtschaft“**

Aus wasserwirtschaftlicher Perspektive wird als großer Nachteil bei der Umsetzung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft das „unzureichende politische Gewicht der Wasserwirtschaft gesehen“. Kaum wahrgenommen als eigenständiges Politikfeld, wird das Fehlen einer „starken homogenen Lobby“ problematisiert (KRAEMER 1999, 14).

Die faktische Beachtung bzw. Nicht-Beachtung der einzelnen Nachhaltigkeitsprinzipien erfolgt unabhängig von ihrer formalen Gültigkeit (ebd., 17) erfolgt. Während sich einige Prinzipien von Anfang an auf ein rechtliches Fundament stützen konnten und damit auch weithin beachtet werden (z.B. das Vorsorgeprinzip), sind andere erst wenig bekannt und werden somit auch leicht vernachlässigt (z.B. das Reversibilitätsprinzip) (ebd., 17). Es wird argumentiert, dass gerade die engeren Bereiche der Wasserwirtschaft (z.B. Träger der Gewässerunterhaltung und des Wasserbaus) bereits in vielerlei Hinsicht auf Umweltbeeinträchtigungen reagiert haben, während von „außen“ in einer „besonders gravierend“ zu bezeichnenden Weise gegen das Leitbild wasserwirtschaftlicher Nachhaltigkeit verstoßen wird. Besonders kritisch wird sich über Wirtschaftszweige wie die Landwirtschaft oder die Binnenschifffahrt geäußert, die einerseits direkt auf die Gewässer einwirken und andererseits in ihrem Verhalten ein mangelndes Problemverständnis zeigen und damit das Leitbild einer nachhaltigen Wasserwirtschaft – egal ob sie es vorher anerkannt hatten oder nicht – hinter anderen Zielvorstellungen zurückstellen (ebd., 18).

Die grundlegende Problematik, dass Eingriffe in den Wasserhaushalt im Rahmen der Wassermengenwirtschaft im Grunde genommen von vorn herein „gewünscht“ (ebd., 10) sind, lässt sich aus wasserwirtschaftlicher Perspektive nur durch das Ressourcenminimierungsprinzip lösen. Eine vollständige Beseitigung der Umweltfolgen ist [allerdings] bei vielen wassermengenwirtschaftlichen Eingriffen kaum denkbar“ (ebd.). Restriktionsansätze wurden bereits vorgeschlagen und teilweise umgesetzt. Nutzungseinschränkungen und verschärfende Verordnungen für die Landwirtschaft oder auch Ausbaustops und Nutzungseinschränkungen für die Binnenschifffahrt seien hier nur als Beispiele genannt (ebd., 22).

## **2.6 Konfliktfelder**

Trotz interdisziplinärer Ansätze und im Bewusstsein bestimmter Wechselbeziehungen, ist das Feld der Konflikte und Ungereimtheiten groß. Aus den verschiedensten Bereichen kommt Kritik zu den Restriktionsansätzen. Statt konkrete Kriterien zu haben, an denen sich zukünftige Maßnahmen messen lassen können, sieht man sich an einer Weiterentwicklung im Wasserbau direkt behindert (HARMS 1999, 47).

Unklar erscheinen Fragen wie sich Ökosysteme innerhalb unserer Landschaften - die man in weiten Teilen eher als „Kulturlandschaft“, weniger als „reine Naturlandschaft“ sieht - stabilisieren lassen sollen (ebd., 48). Zweifelnd äußert man sich, inwiefern eine Landschaftspflege als „Ausgabe des Naturschutzes“ überhaupt finanzierbar sein kann (NEIDHART 1999, 63). Auch werden die vorgeschlagenen Konkretisierungen des Nachhaltigkeitsbegriffs an sich kritisiert, weil Transparenz fehlt und „Handlungsempfehlungen [z.B.] kollidieren, ohne dass sie thematisiert würden“ (z.B.

Ausbaustop von Wasserstraßen versus Reduktion des Straßenverkehrs) (LÜDEKE 1999, 26). Weiterhin ergeben sich oftmals Schwierigkeiten, wenn bestimmte Maßnahmen durch die angesetzten Maßstäbe auf Nachhaltigkeit beurteilt werden sollen. Beispielsweise erscheint die quantitative Bewertung der Funktionsfähigkeit eines Ökosystems über den „potentiell natürlichen Zustand“ nur in relativ kleinen Teilbereichen möglich“ (MANIAK 2001, 34). Als Grund wird ein oftmals „fehlender Referenzrahmen in der überwiegend anthropogen gestalteten Umwelt“ sowie „die eingeschränkte Repräsentanz der biotischen und abiotischen Parameter des gesamten Ökosystems“ genannt (ebd.).

Ungelöste Zielkonflikte sieht man z.B. bei Flächenansprüchen bezüglich Grundwasserneubildung und Wasserrückhalt. Dreht es sich um Wasserkraft, stehen sich Klimaschutz und Gewässer- und Naturschutz gegenüber (UBA 2001, 22). „Oft können die hohen Ansprüche von der Natur gar nicht befriedigt werden“ heißt es zu vielfältigen Maßnahmen im Gewässerbau, die auf ein „natürliches Gleichgewicht in mechanischer und ökologischer Hinsicht zielen“ (BRETSCHNEIDER 1993, 471). Dazu heißt es an anderer Stelle: „Meistens wird eine Kompromisslösung zu finden sein [...], der Planer muss alle wichtigen Auswirkungen einer Baumaßnahme an einem Gewässer erkennen, um überhaupt in der Lage zu sein, geeignete Lösungsvorschläge ausarbeiten zu können, die den ökologisch orientierten Zielsetzungen einer modernen Fließgewässergestaltung entsprechend Beachtung schenken (POTT ET AL 1998, 2).

Im Rahmen der interdisziplinär schon fortgeschrittenen Untersuchungen des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg stellte man fest, dass in den Feldern Grundwasserstand, Wassermenge und Aufwand der Wasserbewirtschaftung ein besonders hohes Konfliktpotential steckt. Außerdem machte man deutlich, dass sich zwei Interessengruppen nach ihrem Interesse an einer stark, bzw. weniger stark regulierten Wasserbewirtschaftung kategorisieren lassen. Landwirtschaft, Bergbau, Schifffahrt, Kommunen und Industrie zählt man zu der ersten, Forstwirtschaft, Fischereiwirtschaft, Tourismus, Bodenschutz, Naturschutz und Ökosystemschutz zu der zweiten Gruppe. Vorschläge, die das Konfliktpotential minimieren sollen, wurden in diesem Zusammenhang für die betroffenen Interessengruppen beschrieben (LANDGRAF & KRONE 2002, 441). In Brandenburg zielt man darauf hin, dass die Wasserwirtschaft zukünftig „nicht mehr hauptsächlich von der Landwirtschaft, sondern von allen Interessengruppen einschließlich der Ökologie gleichermaßen gesteuert wird“ (ebd. 435).

## **2.7 Fazit**

In den letzten Jahren, bzw. Jahrzehnten wurden viele Probleme thematisiert, viele Ansätze zu ihrer Lösung vorgeschlagen, neue Ziele formuliert und neue Rahmenbedingungen geschaffen. Mit der Zeit ist der Eindruck entstanden, dass das wasserwirtschaftliche Vorsorgeprinzip (Kap 2.2) nicht ausreicht, um den Vorgaben, den durch das Wasserhaushaltsgesetz Wirkung verliehen wird, genügend Beachtung zu schenken. Die verschiedenen „Nutzungsinteressen“ ließen sich nicht in die geforderten Bahnen lenken. Um wasserwirtschaftlich bedingten Umweltauswirkungen (Kap 2.4) zukünftig Einhalt zu gebieten,

hat man sich – wie viele andere Bereiche auch – das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung zum Ziel gesetzt.

Die Erarbeitung nachhaltiger Strategien ist zu einem Kernziel geworden. Dabei bemüht man sich interdisziplinär vorzugehen. Einigkeit besteht meist darüber, dass Schutz- und Nutzungsinteressen neu gewichtet werden müssen. Wie das allerdings genau aussehen und funktionieren soll, ist in vielerlei Hinsicht strittig (Kap 2.5, 2.6).

So ist in diesem Zusammenhang bislang die Frage nach Richtungssicherheit weithin offen geblieben, zu der sich Oliver Harms vom Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik im Rahmen des Fachgesprächs „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ 1998 folgendermaßen äußerte: „Die wasserbaulichen Maßnahmen, die heute teilweise als Fehler betrachtet werden, weil sie ökologischen oder nachhaltigen Prinzipien nicht entsprechen, waren vor 200 Jahren fortschrittlichen Taten, die gerade auf das Wohl der zukünftigen (unserer!) Generationen gerichtet waren“ (HARMS 1999, 51).

Offen geblieben sind ebenfalls grundsätzliche Fragen bezüglich der „Schutzinteressen“ selbst. Um diese klar definieren und den Nutzungsinteressen klare Maßstäbe an die Hand geben zu können, scheinen die Schutzinteressen in ihrer Bandbreite einerseits zu komplex, andererseits in sich zum Teil sehr widersprüchlich.

Naturschutz, Umweltschutz, Klimaschutz – hinter all diesen Bemühungen steckt ein Interesse die scheinbare Kluft zwischen Mensch und (seiner) Natur zu überwinden. In der Wasserwirtschaft ist diese Kluft durch „Spannungen zwischen den Bedürfnissen der Menschen und dem Wasserdargebot der Natur“ (Kap 2.2) erkennbar. Viele Bestrebungen im Rahmen wasserwirtschaftlicher Praxis wie auch aller anderen Bereiche, die Einfluss auf den Naturraum nehmen, konzentrieren sich ganz selbstverständlich darauf, die Folgen negativer Umwelteinwirkungen in Grenzen zu halten, sie weitestgehend zu unterbinden und sie zu kompensieren. Unüberwindbar scheint die Diskrepanz zwischen dem Streben nach wissenschaftlich – technischem Fortschritt und dem Wunsch, diesen im „Einklang“ mit der Natur zu vollziehen. Ungewiss scheint im Rahmen der verschiedensten Bemühungen, ob die Interessen von Mensch und Natur überhaupt vereinbar sind. Die Wissenschaft gibt heute allen Anlass, diese Annahme grundlegend in Frage zu stellen (Kap 4). Das wissenschaftliche Naturverständnis, das sich bis heute hinter dieser Annahme verbirgt, soll im folgenden Kapitel reflektiert werden.

### **3 Naturverständnis in den abendländischen Naturwissenschaften**

#### **vom wissenschaftlichen Dialog mit der Natur**

Wie man mit Natur umgeht, hängt wesentlich davon ab wie man sie wahrnimmt. So unterschiedlich jeder einzelne für sich Natur wahrnehmen mag, so einheitlich ist doch in vielerlei Hinsicht das Naturverständnis hinter dem gesellschaftlichen Umgang mit der Natur. Das gilt z.B. für das Naturverständnis, das bereits vor Jahrhunderten zur erheblichen Geschwindigkeit naturwissenschaftlich-technischen Fortschritts beigetragen hat, es jedoch kaum vermochte, dem Menschen ein Leben und Wirtschaften „im Einklang mit der Natur“ näher zu bringen. Die Entwicklung eines wissenschaftlichen-technischen Naturverständnisses, das bis heute Urteile, Meinungen und Verhaltensweisen gegenüber der Natur stark prägt, wird im folgenden in Ansätzen transparent gemacht. Inwieweit ein neuer Dialog mit der Natur, der das „mechanistische“ Naturverständnis zu überwinden vermag, heute möglich ist und inwieweit er gleichzeitig behindert wird, soll sich dabei zeigen.

#### **3.1 Naturerfahrung und Naturnutzung**

Blickt man zurück in die Geschichte, stellt man fest, dass zu allen Zeiten und unabhängig vom philosophischen Naturverständnis Nützlichkeitsüberlegungen der beherrschende Aspekt des Mensch-Natur-Verhältnisses waren. „Diese beruhten auf schlichten physischen Notwendigkeiten und auf der Abwehr von Gefährdungen, die von der Natur ausgingen“ (HEILAND 1992, 86). Gelenkt wurden Naturvölker wie Jäger-und-Sammler-Gesellschaften direkt durch verschiedenste Rhythmen, die ihre subjektive Wahrnehmung prägten. So wurde z.B. ihr Zeitempfinden maßgeblich durch Rhythmen beeinflusst, wie sie durch die Wiederkehr von Tag- und Nacht oder die Jahreszeiten in Erscheinung treten. Gefordert waren sie andererseits sich auf Rhythmen von Tierwanderungen und Pflanzenwachstum einzustellen, um ihre Versorgung mit Nahrung gewährleisten zu können.

Trotz einer direkten Abhängigkeit von der Natur, blieben Übernutzungen nicht aus und zwar gerade dann, wenn das zeiträumliche Ressourcenangebot unbegrenzt erschien, bzw. geringe Bevölkerungsdichten oder kriegerische Eroberungen ein Erschließen neuer rohstoffreicher Gebiete ermöglichten (ebd. 87). Verhaltensänderungen hin zu einem Wirtschaften im „Einklang mit der Natur“, gingen oftmals Erfahrungen voraus, in denen sich die Menschen bestimmter natürlicher zeiträumlicher Begrenzungen (z.B. Bodendegradation) „schmerzlich“ bewusst wurden. Wann immer solche Begrenzungen erkannt und akzeptiert wurden (z.B. die regelmäßigen Überschwemmungen bei den Ägyptern), war eine wesentliche Voraussetzung geschaffen, dass sich Lebensgemeinschaften, bzw. Hochkulturen entwickelten, die sich eine langfristige Nutzung ihrer natürlichen Ressourcen ermöglichten (ebd.). Ähnlich wie bei den Ägyptern (Kap 1.1) spiegelt sich ein Anerkennen solcher Begrenzungen in den Mythen, bzw. spirituellen Lebensphilosophien solcher Völker wieder (ebd. 75).

Neben einem „Einklinken“ in verschiedene Rhythmen der Natur, spielte der Einsatz von Technik im täglichen Leben und Überleben ebenfalls seit frühester Menschheitsgeschichte eine wesentliche Rolle. Der deutsche Biophysiker und Philosoph Dessauer hat Technik in

diesem Sinne zum „Urhumanum“ erklärt. Mit ihrer Hilfe versuchten die Menschen ihre Kräfte, Leistungen und Fähigkeiten im Umgang mit der Natur zu steigern (GLOY 1995a, 237). Entwicklungen und Einsatz neuer Techniken konnten einen erheblichen Einfluss auf kulturelle Entwicklungen haben. Von welcher Art der Einfluss war, hing allerdings in einem erheblichen Maße davon ab, ob er eine Richtung einschlug, die mit einer Anerkennung oder eher einer Überwindung natürlicher Begrenzungen verbunden war (Beispiel Überschwemmungen Kap 1.1). Nutzte man Techniken zur Überwindung naturräumlicher Grenzen, konnte sich ein oftmals schnell eintretender Zugewinn an zeit-räumlichen Freiheitsgraden, bzw. an Unabhängigkeiten gegenüber natürlichen Gegebenheiten, langfristig als sehr trügerisch erweisen (Kap 1). Noch schneller veränderten sich allerdings oftmals Interessen und Bedürfnissen in der Gesellschaft, die wiederum neue Wertvorstellungen erforderlich machten und wiederum neue Techniken hervorbrachten. Wann immer technische Entwicklungen jedoch eine Gewinnung zeiträumlicher Freiheitsgrade zu bedeuten schienen, indem sie direkte Vorteile zur Nutzbarmachung natürlicher Ressourcen bedeuteten, wurden sie auch eingesetzt (GLOY 1995a, 63).

### **3.2 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung - Anfänge naturwissenschaftlichen Denkens**

Der Einfluss naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung auf die Wahrnehmung der Natur hat seine Ursprünge im 6. Jh. vor Chr., dem Beginn philosophisch – wissenschaftlichen Denkens (GLOY 1995a, 17). Getrieben von einem Drang nach Erkenntnis versuchte man in der griechischen Antike erstmals, das Zusammenspiel im Universum mit Hilfe der Vernunft und ohne Rückgriff auf Götter, Magie oder übernatürliche Kräfte zu deuten (COVENEY & HIGHFIELD 1994, 48). Man begann Lebenszusammenhänge kritisch zu hinterfragen, wollte sich von althergebrachten Lebens- und Denkweisen lösen und forderte eine Verselbständigung im Denken und Handeln (GLOY 1995a, 73). Auf der Suche nach einer Wahrheit, „die weder entsteht noch vergeht“, betrachtete man die Natur (griech. „physis“) als jenen Teil der Welt, „in dem Vorgänge selbstständig, ohne Einwirkung des Menschen geschehen“ (HEILAND 1992, 16). Das Wasser deutete der Naturphilosoph Thales von Milet (ca. 640-545 vor Chr.) als „Urgrund allen Seins“. Statt einer mythischen Betrachtungsweise lieferte er erstmals eine stoffliche Auffassung dieses Mediums.

Wissenschaft hatte neben einer reinen Erkenntnisgewinnung die Aufgabe einer „ethisch-sittlichen“ Orientierung zu erfüllen. Dabei stand die Sinnfrage des „Wozu?“ wesentlich stärker im Vordergrund als die Frage des „Wie?“, die sich vor allem der praktischen Nutzbarkeit von Erkenntnissen widmet (HEILAND 1992, 21). Da man die Natur im Gegensatz zu Kultur und Technik als vom Menschen unabhängig betrachtete, ließ sie sich auch nur als passiver Beobachter und nicht durch ein Experiment, das einen automatischen Eingriff in das Naturgeschehen bedeutete, erfahren. In diesem Sinne befand sich Technik von vornherein im Gegensatz zu einem Einklang mit der Natur (ebd.). Damit verbargen sich hinter dem Freiheitsgedanken durch die „Kunst von Technik und Mechanik“ in der Antike Prinzipien zur Überlistung der Natur (GLOY 1995, 169). Physik als Naturwissenschaft und Mechanik als der Einsatz von Technik standen einander gegenüber, waren zwei verschiedene Disziplinen, von denen sich die eine mit natürlichen Bewegungen, die andere mit naturwidrigen befasste.

### **3.3 Mechanisierung des Weltbildes**

#### **3.3.1 Kopernikanische Wende**

Die Entdeckungen des Mathematikers und Astronoms Nikolaus Kopernikus (1473-1543) leiteten im 16. Jh eine radikale Revolutionierung des Weltbildes ein, eine Phase, die heute auch als Mechanisierung des Weltbildes bezeichnet wird. Begriff man die Erde und damit auch die Menschheit vorher als Mittelpunkt des Universums und die Rhythmen zwischen Tag und Nacht als einen scheinbaren Umschwung des Himmels, stellte die Erde sich nun als ein in sich drehender Planet dar, der sich wiederum um die Sonne als Mittelpunkt des Universums drehte (SHELDRAKE 1998, 40). Kopernikus war überzeugt, dass allen Naturprozessen einfache geometrische Prinzipien und Beziehungen zu Grunde liegen (HEILAND 1992, 33).

Mit seinen Gesetzen zur Beschreibung der Planetenbewegungen belegte und erweiterte Kepler (1571-1630) allerdings erst viele Jahre später die Erkenntnisse des Kopernikus. Er ließ die Vermutung näher rücken, dass sich hinter den „regelmäßigen“ Bewegungen der Himmelskörper, die wie ein vollkommener, ewig gleichbleibender und unabänderlicher Zustand erschienen, eine mathematische Ordnung des Universums verbarg (SHELDRAKE 1998, 41).

Galilei (1564-1642), der heute auch als „Vater der modernen Wissenschaft und Technik“ bezeichnet wird, verhalf dem Werk des Kopernikus endgültig zum Durchbruch. (GLOY 1995b, 238) Er betrachtete die Mathematik als die Sprache, in der das „gesamte Buch der Natur geschrieben sei“ und auf deren Grundlage sich uneingeschränkt gültige Naturgesetze erfassen lassen. (HEILAND 1992, 33) Um diese aus den natürlichen Erscheinungen herauszufiltern bediente er sich folgender wissenschaftlicher Methode: Zur zentralen Fragestellung wird das „messbare Wie?“. Zur Formulierung einer mathematischen Hypothese werden einzelne Vorgänge aus ihrem Gesamtzusammenhang herausgelöst, indem man sie von störend wirkenden natürlichen Einflüssen isoliert. Zur ihrer Überprüfung dient das von ihm geschaffenen Experiment, das sich dem Einfluss des Beobachters entziehen sollte, als wesentliche Grundlage universeller Legitimation wissenschaftlicher Erkenntnis.

Durch diese Abstrahierung alltäglicher Erfahrung über eine Vereinfachung bzw. Reduzierung der Natur wurde die Erfassung einer ungeheuren Zahl praktischer Erkenntnisse möglich (GLOY 1995b, 171). Wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung gründete Galilei auf eine scharfe Trennung innerhalb der menschlichen Auffassungsgabe, indem er alles Mathematische, Absolute, Objektive und Unwandelbare dem Bereich göttlicher und menschlicher Erkenntnis zuteilte, alles Relative, Subjektive und Fluktuierende dagegen dem Bereich von Meinung und Täuschung (SHELDRAKE 1998, 43). Er fragte nicht länger nach dem „Wozu?“ eines Naturprozesses und grenzte damit wesentliche Fragestellungen menschlichen Lebens aus der Wissenschaft aus (HEILAND 1992, 34). Gleichzeitig fügte er zusammen, was man in der Antike noch strikt voneinander getrennt hatte: Naturerklärung und mechanistische Erklärung. Er machte die Mechanik zur zentralen Wissenschaft der Physik und setzte damit die Wissenschaft von Maschinen mit der Wissenschaft von der

Natur gleich. Die Vorstellung von der Überlistung der Natur durch die Anwendung von Technik wurde hinfällig. Die Vorstellung von ihrer Nachahmung rückte stattdessen in den Vordergrund (GLOY 1995b, 170). Galileis Einsichten in die Ausnutzung wirksamer Gesetzmäßigkeiten, Kräfte und Bewegungen (ebd. 238) schienen dazu auszureichen.

### **3.3.2 Die Welt als Uhrwerk**

In der mathematischen Erkenntnis Gewissheit und Wahrheit findend, führte der französische Philosoph Descartes (1596-1650) die Gedanken des Galilei weiter. Er formulierte die Aussage: „Die Gesetze der Mechanik sind identisch mit denen der Natur“ (AUGROS & STANCIU 1998, 13) und präsentierte seinerseits eine ganz neuartige Sicht auf die zu seiner Zeit bekannten physiologischen Erkenntnisse (GLOY 1995b, 171). Zur Beschreibung von Prozessen wie der Bewegung des Blutes oder der Fortbewegung von Tieren übertrug er die mechanischen Bewegungsprinzipien direkt auf Lebewesen und damit auf die Biologie. Das Universum unterteilte er in die Kategorien Materie und menschlicher Geist. Zur Materie gehörten damit auch Pflanzen, Tier und menschlicher Körper. Redeweisen wie die einer „Tier-Mensch-Maschine“ erlangten durch ihn eine Legitimation im allgemeinen Sprachgebrauch (ebd.). Die wissenschaftliche Methodik Galileis fortführend, legte Descartes darüber hinaus die Grundlage für ein wissenschaftliches Selbstverständnis, dem zu Folge die Natur völlig objektiv und unabhängig vom Betrachter beschrieben werden konnte (HEILAND 1992, 37).

Von dem englischen Politiker und Philosoph Francis Bacon (1561-1626) stammt der bekannte Ausspruch: „Wer die Natur beherrschen will, der muss ihr gehorchen“. In dem Glauben die Natur als Maschine durchschaut zu haben, ihren mechanistischen Gesetzmäßigkeiten demnach Folge leisten zu können, versprach er sich durch eine technische Beherrschung der Natur den Fortschritt der „gesamten Menschheit“ (SHELDRAKE 1998, 64). „Als Verkörperung von Ordnung, Gerechtigkeit und Autonomie wurde die Uhr zum Synonym einer ebenfalls als geordnet, geregelt und autonom erscheinenden Welt (GLOY 1995b, 168). Der Mensch als „maistre et possesseur de la Natur“ (Herr und Besitzer der Natur) wie es bei Descartes heißt, wurde zum Leitbild der neuzeitlichen Weltansicht (ebd.,177).

### **3.3.3 Durchbruch naturwissenschaftlich technischen Denkens**

Die Erkenntnisse des englischen Physikers, Mathematikers und Astronoms Isaak Newton (1643-1727) waren für den wissenschaftlich technischen Fortschritt bahnbrechend. Zum einen wurden seine wissenschaftlichen Methoden, die stets ein Zusammenspiel aus Analyse und Synthese bildeten, zur Voraussetzung für Wissenschaftlichkeit an sich. Zum anderen führten seine Erkenntnisse dazu, dass sich das mechanistische Naturverständnis endgültig durchsetzte (HEILAND 1992, 37).

Über die gesetzmäßigen Einsichten in das Wirken der Gravitationskräfte zeigte Newton, dass sich die Gesetze der Planetenbewegungen auf die gleichen Prinzipien zurückführen lassen wie die Fall- und Bewegungsgesetze auf der Erde (ebd. 38). Dadurch ließ sich die Mechanik der irdischen und der himmlischen Welt sozusagen zu einer Einheit

zusammenfassen (COVENEY & HIGHFIELD 1994, 26). In den berühmten Newtonschen Axiomen formulierte er die drei Grundgesetze der Mechanik über Trägheit, Dynamik und Wechselwirkung. Auf den unveränderlichen Größen des absoluten Raums, der absoluten Zeit und dem Begriff der Masse bauten seine Theorien auf (HEILAND 1992, 116). Indem er die unwandelbare bewegte Materie der Atomisten unter die Herrschaft unwandelbarer nichtmaterieller mathematischer Gesetze stellte, förderte er nicht nur eine rein rationale naturwissenschaftliche Vorstellungen von Ewigkeit (SHELDRAKE 1998, 47). Vor allem lieferte Newton dadurch eine umfassende quantitative Erklärung der Natur und ermöglichte die mathematische Beschreibung eines jeden Naturphänomens.

Aus der Vorstellung ewiger Gesetze in einem ewigen Universum folgte man die Möglichkeit eines exakten Determinismus. Man ging davon aus, dass sich Vergangenheit und Zukunft vollständig errechnen ließen, wenn man zu einem Zeitpunkt alle Orte und alle Bewegungen aller Körper kennen würde (COVENEY & HIGHFIELD 1994, 27). Auftretende Abweichungen sind auf Fehler zurückzuführen und durch Näherungen ausgleichbar. Irreversible Erscheinungen führte man auf besonders „unwahrscheinliche“ Anfangsbedingungen zurück (PRIGOGINE 1985, 12).

Die Ansicht wuchs, dass Wissenschaft zwangsläufig mit einer „Entzauberung“ der Welt verbunden ist. Gleichzeitig schien diese Wissenschaft der Weg zu einer transparenten Natur, die sich kontrollieren und beherrschen ließ (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 38). Die Wahrnehmung einer homogenen, nicht wechselwirkenden Welt, in der ein örtlich begrenztes Experiment die umfassende Wahrheit zu enthüllen vermochte und jederzeit reproduzierbar war, lieferte den Schlüssel zum Verständnis der gesamten Natur (ebd. 51). Wissenschaft wurde von nun an weitestgehend gleichgesetzt mit einer „Wissenschaft im Sinne Newtons“ (PRIGOGINE 1985, 14).

In den gesamten Human- und Geisteswissenschaften, angefangen von der Biologie, Medizin oder Chemie bis in die Ästhetik, Ethik und Psychologie, fassten die mechanistischen Denk- und Erklärungsweisen Fuß (GLOY 1995a, 163). Die Mechanisierung des Staatsmodells durch den englischen Philosophen Hobbes (1588-1679) sei hier nur als Beispiel genannt. Darüber hinaus schien eine Orientierung an den „objektiven“ Methoden der klassischen Physik die Voraussetzung einer wertfreien Analyse (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 302). Diese gründeten sich im wesentlichen auf Verfahren, die einen Prozess zu seiner Erfassung in klar erfassbare und voneinander scharf getrennte Elemente zerlegen, nachfolgend Gesetze für die Kombination dieser Elemente und deren Veränderung einführen und den Prozess schließlich wieder aus diesen Bestandteilen aufbauen (JANTSCH 1982, 1).

Im Prozess wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung war man in vielerlei Hinsicht ein großes Stück voran gekommen. Verstehen wurde dabei allerdings oftmals mit der Entdeckung von Gesetzen gleichgesetzt (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 304). Die Bedeutung der Naturwissenschaften nahm in einem Maße zu, dass es zur Gründung wissenschaftlicher Akademien kam, „die der Institutionalisierung von Wissenschaft und Forschung sowie ihrer technischen Nutzbarmachung dienen sollten“ (HEILAND 1992, 41). Auf diese Art wollte man die „Freiheit der Wissenschaft“ sicher stellen. Völlig frei von ethisch-moralischen, philosophischen oder politischen Fragestellungen sollte Wissenschaft hier wachsen können und im direkten Dienst der Menschheit stehen. Nach mechanistischen Gesichtspunkten erfolgte eine fortschreitende Entschlüsselung der Natur, einhergehend mit dem rasanten Fortschritt technischer Entwicklungen. Die damit verbundenen neuen Möglichkeiten der

Naturnutzung äußerten sich in vielerlei Hinsicht als ein enormer Zugewinn an neuen Freiheitsgraden. „Bis zum Beginn des 19. Jhs. war die Theorie von der Maschine so weit verfeinert worden, dass man die Welt als Perpetuum mobile [Maschine, die ohne Energieverbrauch dauernd Arbeit leistet] betrachten konnte“ (SHELDRAKE 1998,17).

### 3.3.4 Beständigkeit des mechanistischen Naturverständnisses

Die Erfindung und Konstruktion der Dampfmaschine durch James Watt im Jahre 1782, die die industrielle Revolution und damit den Übergang der Agrar- zur Industriegesellschaft einleitete, beschrieb einen neuen Meilenstein im Rahmen des technisch-naturwissenschaftlichen Fortschritts. Andererseits führte ihre Erfindung schon bald dazu, dass die klassische Physik in ihrer Gültigkeit für die Erklärung der Naturvorgänge erstmals relativiert werden musste.

Um die Leistung einer solchen Maschine berechnen zu können, entwickelte sich die Thermodynamik als „Lehre von der Bewegung der Wärme“ (COVENEY & HIGHFIELD 1994, 191). Nach ihrem I. Hauptsatz bleibt Energie bei einer Umwandlung (z.B. Verbrennung von Kohle) zwar stets erhalten. Nach ihrem II. Hauptsatz wird sie dabei jedoch irreversibel zerstreut (dissipiert) (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 120). Den Prozess der Energieumwandlung deutete man von nun an als unausweichlichen Verlustprozess. Er schien stets mit einer Zunahme an Entropie (Chaos) verbunden. „Für das Industriezeitalter wurde die Natur zu einem stets von Erschöpfung bedrohten Reservoir an Energie“ (ebd. 120). Dass sich die Vorstellung einer Welt als Perpetuum mobile, die in sich statisch war und auf reversiblen Prozessen aufbaute, nicht länger aufrechterhalten ließ, wurde von vielen Naturwissenschaftlern allerdings lange kaum zur Kenntnis genommen (ebd. 21). Die uneingeschränkte Herrschaft des Glaubens an Fortschritt, Wachstum und Wissenschaft im 19. Jh. mag wesentlich dazu beigetragen haben. „Viele Forscher vergaßen, dass die Naturwissenschaft lediglich eine bestimmte Methode zur Erlangung einer bestimmten Erkenntnis in einem bestimmten Bereich ist“ (HEILAND 1992, 62).

In seinem Werk „Die Entstehung der Arten“ brachte Darwin 1858 erstmals den Gedanken der Evolution ein. Es war eine Evolutionstheorie unter der Randbedingung eines mechanischen Universums, das sich nicht entwickelte, „allenfalls abließ und irgendwann stehen bleiben würde“ (SHELDRAKE 1998, 19). In diesem Werk zeigte Darwin, dass die belebte Natur im Laufe der Zeit durch „das blinde Wirken natürlicher Auslese“ (ebd. 77) höhere Ordnungen und damit komplexere Lebewesen hervorbringt (COVENEY & HIGHFIELD 1994, 197). Eine Entwicklung hin zu höherer Ordnung war eine mit der Gleichgewichtsthermodynamik kaum zu vereinbarende Idee, so dass Darwin seine Aussagen auf alles Irdische zu beschränken hatte. Die Evolution führte Darwin auf einen harten Konkurrenzkampf zurück, dem „universellen Kampf ums Dasein“. Über die Natur schrieb er: „Die gesamte Natur steht im Krieg, ein Lebewesen mit dem anderen oder mit der äußeren Natur“. Diesen Konflikt zwischen Lebewesen sah er als Folge des angespannten Verhältnisses zwischen den beschränkten Ressourcen und dem unbeschränkten Populationswachstum. (AUGROS & STANCIU 1988, 120)

In der ersten Hälfte des 20sten Jhs. führten zwei neue physikalische Theorien dazu, dass die klassische Physik weiter relativiert werden musste. Mit Einsteins Relativitätstheorie ließ sich die Vorstellung von Raum, Zeit und Masse als absolute Größen nicht länger aufrecht erhalten. Statt dessen erwiesen sie sich als abhängig von der relativen Bewegung eines Körpers gegenüber einem Beobachter (HEILAND 1992, 116). Von nun an bedurften sie sozusagen eines definierten Bezugsrahmens (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 227). Mit der Quantentheorie ließen sich der Glaube an die „Einfachheit des Mikroskopischen“ und die Vorstellung von Kausalität und Determinismus als immer gültigem Prinzip nicht länger aufrecht erhalten (ebd. 12). Im „Quantenbereich“ hatte es sich als unmöglich herausgestellt, gleichzeitig Ort und Impuls oder Zeit und Energie eines subatomaren Teilchens mit beliebiger Genauigkeit festzustellen (AUGROS & STANCIU 1988, 161). Über das Verhalten subatomarer Teilchen konnten daher nur noch statistische Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden (HEILAND 1992, 118). Die revolutionierenden physikalischen Theorien aus dem ersten Drittel des 20. Jhs. (Relativitätstheorie und Quantentheorie) hatten großen Einfluss auf das makroskopische und mikroskopische Verständnis der Welt. Der Einfluss dieses neuen Weltverständnisses auf ein Verstehen naturräumlicher Prozesse war gering.

### **3.4 Grundlegende Veränderungen wissenschaftlichen Naturverständnisses**

In der zweiten Hälfte des 20. Jhs. sind durch verschiedene Ansätze grundlegende Veränderungen bezüglich eines wissenschaftlichen Naturverständnisses eingeleitet worden. In ganz unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen wie Systemtheorie, Thermodynamik, Molekularbiologie, Psychologie „kam man zunächst unabhängig voneinander zu erstaunlich übereinstimmenden Ergebnissen, die uns eine von der traditionellen Wissenschaft radikal abweichende Naturauffassung nahe legen“ (HEILAND 1992, 119).

Zur Entwicklung einer „neuen Physik“ und zu einem wachsenden Verständnis von Natur als einem selbstorganisierenden dynamischen Prozess, haben die Forschungsergebnisse Ilya Prigogines, Professor für physikalische Chemie an der Freien Universität Brüssel, wesentlich beigetragen. Mit seiner Arbeitsgruppe forschte er an der Vereinbarkeit des Prinzips der Entropiemaximierung (II. Hauptsatz der Thermodynamik) mit den hochgradig geordnet erscheinenden Strukturen in der Natur. Indem er natürliche Strukturen als offene Systeme erkannte, die mit ihrer Umgebung über einen Materie- und Energieaustausch stets in Verbindung stehen, bewegte er sich nicht länger im Bereich der Gleichgewichtsthermodynamik isolierter Systeme, denen ein thermodynamisches Gleichgewicht als Endzustand gewiss ist. Stattdessen betrat er den Bereich der Ungleichgewichtsthermodynamik. Dieser zu Folge lassen sich Stabilität und Ordnung in natürlichen Systemen nur weit entfernt vom thermodynamischen Gleichgewicht aufrechterhalten. (HEILAND 1992, 120) Da Energie zum Erhalt, bzw. zum Auf- und Abbau solcher Strukturen ständig aufgenommen und an die Umgebung abgegeben wird, bezeichnete Prigogine sie als „dissipative Strukturen“. Da diesen Strukturen irreversible Prozesse zu Grunde liegen, ist ihr Gesamtverhalten, selbst bei einer maximalen Genauigkeit der Anfangsbedingungen, nicht vorhersagbar (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 249). Um Entwicklungen in einer Welt des Nichtgleichgewichts beschreiben zu können, wird der

Umgang mit inneren Systemzeiten wie sie durch Rhythmen, erkennbar in zeitlichen und räumlichen Mustern in der Natur (z.B. Temperaturschwankungen, Kap 4) zum Ausdruck kommen, unumgänglich.

Zur Rolle der Wissenschaft äußerte sich Ilya Prigogine: „Statt die Wissenschaft durch den Gegensatz zwischen Mensch und Natur zu definieren, sehen wir in der Wissenschaft eher eine Kommunikation mit der Natur“ (PRIGOGINE & STENGERS 1990, 29). Er selbst schuf grundlegende Voraussetzungen für einen neuen „Dialog mit der Natur“. Indem er die Vorstellung von Gleichgewichten durch Fließgleichgewichte ersetzte und die Vorstellung stabiler Strukturen durch ein gleichzeitiges Abfließen aufbauender und abbauender Prozesse, ist die Möglichkeit einer dynamischen Naturauffassung nähergerückt (JANTSCH 1982, 34). Indem er die Selbstorganisation als Bindeglied zwischen Belebtem und Unbelebtem erkannte, erscheint „Leben nun nicht mehr als dünner Überbau, sondern als ein der Dynamik des Universums innewohnendes Prinzip“ (ebd. 49). Dadurch ist die Wissenschaft gefordert worden, Natur in ihrer Bedeutung und ihren Möglichkeiten neu zu denken.

In den letzten Jahrzehnten sind die Prinzipien der Selbstorganisation offener Systeme in verschiedenster Weise angewendet und weitergedacht worden. Der Versuch sich in der Biologie von herrschenden mechanistischen Auffassungen lebender Systeme zu distanzieren mit dem Ziel ein vertieftes Verständnis von Natur zu bekommen, hat z.B. zur Formulierung einer „Neuen Biologie“ (AUGROS & STANCIU 1988) geführt. Diese hat Kooperation statt Konkurrenz als Parameter, der Entwicklungsprozesse in der Natur bestimmt, erkannt. Lebende Systeme werden hier z.B. durch ihr Vermögen beschrieben, „Teile des eigenen Organismus selbst aufzubauen, ihre Fähigkeit zur Selbstreparatur und Selbstregeneration, ihre Fähigkeit fremde Stoffe in eigene umzuwandeln, ihr von innen her gelenktes Funktionieren [...]“ (ebd. 45). Neben einem „neuen“ Naturverständnis, haben die Prinzipien selbstorganisierender Stabilisierungsprozesse auch neue Möglichkeiten im Rahmen des naturwissenschaftlich technischen Fortschritts mit sich gebracht. So werden sie z.B. zur Regelung zunehmend komplexer Maschinen eingesetzt. Die Tatsache, dass sich keine lebendige Struktur auf Dauer stabilisieren lässt, versucht man in der Technik zu überwinden (JANTSCH 1982, 31).

### **3.5 Fazit**

Eine wesentliche Aufgabe der Wissenschaft besteht darin, Erkenntnisse dazu zu nutzen, um sie in Modelle zu übertragen, die dann wiederum als „Handwerkszeug“ dem Menschen dienen können. Dieses Handwerkszeug ist im Laufe des sogenannten naturwissenschaftlich technischen Fortschritts immer weiter optimiert worden. Das Handwerkszeug zum Umgang mit der Natur schien sich in vielerlei Hinsicht mit zu optimieren. Auf diese Weise konnte man vermuten, dass ein permanent wachsendes Verständnis technischer Konstruktionen und Prozesse mit einem wachsenden Naturverständnis einhergeht. Tatsächlich hat das Verständnis für eine Optimierung im Umgang mit der Natur, bzw. mit dem Wasser, mit dem naturwissenschaftlichen technischen Fortschritt nicht Schritt gehalten. Der Beitrag der abendländischen Wissenschaft zu einem Naturverständnis, das Natur in all ihren Formen, Fähigkeiten und Funktionen für den Menschen greifbar macht, ist noch sehr jung. Erst seit

wenigen Jahrzehnten beginnt ein Verstehen der selbstorganisierenden Prozesse im Naturraum.

Das mechanistische Weltbild, das nicht nur die unbelebte, sondern ebenfalls die belebte Natur als statisch, linear und prinzipiell berechenbar- und vorhersagbar deutete, hat sich als sehr standhaft erwiesen. Das mag unter anderem darin begründet sein, dass menschlichen Ansprüchen und menschlichem Denken ein wesentliches Charakteristikum natürlicher Prozesse entgegen steht – die hohe Dynamik. Das mag auch darin begründet sein, dass die Gesetze der Newtonschen Mechanik für große Bereiche der Technik sowie für solche menschlicher Alltagserfahrung mit annähernder und bei weitem ausreichender Genauigkeit Gültigkeit besitzen und dadurch wenig Anlass geben, diese Gesetze in Bezug auf das Naturverständnis zu hinterfragen. Die Nebenwirkungen, die den Weg naturräumlich „effizienter“ Eingriffe säumen, sind in gewisser Hinsicht zu einer Normalität geworden. Bis heute wird in verschiedenster Hinsicht versucht die Effizienz naturräumlicher Prozesse zu ersetzen, bzw. sie unter Kontrolle zu bringen – mit entsprechenden Konsequenzen (Kap 1) und weitreichenden Folgen (Kap 4.7). Das seit geraumer Zeit bekannte Merkmal naturräumlicher Prozesse: „Je mehr Freiheit in Selbstorganisation, desto mehr Ordnung!“ (JANTSCH 1982, 42) hat zwar bereits wesentlichen Einfluss auf das wissenschaftliche Naturverständnis ausgelöst. Wesentliche Veränderungen im Umgang mit der Natur, bzw. mit dem Wasser blieben bislang allerdings aus. Ein Grund dafür mag das Fehlen eines umfassenden Zielprinzips hinter der Eigendynamik naturräumlicher Prozesse, aus dem Maßstäbe zum Umgang mit der Natur direkt ableitbar sind, sein. Durch grundlegende Erkenntnisse über die Funktion des Wassers in der Landschaft und seiner Bedeutung für alles Leben, zusammengefasst im nachfolgend beschriebenen ETR – Modell, wird dieser Grund hinfällig.

## **4 Die funktionale Bedeutung des Wassers in der Landschaft – Grundlagen eines ökosystemaren Naturverständnisses**

Auf der Suche nach richtungssicheren bzw. nachhaltigen Strategien für die Zukunft spielt das Naturverständnis, das diesem Prozess zugrundeliegende liegt, eine elementare Rolle, da es ihn bewusst wie unterbewusst in erheblichem Maße zu beeinflussen vermag. Das nachfolgend beschriebene Energie – Transport – Reaktions – Modell (ETR – Modell) kann in diesem Sinne eine „Tür“ zu einem nachhaltigeren Umgang mit der Natur sein – das Wasser der Schlüssel.

Das ETR – Modell, entwickelt von Wilhelm Ripl, Professor für Limnologie von der TU Berlin, „ist ein auf den Wasserhaushalt und Energieumsatz reduziertes, konzeptionelles Denkmodell, das alle wesentlichen Prozesse in Raum und Zeit betrachtet und funktional verknüpft“ (RIPL ET AL. 1996, 11). Es dient dazu Beziehungen zwischen den Energie-, Wasser- und Stoffflüssen in der Landschaft auf eine Weise transparent zu machen, dass eine Möglichkeit geschaffen wird, die landschaftsbildenden und lebenserhaltenden Prozesse in der Natur nachzuvollziehen und in ihrer Bedeutung für den Menschen zu erfassen. In seiner Herangehensweise gründet es sich auf einen deduktiven, heuristischen Ansatz, der sich dynamisch über einen wechselseitigen Dialog mit der Natur weiterentwickeln kann. Begriffe, Prinzipien und Zusammenhänge, die für ein Prozessverständnis der Natur von Bedeutung sind, werden im Folgenden beschrieben. Deutlich werden soll dabei, wie sich aus den Fähigkeiten der Natur zur Selbstoptimierung sowie den Einflüssen anthropogener Eingriffe auf naturräumliche Prozesse, ein funktional definiertes Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung direkt ableiten lässt.

### **4.1 Naturwissenschaftliche Grundlagen**

Grundlage des ETR – Modells bilden die thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten und, indem diese auf die Beschreibung der Biosphäre angewendet werden, die Erkenntnisse über die Bildung dissipativer Strukturen nach Ilya Prigogine. Das ETR – Modell führt damit Ansätze von Naturwissenschaftlern fort, die Natur als selbstorganisierenden und selbstoptimierenden Prozess verstehen.

Die Sonne wird in ihrer Funktion als Initialzündler für die Lebensprozesse auf der Erde gesehen. Nach der Definition des I. Hauptsatzes der Thermodynamik kann die Energie in der Biosphäre als einem nahezu geschlossenen System, weder „vernichtet noch vermehrt“, sondern nur umgewandelt werden. Anwendung findet dieser Hauptsatz, indem die Wirkungsweise der Sonne auf der Erde nicht als „Energieeintrag“ und Austrag langwelliger Wärmestrahlung verstanden wird, sondern als Resultat der Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde. Durch die Rotation der Erde um die Sonne und der Erde um ihre eigene Achse, wahrnehmbar durch die rhythmische Abfolgen der Jahreszeiten und des Tagesverlaufs, wird Energie als raumzeitlich angepasster Energiepuls wirksam. (HILDMANN 1999, 34) Indem dieser ständig und periodisch neu wirkt, kann der Ausgleich der entstehenden energetischen Potentiale, der sich als Zwangsläufigkeit aus dem II. Hauptsatz der Thermodynamik ergibt, nie vollständig stattfinden (wahrnehmbar als Temperaturdifferenzen). Infolge des gepulsten (strukturierten) Energieangebots (RIPL ET AL. 1996, 29) befinden sich alle natürliche Systeme stets fern vom „thermodynamischen Gleichgewicht“. Dieser Umstand schafft die

theoretische Voraussetzung und Notwendigkeit zur Bildung energiedissipativer Strukturen. Diese bilden neben der Raumlimitierung (Kap 4.4) die Grundlage zur Selbstorganisation und –optimierung landschaftsbildender und lebenserhaltender Strukturen in der Natur.

„Unter der Dissipation von Energie [Energieflussdichteabsenkung] wird ein Prozess verstanden, bei dem Energie während eines Pulses [Phase einer Wechselwirkung bzw. aus einem energetischen Potential] „aufgenommen“ und zeitlich sowie räumlich wieder „freigesetzt“ wird. Dabei wird der Energiepuls in Richtung des Mittelwertes eingelenkt (gedämpft) und das Potential abgebaut“ (Abb. 14).

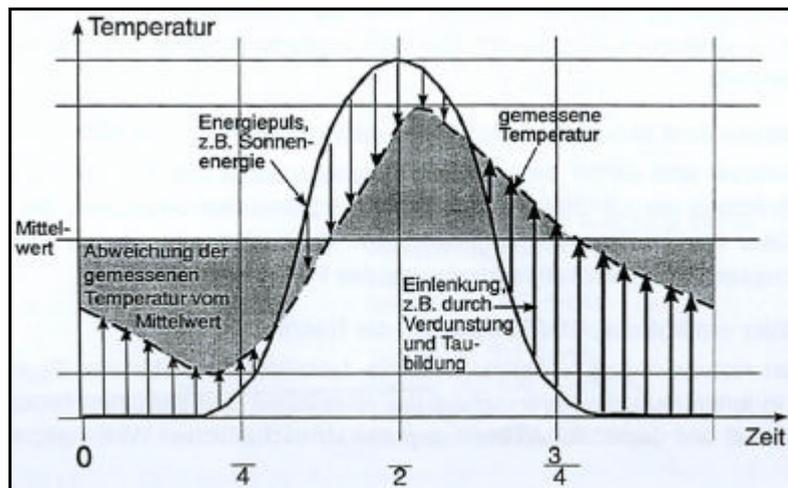


Abb. 14: Einlenkung des Energiepulses auf den Mittelwert (Quelle: RIPL 1996, 20)

Dieser Prozess ist nur über raumzeitliche Veränderungen bzw. Verlagerungen von Materie wahrnehmbar und messbar. Demnach kann Energie also auch nur durch die Wechselwirkung zwischen Materie in Erscheinung treten (z.B. Temperaturänderung, chemische Reaktion) und nicht losgelöst von Materie definiert werden. (ebd. 20)

## 4.2 Die Bedeutung des Wassers als energiedissipatives Element

„Die energiedissipativen Prozesse des Wassers führen zur ökologischen Dynamik auf der Erde und lassen dadurch die Entwicklung natürlicher Systeme zu keinem Zeitpunkt ungerichtet erfolgen“ (RIPL & WOLTER 2002a, 3).

Die Rolle des Wassers als energiedissipatives Element ist entscheidend, wenn es darum gehen soll, den täglichen Energiepuls der Sonne lokal auszugleichen. So verfügt ein Regenwald beispielsweise über ein ausgeglichenes Lokalklima, messbar über die geringen Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht, während sich in einer Wüste, als einem Ort an dem kaum Wasser vorhanden ist, der Begriff eines ausgeglichenes Lokalklimas nicht eignet. Extreme Temperaturschwankungen und starke Winde, wie sie in den Wüsten entstehen, deuten unter anderem daraufhin, wie eine „Luftkühlung“ funktioniert (RIPL WOLTER 2002b, 5). Großräumige Transporte von Luftmassen und Wasserdampf sind hier die Voraussetzung zur Dissipation der gepulsten Energie (RIPL ET AL. 1996, 30). Der bremsende oder puffernde Einfluss, den ein solcher Standort auf die großräumigen Transporte von Luftmassen hat, ist marginal.

Die drei Prozesseigenschaften (Abb. 15), die das Wasser zu dem entscheidenden energiedissipativen Element machen, sollen zunächst beschrieben werden (ebd. 121):

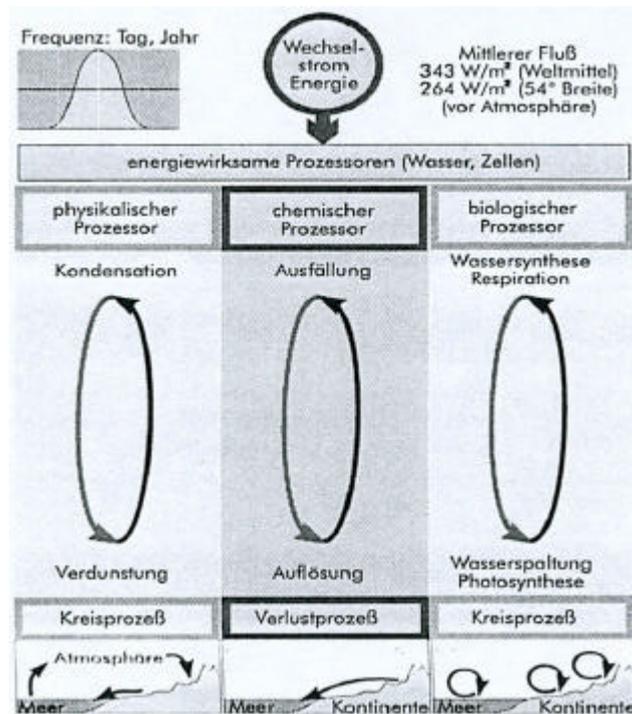


Abb. 15: Prozesseigenschaften des Wassers (Quelle: HILDMANN 1999, 6)

?? physikalische Prozesseigenschaft

Die physikalische Prozesseigenschaft des Wassers ist gekennzeichnet durch seine Fähigkeit zur Verdunstung und Kondensation. Während mit jedem Verdunstungsprozess eine oberflächliche Abkühlung verbunden ist, die Sonnenenergie dabei im Wasserdampf über eine gerichtete Teilchenbewegung der Wassermoleküle gespeichert wird, führt jeder Kondensationsprozess, der z.B. als Tau oder Nebel sichtbar wird, zu einer lokalen Erwärmung seiner Umgebung, indem die Energie wieder abgegeben wird. „Die dissipativen Verdunstungs- und Kondensationszyklen besitzen in Verbindung mit der hohen Wärmekapazität des Wassers die größte Bedeutung bei der Energieflussdichteabsenkung“.

?? chemische Prozesseigenschaft

Die chemische Prozesseigenschaft des Wassers beruht auf seiner Fähigkeit zur Eigendissoziation, die in seiner Dipolstruktur begründet ist. Dissoziiert Wasser in OH<sup>-</sup> und H<sup>+</sup>-Ionen, ist seine Reaktivität (Säurecharakter) erhöht. Unter Energieaufnahme werden Stoffe nun gelöst und raumzeitlich verlagert unter Energieabgabe wieder ausgefällt.

?? biologische Prozesseigenschaft

Die biologische Fähigkeit des Wassers ergibt sich aus seiner Fähigkeit zur Assimilation bzw. zur Dissimilation. Bei der Photosynthese wird Wasserstoff abgespalten und kann zum Aufbau energiereicher Verbindungen genutzt werden. Während der entgegengesetzten Prozesse der Mineralisation und Veratmung wird diese Energie wieder freigesetzt und für weitere Lebensprozesse nutzbar gemacht. Wasser entsteht dabei neu.

Die physikalische und biologische Prozessoreigenschaft des Wassers ist mit einem hohen Stoffrückhalt in der Landschaft verbunden. Zu hohen Mineral- und Nährstoffverlusten aus den oberen Bodenschichten kommt es erst mit erhöhter Wirksamkeit der chemischen Prozessoreigenschaft. Welche Prozessoreigenschaften wirksam werden, hängt maßgeblich vom Vorhandensein wasserspeichernder Oberflächenstrukturen ab. Erst eine ungeschützte Bodenoberfläche schafft die Voraussetzung für erhebliche Stoffausträge aus der Landschaft. Gesteuert und verstärkt durch Prozesse der Bodenerwärmung und solche beschleunigter ober- und unterirdischer Abflüsse, werden sie leicht zu irreversiblen Verlusten an Nähr- und Mineralstoffen: aus dem Boden, in die Vorfluter, zum Meer. Die Bezeichnung „irreversible Verluste“ bezieht sich auf Stoffe, die erst in geologischen und damit für Pflanzen, Tiere und Menschen in nicht absehbaren Zeiträumen wieder zur Verfügung stehen. Damit können solcherlei Stoffverluste den Alterungsprozess einer Landschaft beschreiben.

### 4.3 Zönosenkernstruktur – eine „autonome Funktionseinheit“

Die kleinste selbstorganisierte Ökosystemeinheit, in der sich die Eigenschaften des Wassers so vereinen, dass die Energieflussdichteabsenkung autonom und stoffverlustarm ausgeführt werden kann, wird als Zönosenkernstruktur (ZKS) bezeichnet [aufgrund der häufigen Verwendung dieses Begriffs wird im weiteren Verlauf nur noch die Abkürzung ZKS verwendet]. Eine ZKS (Abb. 16) besteht aus fünf funktional definierten Komponenten, die in ständiger Wechselbeziehung stehen und die Voraussetzung für die Nachhaltigkeit (Kap 4.8) eines Ökosystems bilden. Als funktional abstrahiertes Modell natürlicher Lebensgemeinschaften kann die Vorstellung einer ZKS auf den unterschiedlichen landschaftsökologischen Betrachtungsebenen (z.B. Biofilm, Baum, Wald, Wassereinzugesgebiet, (Abb. 17)) zu einem Verständnis von Natur als selbstoptimierendem Prozess beitragen. Die fünf Komponenten einer ZKS sind nachfolgend beschrieben (RIPL & WOLTER 2002a, 15):

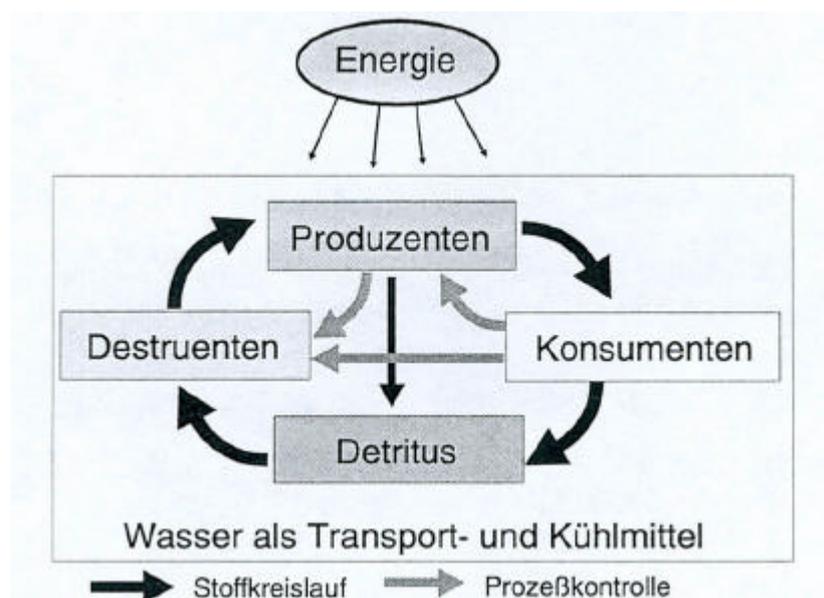


Abb. 16: Die Zönosenkernstruktur schematisch dargestellt (Quelle: RIPL 1996, 23)

- ?? Produzenten: Unter „Produzenten“ fallen im wesentlichen die Pflanzen als autotrophe [Kohlenstoffquelle: anorganisch (CO<sub>2</sub>)] Organismen. Neben ihrer Funktion als lebende Stoffspeicher sind sie vor allem Hauptträger der Energieflussdichteabsenkung. Als einziges Element der ZKS können sie sowohl die physikalische als auch die biologische Prozesseigenschaft des Wassers nutzen. Dadurch haben sie maßgeblichen Einfluss auf die Regulierung des Bodenwasserhaushaltes und auf das Mikroklima ihres Standortes.
- ?? Konsumenten: Unter „Konsumenten“ fallen die heterotrophen [Kohlenstoffquelle: organisch] Organismen. Als Energie- und Stoffquelle greifen sie neben Konsumenten niedriger Ordnung primär auf produzierte Biomasse („Produzenten“) zurück. In ihrem Vermögen die Raumlimitierung (Kap 4.4.1) eines Standortes aufzuheben und Zuwachphasen aufrecht zu erhalten, liegt auch ihre Funktion den Prozess der Energieflussdichteabsenkung zu steuern.
- ?? Detritus: In Form von abgestorbener organischer Substanz, bildet der „Detritus“ das primäre Speichermedium für Nähr-, Mineralstoffe und Wasser. Akkumuliert sich der Detritus im Laufe eines Sukzessionsprozesses, werden die „Produzenten“ zunehmend in die Lage versetzt, unabhängig vom Ausgangsgestein zu leben und zu wirtschaften.
- ?? Destruenten: Unter „Destruenten“ fallen vorwiegend Bakterien und Pilze. Indem sie die organische Substanz des „Detritus“ mineralisieren und damit den „Produzenten“ anorganische Ausgangsstoffe erneut zur Verfügung stellen, liegt ihre wesentliche Funktion im Schließen der Stoffkreisläufe. Da ihre Aktivität maßgeblich davon abhängt, inwieweit die chemische Prozesseigenschaft des Wassers zum Tragen kommt, verlaufen die Prozesse der Destruenten nur dann verlustarm, wenn der Wasserfluss im Boden über die „Produzenten“ gesteuert wird. Fehlendes oder stehendes Wasser bringt ihre Aktivität zum Erliegen. Wechselfeuchte steigert ihre Aktivität erheblich.
- ?? Wasser: Das „Wasser“ ermöglicht das Zusammenspiel der bereits aufgeführten Elemente der Zönosenkernstruktur. Es dient als Transport- und Reaktionsmedium und schafft als Kühlmittel (Verdunstung) die Voraussetzung wesentlicher Lebensprozesse an Land. Für alle aquatischen Lebensgemeinschaften ist es direkter Lebensraum. Beschleunigtes Wasser wirkt erosiv, stehendes Wasser stagnierend.

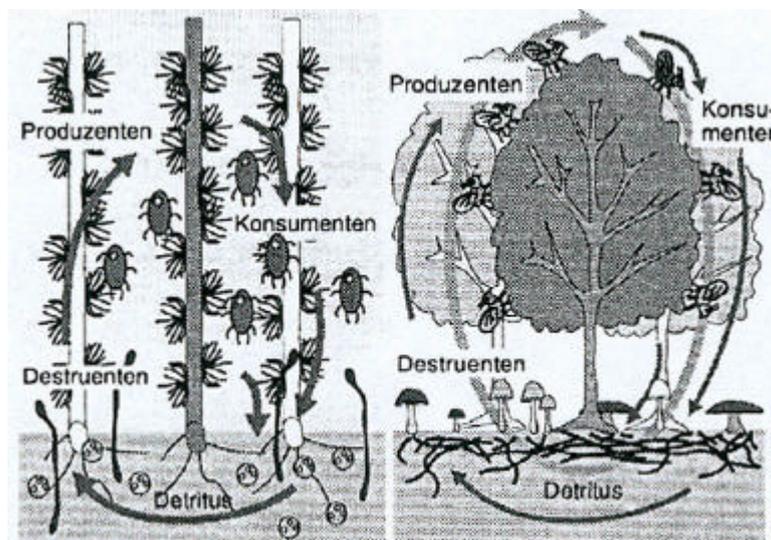


Abb. 17: Zwei Beispiele einer Zönosenkernstruktur: Aufwuchs auf einem Schilfhalm, Buchenwald (Quelle: HILDMANN 1999, 10)

#### 4.4 Standortschaffung – Sukzessionsprozesse

Ein einziges Regenereignis kann eine Wüste für eine kurze Zeit in eine grüne Landschaft verwandeln. So schnell wie sie erblüht, verdorrt sie allerdings auch wieder. Übrig bleiben hochspezialisierte Arten in einer weitestgehend trockenen Landschaft. Den Entwicklungen von Zönosenkernstrukturen, die gegenüber atmosphärischen Einflüssen und geologischen Ausgangsbedingungen eine gewisse Unabhängigkeit erlangen und auf „äußere“ Bedingungen (z.B. Niederschlagintensität oder -verteilung) rückgekoppelt gleichzeitig Einfluss ausüben können, gehen allmählichere Sukzessionsprozesse voraus.

Übergeordnet lassen diese sich in zwei wesentliche Phasen – die „Etablierungsphase“ und die „Optimierungsphase“ – einteilen. Die Übergänge zwischen den Phasen sind stets fließend.

Die „Etablierungsphase“ beschreibt die Prozesse, die besonders prägnant für die Anfänge einer Besiedelung vegetationsfreier Standorte sind. Bezeichnend für diese Phase ist ein primär quantitatives Wachstum. Solange Fläche und Nährstoffe den Pflanzen- und Organismenarten unbegrenzt zur Verfügung stehen, ist das Wachstum nur „zeitlimitiert“ und erfolgt nach dem Prinzip der schnellst möglichen Ausbreitung. Großräumige Stoff- und Wassertransporte, eine stark variierende Artenvielfalt und hohe Strukturdynamik prägen die Dynamik dieser Phase. Bei einsetzender Raumlimitierung [Grenzen von Flächen- und/ oder Nährstoffverfügbarkeit werden erreicht] lässt sich die Dominanz quantitativen Wachstums nicht länger aufrecht erhalten. Um sich weiter entwickeln zu können und sich selbst und seinen Standort als Lebensgrundlage zu erhalten, wird eine andere Strategie notwendig. Die Optimierungsphase setzt ein. (RIPLET AL. 1996, 128)

Unter die „Optimierungsphase“ fallen die Prozesse primär qualitativen Wachstums und enger „Vergesellschaftung“. Über das Medium Wasser vernetzen sich die Organismen mit ihrem Standort auf eine Weise, dass sie einen wachsenden Einfluss auf dessen Wasser- und Stoffhaushalt gewinnen. Einzelne „starke“ Arten vermögen dies kaum zu leisten. In selbstorganisierenden Prozessen bilden und erhalten sich während der Optimierungsphase deswegen auch vielmehr solche, die die Fähigkeit besitzen, sich mit anderen Arten so zu organisieren, das Wasser und Stoffe eines Standorts effizienter im Kreis geführt werden (ebd. 28). Im Laufe der Optimierungsphase verlagert sich die „Dynamik der Natur“ immer mehr zugunsten kleinräumigerer Wasser- und Stofftransporte und einer geringeren Artenvarianz. Das sogenannte „Klimax“ beschreibt den Höhepunkt einer Optimierungsphase. Die Stoffverluste aus einer Landschaft sind dann extrem minimiert. Über die lokal umgesetzte Dynamik des Wassers kann der Energiepuls der Sonne optimal orts- und zeiteingebunden gedämpft werden. Während er dabei „nahezu vollständig in eine räumliche Strukturierung umgesetzt“ (ebd. 37) wird, wird auch eine erhöhte Prozess- und Strukturstabilität sichtbar. Diese geht mit einer zunehmenden Vergleichmäßigung der Oberflächentemperatur einher (ebd. 28).

#### **4.4.1 Selbstoptimierungsprozesse während der „Etablierungsphase“**

Keimzellen von strukturbildenden Selbstorganisationsprozessen, durch die sich Organismengesellschaften einen Standort „erschließen“, sind vor allem Phasengrenzflächen zwischen Land oder Stein zu Wasser. Dort wo die Reaktivität des Wassers (z.B. durch erhöhte Eigendissoziation) ein nutzbares Potential schafft und Lösungsprozesse zu einer Energie- und Stoffquelle werden, entsteht ein Standortvorteil für die Ausbildung von ZKS. Beobachtbar z.B. als Biofilm auf Steinen oder Schilfgürteln am Gewässerrand, können sich von solchen Ökosystemen ausgehend bei ungestörter Entwicklung dann ganz allmählich wasserspeichernde Strukturen (z.B. Streuschicht oder Torf) in trockenere, höher gelegene Zonen ausdehnen. (RIPL ET AL. 1996, 11) Immer dem Prinzip der Minimierung der Energieflussdichte folgend, ist auch das, was sich z.B. jedes Jahr neu auf einer Ackerbrache abspielt, der Beginn eines Sukzessionsprozesses. Ist genügend Feuchtigkeit vorhanden, sei es durch regelmäßige Niederschläge oder eine wasserspeichernde Bodenschicht, wird das „schnelle“ Besiedeln eines Standortes mit Pflanzen zum scheinbar primären Ziel (z.B. Unkraut im Garten). Während die Pflanzen den Boden für ihre Lebensprozesse nutzen, beginnen sie ihn gleichzeitig zu schützen. Es werden die ersten Voraussetzungen geschaffen, damit sich ZKS ausbilden können.

#### **4.4.2 Selbstoptimierungsprozesse während der „Optimierungsphase“**

Die Entwicklung von Lebensgemeinschaften als autonome „Funktionseinheiten“ (ZKS) an der Phasen-Grenzfläche zwischen geologischem Untergrund und Atmosphäre, zieht wiederum entscheidende Veränderungen an den „neuen“ Grenzen zum Ausgangsgestein und zur Atmosphäre nach sich. Über die zunehmende Parallelisierung von Auf- und Abbauprozessen, Verdunstungs- und Kondensationsprozessen, steigern die Lebensgemeinschaften in verschiedenster Hinsicht ihre Möglichkeiten aus sich selbst heraus zu wirtschaften und Einfluss auf ihren Standort zu nehmen.

##### **4.4.2.1 Wechselbeziehungen zwischen ZKS und geologischem Untergrund**

Mit zunehmendem Reifegrad der Zönosen, entwickeln sich auch die oberen Bodenschichten als lebendiges Strukturgefüge. Um das Wurzelgeflecht der Pflanzen wird der Boden zu einem verbindenden Element aus abgestorbener organischer Substanz, verwittertem Ausgangsgestein, Destruenten und verschiedenen anderen Bodenelementen. Während dieser Entwicklung reift ein Oberboden in seinen lebensspendenden Funktionen. Während die Wasserhaltekapazität steigt, entwickelt er sich auch zu einem flexiblen Stoffspeicher (BRÜLL 1998, 59). Die Dynamik des Wassers im Boden verringert sich erheblich, sobald die Vegetation Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt gewinnt. Prozesse zur Stofflösung und Mineralisation können dann phasengerecht über die Wurzeln der Pflanze gesteuert werden. Die Eigenschaften des Wassers als erosives Element werden stark herabgesetzt. Gleichzeitig können die durch einen nicht an die Vegetation rückgekoppelten Wasserfluss einhergehenden Stofflösungs- und Transportprozesse besser zurückgehalten werden. Je mehr die ZKS aus einem lokalen Stoff- und Wasserhaushalt wirtschaften, desto geringer

werden nicht nur irreversible Nähr- und Mineralstoffverluste. Auch lassen Verbindungen zum Grundwasser mit der Zeit nach. Hat sich die Dynamik des Bodenwasserhaushaltes in die durchwurzelte, oberflächennahe Detritusaufgabe verlagert, schwindet die Funktion des Grundwassers als Wasserquelle oder „Auffangbecken“. Gegenüber oberflächennahem Wasser ist „echtes“ Grundwasser unter einem intakten Ökosystem wenig dynamisch. (RIPL & WOLTER 2002a, 21)

#### 4.4.2.2 Wechselbeziehungen zwischen ZKS und Atmosphäre

Direkt rückgekoppelt an die gerade beschriebenen Wechselbeziehungen zwischen ZKS und geologischem Untergrund sind die zwischen ZKS und Atmosphäre. Trennung von Wasser- und Stofffluss im Boden und ein ausgeglichenes Lokalklima bedingen und „fördern“ sich dadurch über die Vegetation gegenseitig. Erfüllt ein Boden z.B. seine Schwammwirkung, können auch niederschlagsreiche und –arme Zeiten ausgeglichen werden (RIPL & WOLTER 2002a, 20). Im dauerfeuchten Milieu eines Streu- und Humuskörpers kann die Vegetation durch Transpirationsprozesse einen Wasserstrom und damit wechselfeuchte Bedingungen im unmittelbaren Wurzelbereich aufrechterhalten (RIPL ET AL. 1996, 20). Direkten Einfluss auf das Lokalklima haben die kurzgeschlossenen Wasserkreisläufe (Abb. 18) über die Verdunstungs- und Kondensationsprozesse an den Vegetationsoberflächen.

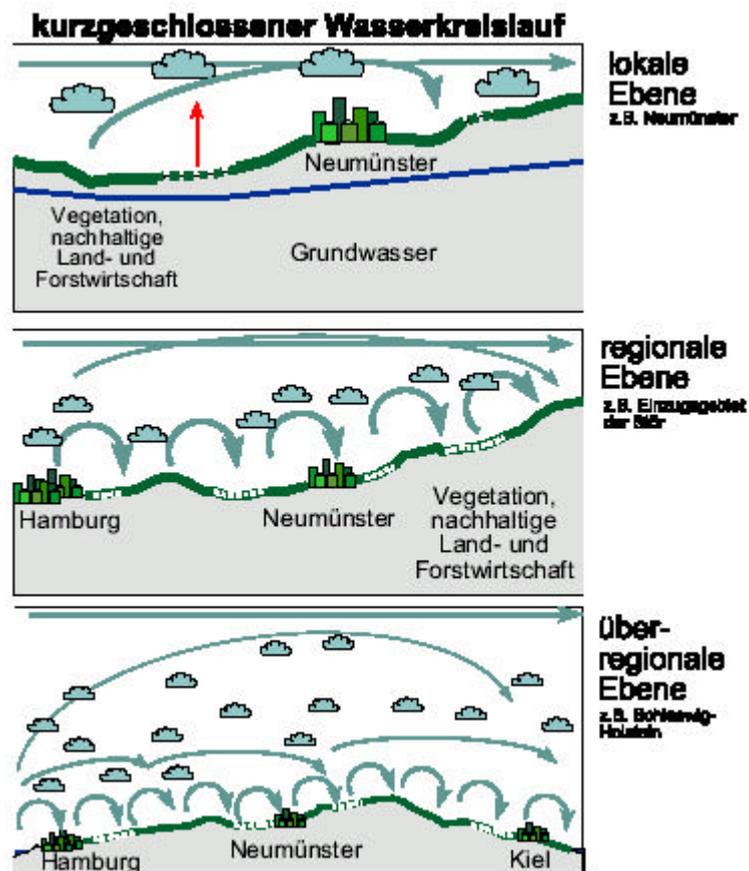


Abb. 18: Kurzgeschlossener Wasserkreislauf über einer intakten Landschaft (Quelle: RIPL & WOLTER 2002,7)

Ein Ausschnitt solch parallelisierter Zyklen beschreibt z.B. die permanenten Verdunstungs- und Kondensationsprozesse „in“ einem belaubten Baum im Sommer. Über 400 Liter verdunstet z.B. ein Baum von 10 Meter Durchmesser pro Tag (POKORNY 2001, 643). Je nach Größe der Fläche, auf denen Wasser in kurzgeschlossenen Kreisläufen zirkulieren kann, erhöhen sich Kühlung und Kondensationswahrscheinlichkeit der Fläche. Die Größe einer Fläche, „auf der Kondensation stattfindet ist nicht allgemein angebar. Sie hängt unter anderem von den bestehenden Temperaturgradienten, den Windverhältnissen und der Umgebung der verdunstenden Fläche ab“ (HILDMANN 1999, 3). Neben ausgeglicheneren Oberflächentemperaturen zwischen Tag und Nacht und der Dämpfung mikroklimatischer Extreme (HILDMANN 1999, 12), (z.B. die Abflusswirksamkeit von Niederschlägen), offenbaren sich solche Selbstoptimierungsprozesse auch in einer zunehmenden Regelmäßigkeit und Ausgeglichenheit von Niederschlägen (RIPLET AL. 1996, 36).

#### 4.4.2.3 Wechselbeziehungen zwischen Land und Fließgewässer

In Fließgewässern sammeln sich Wasser und Stoffe ober- und unterirdischer Abflüsse. Aus diesem Grund sind die Prozesse im Fließgewässer denen an Land in ihren Wechselbeziehungen stets nachgeordnet zu betrachten. Über ihre „Abfluss- sowie ihre morphologische und biozönotische Strukturndynamik“, können sie als ein steter Spiegel der Prozesse des Wasser- und Stoffhaushaltes an Land genutzt werden. (RIPLET AL. 1996, 38)

Gleichmäßigere Niederschläge sowie die Ausbildung großräumiger Retentionsstrukturen (Wälder, Feuchtgebiete) führen so z.B. zu einer zunehmend vergleichmäßigten und nähr- und mineralstoffarmen Abflussspende an die Fließgewässer. Mit einem gleichmäßigen Abfluss verbunden ist eine erhöhte Dauerhaftigkeit der Abflussspende im Sommer. Niedrigwasserführungen werden weniger wahrscheinlich. Das Zusammenspiel aus erhöhtem Speichervermögen und verbesserter Temperaturdämpfung in der Landschaft hat gleichzeitig direkten Einfluss auf potentielle Extreme in der Hochwasserführung. Indem es beispielsweise Ablauf und Wirkung frühjährlicher Schneeschmelzen verändert, verringern sich auch Hochwasserspitzen bei gleichzeitiger Verlängerung der Hochwasserführung. (ebd. 37).

Durch selbstorganisierende Strukturierungsprozesse können in einem Fließgewässer dann vielfältige und weitgehend stabile Strukturen entstehen, wenn mit einem gleichmäßigen Abfluss (gleichmäßiges zeitliches Energiemuster) auch geringe Stoffeinträge (Raumlimitierung) von Land verbunden sind. Solche Selbststrukturierungsprozesse führen einerseits zu einer zunehmenden Verlangsamung des Materialtransports gegenüber der Wasserbewegung, indem sich in zunehmendem Maße kleinräumige Beschleunigungs- und Verzögerungszonen ausbilden können (ebd. 46). Ein mäandrierender Fluss, der seine Fließstrecke verlängert hat, ist z.B. ein sichtbares Resultat solch eines Selbststrukturierungsprozesses. Andererseits führen diese auch zu einer zunehmenden Trennung zwischen Nährstoff- und Wasserfluss, indem sich als Folge einer Nährstofflimitierung ähnlich wie an Land ZKS als energiedissipative Funktionseinheiten ausbilden (ebd. 49). In Biofilmen, z.B. als Aufwuchs auf Schilfhalmen (Abb.17), wird hier der Abstand zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten extrem minimiert, Stoffauf- und Abbauprozesse parallelisiert.

Nach dem Prinzip „form follows function“ sind hochstrukturierte Gewässerformen und Gewässerzönosen das Resultat kurzgeschlossener Wasser- und Stoffkreisläufe an Land.

Bilden sich solch stabile Strukturen in einem Gewässer aus, können sie wiederum zur Verlustarmut der Landschaft beitragen.

#### **4.4.3 Zusammenspiel der Selbstoptimierungsprozesse**

„Standortunterschiede bezüglich Wasser- und Stoffhaushalt eines Einzugsgebietes gleichen sich mit zunehmender Entwicklung der Vegetation und der mit ihr vergesellschafteten Organismen aus. Auch Gefälleunterschiede sind bei Rückgang des beschleunigten Abflusses durch die kleinräumigen Verdunstungs- und Kondensationszyklen sowie die Entwicklung des organischen Bodenspeichers weniger wirksam“ (RIPL ET AL. 1996, 37).

Dem Prinzip der Energieflussdichteabsenkung folgend bilden sich im Rahmen ungehinderter Sukzessionsprozesse bei eintretender Raumlimitierung durch das rhythmisch strukturierte Energieangebot der Sonne Zönosenkernstrukturen aus. Als Moos-, Pflanzen-, Baum- oder Waldgesellschaften (selbstähnliche (fraktale) Strukturen) vernetzen sie sich dabei raumzeitlich zu immer größeren Einheiten (Abb. 17). Die Stoffwechselgeschwindigkeiten der verschiedenen Ebenen erfolgen dabei optimal aneinander angepasst. Geringe Verluste können auf den nächst höheren Ebenen weitestgehend eingeschleust, mit dem Wasserfluss geführte Stoffe eingebaut werden. Kommt die Fähigkeit der Pflanzen als Prozesssteuerer zur vollen Entfaltung, wird der natürliche Alterungsprozess eines Standortes auf ein Minimum gesenkt.

#### **4.5 Stabilität und Fließgleichgewichte**

Bei der Aufgabe ein Maß für Stabilität und Gleichgewicht zu finden, das die Richtungssicherheit „nachhaltiger Strategien“ gewährleistet, stellt die immerwährende Dynamik naturräumlicher Prozesse eine große Herausforderung dar. Da sich alle natürlichen Systeme wie anfangs erwähnt fern vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden, kann dauerhafte Stabilität natürlicher Systeme nur in ihrer Veränderlichkeit liegen, in der Fähigkeit sich selbst zu erhalten, bzw. sich selbst zu regenerieren. Aus funktionaler Sicht kann dauerhafte Stabilität demnach nicht statisch, sondern nur dynamisch definiert werden. Folglich entsprechen auch „die in der Landschaft anzutreffenden Zustände (z.B. Flusslauf, Bodenarten) [vielmehr] Phasenlagen in einem fortdauernden, vom Wasserhaushalt geprägten landschaftlichen Entwicklungsprozess“ (RIPL ET AL. 1996, 58). Besonders die geringere Dynamik auf großräumigen gegenüber kleinräumigen Ebenen mag dazu führen, dass aus subjektiven, bzw. kurzfristigen Betrachtungen heraus, zeitliche Entwicklungen von Ökosystemen als konstant erscheinen. Hinzu kommt, dass in der Phase, in der ein natürliches System seine Langlebigkeit durch einen effizienten Stoffwechsel erhöht, die Wahrscheinlichkeit steigt, es scheinbar „unverändert“ anzutreffen. So verbirgt sich z.B. hinter der strukturellen Stabilität eines Urwaldes, eines Ökosystems im Klimax, ein hochdynamisches Wirken paralleler Auf- und Abbauprozesse, fließender Energie-, Wasser- und Stoffströme. Die Stabilität eines Ökosystems beruht sozusagen auf einem Fließgleichgewicht, dem eine geringe Strukturodynamik folgt.

## 4.6 Naturfunktionen – die essentielle Basis

Unabhängig davon in welchem Verhältnis ein Mensch zu „seiner“ Natur stehen mag, ist er in funktionaler Hinsicht immer und überall direkt mit ihr verbunden. Er beansprucht saubere Luft, gesundes Trinkwasser, Nahrungsmittel, Gebrauchsgüter, Energie. Zur Erfüllung dieser seiner Ansprüche ist er auf ein stabiles Funktionsgefüge der Landschaft angewiesen. Ein stabiles Funktionsgefüge der Landschaft zeichnet sich durch Merkmale aus, die auch stets das Resultat selbstoptimierender Prozesse an Grenzflächen zwischen Atmosphäre und Ausgangsgestein sind. Dazu gehören die folgenden Naturfunktionen:

- ?? dauerhafte Bodenfruchtbarkeit. Eine dauerhafte Bodenfruchtbarkeit hängt neben der qualitativ stofflichen Ausstattung eines Standortes (Basenkationen, Nährstoffe, Tonminerale) vor allem davon ab, inwieweit dynamische Speicherstrukturen für Wasser- und Stoffe (Kap 4.7.1) vorhanden sind und durch eine nachhaltige Bewirtschaftung (Kap 4.8) erhalten bleiben (RIPL 1995, 70).
- ?? ausgeglichenes Klima mit minimierter Wahrscheinlichkeit für klimatische Extremereignisse (RIPL & WOLTER 2002a, 13). Ein ausgeglichenes Klima hängt neben makroklimatischen Einflüssen maßgeblich davon ab, inwieweit eine zeiträumliche Temperaturdämpfung über zirkulierendes Wasser erfolgen kann. In terrestrischen Ökosystemen bilden wasserspeichernde Strukturen (z.B. ein Wald) die Voraussetzung.
- ?? Rückhaltevermögen der Gewässer für Feststoffe sowie gelöste Stoffe (RIPL & WOLTER 2002a, 25). Gewässer bilden nur dann stabile und vielfältige morphologische Strukturen sowie verlustarm funktionierende Fließgewässer-ZKSen aus, wenn ein vergleichmäßiger, stoffverlustarmer Abfluss in die Oberflächengewässer erfolgt. Sie tragen dann zur Minimierung von Stoffverlusten der Landschaft bei (Kap 4.4.2).

Je besser Wasser und Stoffe in lokalen Kreisläufen dissipieren, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, trotz schwieriger Ausgangsbedingungen wie nähr- und mineralstoffarmes Ausgangsgestein oder aride Klimate, einen lebensbringenden Standort zu erhalten. Die Strukturen, die sich im Laufe von Etablierungs- und Optimierungsphasen im Naturraum ausbilden (Kap 4.4), sind ein Spiegel der „wachsenden Funktionalität“ eines Standortes. Wandlungen und Verwandlungen sind solchen Strukturen immanent.

„Es ist [daher] die Funktionsfähigkeit der Natur, die geschützt und erhalten werden muss, nicht die als Schutzgüter ausgewiesenen Strukturen“ (RIPL ET AL. 1996, 63).

## 4.7 Eingriffe – Pufferfähigkeit der Landschaft – Destabilisierungsprozesse

Jeder Eingriff in ein Ökosystem stellt einen Störpuls dar, der Einfluss auf die wechselwirkenden Prozesse einer ZKS (Kap 4.3) nimmt, über die ZKS gedämpft werden kann oder zu ihrer Degradierung führt (RIPL & WOLTER 2002a, 16). Nichtsdestotrotz können Eingriffe auch stabilisierende Prozesse auslösen, wenn sie zu einer Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen beitragen (z.B. Schaffung künstlicher Feuchtgebiete zum Wiederaufbau von später nutzbaren Böden).

Sind Eingriffe mit einer Dynamisierung lokaler Wasser- und Stoffhaushalte verbunden, äußern sie sich zumeist in einer Aufweitung kurzgeschlossener raumzeitlicher Kreisläufe. Entwässerungen von Feuchtgebieten oder land- und forstwirtschaftlicher Flächen, Begradigungen von Fließgewässern, intensivierete Bodenbearbeitung mittels Dränagen und Pflügen, nettoproduktive und monokulturelle Anbauweisen, das Entfernen permanenter Vegetation oder Grundwasserentnahmen sind Beispiele für solcherlei Eingriffe innerhalb des Naturraums.

Verliert ein Boden seine schützende Schicht, bzw. entstehen zunehmend wechselfeuchte Zonen, steigen „spontane“ Mineralisations- Lösungsprozesse, da sie kaum mehr über die Wurzeln einer vegetativen Schicht gesteuert werden können. Die erosiven Eigenschaften des Wassers führen nun mit horizontal und vertikal beschleunigtem Wasserfluss zu Verlusten an Nähr- und Mineralstoffen aus der Fläche.

Grundlegenden Einfluss auf die Geschwindigkeit solcher und anderer Prozesse der Bodendegradierung hat zunächst die Geländemorphologie. Da jegliche Eingriffe in Kuppenlagen direkter Auslöser irreversibler Stoffverluste sein können, werden Kuppenlagen generell auch als Auswaschungsbereiche bezeichnet, als Rückhaltebereiche dagegen Senken einer Landschaft. Neben Auen, den Zusammenflüssen von Gewässern, Feuchtgebieten, Kleingewässern und Seen, sind dies Bereiche, in denen der Wasserfluss gebremst und damit auch mitgeführte Stoffverluste aus anderen Bereichen aufgefangen werden. (RIPL ET AL. 1996, 168)

In selbstoptimierenden Prozessen werden, wenn möglich, auch Rückhaltestrukturen neu geschaffen unter zunehmender Bedeutung der konservierenden Eigenschaften des Wassers. In unterschiedlich zeiträumlichen Dimensionen sind solche Selbstoptimierungsprozesse z.B. beobachtbar als Verkrautungen in Entwässerungsgräben, Überschwemmungen, Verlandungen von Seen oder Moorbildungen. Im Klimax erfolgt der Stoffrückhalt durch parallelisierte Prozesse von Stoffauf- und abbau, Verdunstung und Kondensation, Lösung und Fällung. Im Laufe einer zunehmenden Dynamik im Wasser- und Stoffhaushalt verlaufen diese Prozesse vor allem sequentiell. Stark konservative Bereiche wie Moore können in diesem Zusammenhang z.B. als Folge stark erosiver Bereiche entstehen.

Grundlegenden Einfluss auf die Geschwindigkeit destabilisierender Prozesse übt vor allem auch die Pufferkapazität eines Standortes aus. Bestimmt wird sie maßgeblich durch die Vorräte an Basen wie Ca, Mg oder K im Oberboden. Von Bedeutung sind vor allem die durch selbstoptimierende Bodenbildungsprozesse entstandenen dynamischen Speicherkapazitäten wie Kationenaustauschkapazität und Detritus. Die dynamischen Speicherstrukturen ermöglichen, dass Nähr- und Mineralstoffe den Pflanzen gekoppelt an ihren Stoffwechsel zur Verfügung gestellt werden (BRÜLL 1998, 51). Ganz wesentlich betrifft dies Basenkationen, die an Tonmineralen oder organischen Komponenten gebunden vorliegen. Die Prozesse der Tonmineralbildung oder der Verwitterung von Ausgangsgestein lassen sich in dieser Form nicht an die Rhythmen der belebten Natur anpassen. Zwar stellen auch diese Prozesse Basenquellen dar. Da sie sich mehr (Granit) oder minder (Kalk) in geologischen Geschwindigkeiten vollziehen, können sie die dynamischen Stoffspeicher allerdings nicht ersetzen. Zur Pufferfähigkeit einer Landschaft können sie dennoch wesentlich beitragen. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang ebenfalls die wasserspeichernden Oberflächenstrukturen, die einen Boden zu schützen und klimatische Ereignisse

auszugleichen vermögen. Überall dort, wo wasserspeichernde Strukturen verloren gehen und Trockenperioden zunehmen, geht auch die Verdunstungsfähigkeit einer Landschaft zurück. Die oberflächliche Kühlung eines Standortes kann nicht länger gewährleistet werden.

#### **4.7.1 Destabilisierende Prozesse zwischen ZKS und geologischem Untergrund**

Fehlende Kühlungsprozesse an der Bodenoberfläche und gleichzeitig zunehmende Trockenereignisse zwischen Niederschlagsereignissen bedingen leicht eine immerwiederkehrende Erwärmung des Bodens, die die Reaktivität im Boden zusammen mit den Folgen begünstigter Wechselfeuchte stark ansteigen lässt.

Mit steigendem Einfluss äußerer Bedingungen (z.B. Niederschlagswirksamkeit) auf Lösungs- und Auswaschungsprozesse, werden die dynamischen Stoffspeicher stark beansprucht. Dieser Zusammenhang schafft die Voraussetzung für eine allmähliche Verarmung der Böden an Basen, Nährstoffen und feineren Kornfraktionen. Es resultieren Verlagerungen feinstpartikulären Materials und gelöster Pflanzennährstoffe aus dem pflanzendurchwurzelbaren Oberboden in tiefere, undurchwurzelbare Bodenschichten, bzw. Richtung Vorflut. „Je unvollständiger der Energiepuls durch Verdunstung und Kondensation an Ort und Stelle gedämpft wird, desto mehr wird er durch Prozesse der Stofflösung und –verlagerung wirksam“ (RIPL ET AL. 1996, 33). Probleme, wie sie durch Bodenversauerung entstehen, gehen mit Prozessen der Bodendegradierung einher, denn: Je schwerer der Zugriff auf Basen, desto größer der Energieaufwand (erhöhte Abgabe von  $H^+$ -Ionen) zur Stoffaufnahme der Pflanzen. Je stärker die Wasserbewegung im Boden, desto wirksamer wird die Fähigkeit des Wassers zur Eigendissoziation. Je mehr Sauerstoff als Folge wechselfeuchter Phasen in den Boden gelangt, desto versauernder werden die Oxidationsprozesse (z.B. S zu  $H_2SO_4$  (Schwefelsäure), N zu  $HNO_3$  (Salpetersäure)). Dem zunehmenden Verlust essentieller Basen gehen Versauerungsprozesse nicht nur einher. Sie wirken gleichzeitig auf weitere Basenverluste zurück – ein Teufelskreis entsteht.

„Böden, die nur noch geringe Basenvorräte aufweisen, sind für eine Versteppung am anfälligsten“ (ebd. 121).

#### **4.7.2 Destabilisierende Prozesse zwischen ZKS und Atmosphäre**

Fehlt Wasser als bodennah zirkulierendes Temperatenausgleichsmittel in der Landschaft, werden nicht nur im Boden, sondern ebenfalls in der Atmosphäre Potentiale geschaffen, die verstärkte Transportprozesse und Reaktionen nach sich ziehen. Zunächst entstehen erhebliche „Temperaturschwankungen im Tages- bzw. Jahresverlauf (hoher zeitlicher Temperaturgradient) und zwischen stark erhitzten, trockeneren Flächen sowie den punktuell vorkommenden feuchteren Gebieten (hoher räumlicher Temperaturgradient)“ (RIPL & WOLTER 2002a, 19). Da Extreme im wesentlichen auch nur durch Extreme ausgeglichen werden können (siehe Stoffrückhalt), steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich Niederschläge und Kondensationsprozesse in Richtung kühlerer Orte (Feuchtgebieten, Pole) und kühlerer Zeiten (Nacht, Jahreszeiten) verlagern. Im zeiträumlich kleinen Maßstab sind solche Prozesse leicht beobachtbar. Findet man z.B. bei Sonnenaufgang eine kurzgemähte Rasenfläche trocken vor, kann eine benachbarte Rasenfläche ganz feucht von Reif sein. In zeiträumlich größeren Maßstäben kommt es z.B. zu einer Zunahme großskaliger

klimatischer Ereignisse, die stets mit erhöhten Zufälligkeiten einher gehen, da sich die aufgeweiteten Wassertransporte (Abb. 19) jederzeit überlagern. Die Schädigung atmosphärischer Prozesse geht mit Störungen eines lokalen Wasserhaushaltes einher (ebd.). Gleichzeitig wirken extreme klimatische Ereignisse auf die Bodendegradationsprozesse zurück - ein weiteres Beispiel für einen entstehenden Teufelskreis.

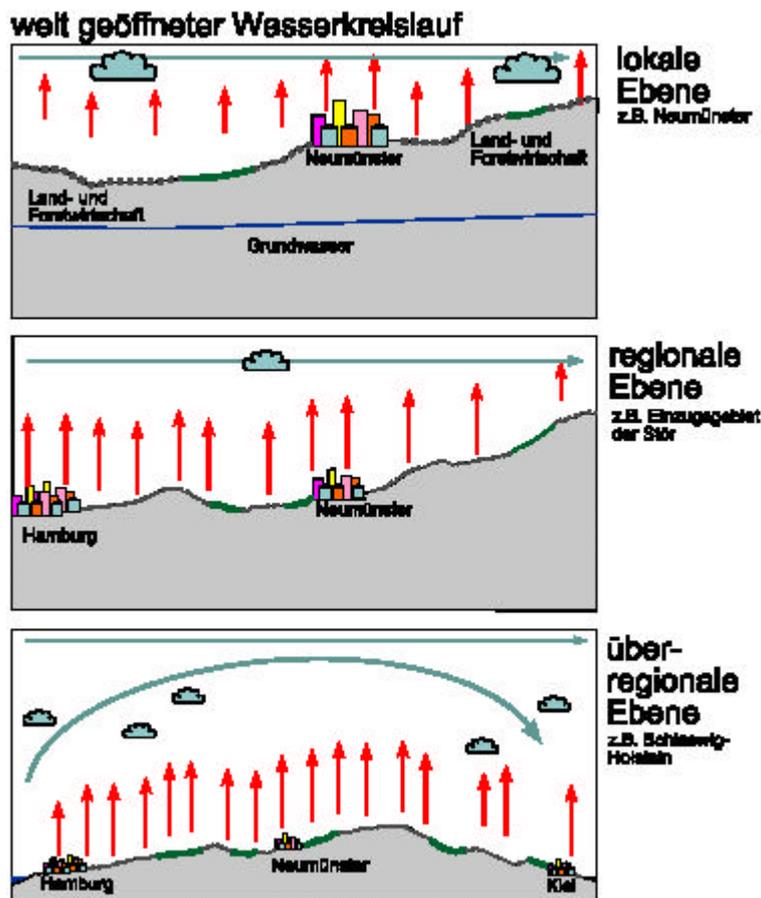


Abb. 19: Weit geöffneter Wasserkreislauf bei fehlender Kühlung der Landschaft (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 10)

„Eine Degradation entspricht zunächst einer abnehmenden Kopplung, bei der zunehmend mehr Detritus mineralisiert wird als wieder neu aufgebaut werden kann. Unterschreiten die während dieses Prozesses mit abgebauten Nährstoff- und Basenvorräte eine kritische Schwelle, so fällt das System in eine Phase sehr geringer biotischer Prägung oder gar in einen abiotischen Zustand zurück“ (HILDMANN 1999, 19). Die Spanne zwischen dynamisierenden Eingriffen in einen landschaftlichen Wasser- und Stoffhaushalt und der Zerstörung eines für den Menschen essentiellen Funktionsgefüges, wird maßgeblich von der Pufferkapazität einer Landschaft beeinflusst. Je geringer die Pufferkapazitäten sind und je weniger die Bewirtschaftung rückgekoppelt an raumzeitliche Bedingungen stattfindet, desto schneller machen sich den Wasserhaushalt dynamisierende Prozesse als Degradationsprozesse essentieller Naturfunktionen bemerkbar.

## 4.8 Nachhaltigkeit (Definition – Maßstäbe)

?? Definition von Nachhaltigkeit

Die Naturfunktionen (Kap 4.6) können nur dann dauerhaft in einer Landschaft erhalten bleiben, wenn die physische Ausstattung dieser Standorte erhalten bleibt. Da die Leistungsfähigkeit einer Landschaft mit stofflichen Verlustprozessen abnimmt und somit zeitlich begrenzt ist, lässt sich die Nachhaltigkeit eines Ökosystems wie folgt definieren:

„Ein Ökosystem (Standort) ist nur dann nachhaltig, wenn seine stofflichen Verluste minimiert werden und damit seine Lebensdauer maximiert wird“ (HILDMANN 1999, 7).

Begreift man die Natur als einen „Prozess“ und die Naturfunktionen als grundlegende Basis der Menschen, leitet sich die Definition einer nachhaltigen Bewirtschaftung direkt aus den Selbstoptimierungsstrategien naturräumlicher Selbstorganisationsprozesse ab. Ausgehend von diesen Überlegungen lässt sich eine nachhaltige Bewirtschaftung wie folgt definieren:

Nachhaltige Bewirtschaftung ist eine Nutzung von Natur bei der das Funktionsgefüge der Landschaft erhalten bleibt (BRÜLL 1998, 6). Eine dauerhafte Aufrechterhaltung (bzw. Wiederherstellung) eines landschaftlichen Funktionsgefüges setzt eine Wirtschaftsweise voraus, die eine verlustarmen Energiedissipation auf der Fläche gewährleistet. Eine solche Energiedissipation bedingt Prozesse des Temperatenausgleichs (Kühlung) sowie der Stoffkreislaufführung in der Landschaft. (RIPL ET AL. 1997, 1)

?? Hierarchisierung der naturräumlichen Prozesse:

In Anbetracht der Tatsache, dass die in der Natur vorkommenden Prozesse unzählig sind, ist eine ordnende Hierarchisierung der Prozesse in ihrer Bedeutung für das Gesamtsystem nicht nur sinnvoll, sondern notwendig. „Die Bedeutung des einzelnen Prozesses hängt dabei vor allem von seinem Anteil an der Dissipation des täglichen Sonnenenergiepulses ab“ (RIPL ET AL. 1997, 3). Dazu gehören bestimmend die kurzgeschlossenen Prozesse der Verdunstung und Kondensation, sowie die kurzgeschlossenen Prozesse der Produktion und Respiration (Kap 4.2, Abb.15). Eine verlustarme Energiedissipation setzt diese Prozesse voraus. Nur Ökosysteme mit einem hohen Anteil dieser Kreisprozesse bei einer Minimierung von Verlustprozessen bringen dauerhafte und damit nachhaltige Strukturen und Prozesse hervor. Deswegen ist eine Beurteilung des Wirkungsgrades auf Basis ihres Wasser- und Stoffhaushaltes möglich. Gleichzeitig zielen sie mit dem Oberziel einer Stoffverlustminimierung auf die Erfüllung wesentlicher Ziele eines dauerhaften Klima-, Gewässer-, Hochwasser-, Natur-, Arten-, Wasser- sowie Bodenschutzes (Kap 5).

?? Bewertungskriterien

Die Hauptkriterien zur Bewertung einer verlustarmen Energieflussdichteabsenkung, können durch den thermischen und chemischen Wirkungsgrad eines raumzeitlich sinnvoll abgegrenzten Systems beschrieben werden:

„Der thermische Wirkungsgrad terrestrischer Systeme kann aus dem Grad der Temperaturdämpfung des täglichen und jahreszeitlich modulierten Sonnenenergiepulses abgeleitet werden“ (RIPL & WOLTER 2002a, 6). Er beschreibt die Kühlung einer Landschaft. In seiner räumlichen Verteilung (Temperaturunterschiede) ist er über den Thermalkanal von Satellitenbildern abschätzbar.

Der chemische Wirkungsgrad lässt sich über das Verhältnis irreversibler Verluste an Basenkationen und Mineralsalzen zum gesamten Stoffumsatz innerhalb funktional definierter raumzeitlicher Grenzen ableiten, da sich die Stoffflüsse in Protonen, bzw. Ladungsäquivalenten ausdrücken lassen (ein Mol Kohlenstoff entspräche zwei Protonenäquivalenten) (RIPL 1995, 72).

$$W = (P-V) / P$$

W = Wirkungsgrad

P = jährliche Bruttoproduktionsleistung (insgesamt umgesetzter Kohlestoff) pro Hektar eines Einzugsgebietes

V = Austräge mit der Ernte (sofern diese nicht im Einzugsgebiet wieder eingesetzt werden) und die aus dem Boden mit dem Wasser in die Vorflut ausgetragenen Kationen und Kohlenstoff

Die Bestimmung eines ökosystemaren Wirkungsgrades ist nur dann sinnvoll, wenn man die zeiträumlichen Grenzen so wählt, dass ein weitgehend geschlossenes System (ZKS – Strukturen) beschrieben werden kann. „Wo derartige Abgrenzungen fehlen, werden die funktionalen Beziehungen im System (wie z.B. der Stoffumsatz) in willkürlicher Weise abgetrennt und die Bestimmung einer Systemeffizienz wird bedeutungslos“ (RIPL & WOLTER 2002a, 17). Da man heute vielerorts auf stark aufgeweitete Wasser- und Stoffkreisläufe trifft, ist oftmals nur die Betrachtung großer Einheiten möglich. Räumlich gesehen bieten sich Wassereinzugsgebiete generell als sinnvoll räumlich abgrenzbare, dissipative Struktureinheiten an. Um die Betrachtung möglichst auch zeitlich geschlossener Intervalle zu gewährleisten, können durch die Natur vorgegebenen Frequenzen, wie Tages- und Jahreszyklen, innerhalb derer ein Dissipationsprozess betrieben wird, herangezogen werden (RIPL ET AL. 1996, 27).

Zur Bewertung eines Ökosystems können neben den aufgeführten Möglichkeiten ebenfalls Niederschlags-, Abfluss- oder Sauerstoffvarianzen genutzt werden. Auch das Erkennen von Mustern als Ergebnis energiedissipativer Prozesse spielt insgesamt eine große Rolle bei der Beobachtung naturräumlicher Prozesse (z.B. Temperaturmuster). Die umfassende Methodik zur Beschreibung und Bewertung der Funktionalität eines Ökosystems ist z.B. dem Endbericht des Störprojektes zu entnehmen, dessen Thema die „Entwicklung eines Land – Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer war (RIPL ET AL 1996).

?? Planung von Maßnahmen

Besitzt die über den landschaftlichen Wirkungsgrad definierte Nachhaltigkeit oberste Priorität einer Planung, lassen sich geplante Maßnahmen stets in eine räumliche und zeitliche Hierarchie einordnen (RIPL ET AL 1996, 182). Geht es z.B. wie beim Störprojekt um ein

Bewirtschaftungskonzept zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer, besteht eine wesentliche Aufgabe darin räumlich Vorranggebiete auszuweisen (ebd. 171). Die Wirkungsweise einer Maßnahme hängt von den zeiträumlichen Gegebenheiten ab. Was an einem Standort einen empfindlichen Eingriff in den Wasser- und Stoffhaushalt darstellt, der erhebliche Auswaschungsprozesse auslöst (z.B. Bewirtschaftung von Kuppenlagen), kann an einem anderen Standort den Stoffrückhalt erhöhen (z.B. Bewirtschaftung von Feuchtgebieten). Gleichzeitig ist es wichtig auf Flächen geringen Wirkungsgrades retentive und aufbauende Maßnahmen einzuleiten. Hilfreich ist es „die Dringlichkeit von Maßnahmen an der bisherigen Erfüllung der den Flächen zugeordneten Funktionen festzumachen“ (ebd. 172). Zur Etablierung von Verdunstungs- und Retentionsstrukturen wäre es in diesem Zusammenhang notwendig ehemalige Niedermoore durch geeignete Maßnahmen wiederzuvernässen. Flächen in Gewässernähe ließen sich sinnvoll als Fangsysteme nutzen. In Form gewässerbegleitender Feuchtgebiete könnten diese wesentlich zur quantitativen und qualitativen Entlastung der Fließgewässer und in diesem Sinne zu einem funktionalen Gewässerschutz beitragen. Über einen vergleichmäßigen Hydrographen [Abflussganglinie] ließe sich die Abflussdynamik verringern und ein Hochwasserschutz gewährleisten. Die zeiträumliche Realisierung solcher Maßnahmen gibt der Flusslauf vor. Beginnt man nicht an den Oberläufen von Gewässern, sondern an Unterläufen, um sie dann flussaufwärts anzulegen, „könnten die Anstrengungen möglicherweise schon bald durch eine Flutwelle zunichte gemacht werden“ (ebd. 172).

Über eine Abstufung des Handlungsbedarfes ist es möglich eine Maßnahmenplanung großen zeiträumlichen Maßstabs abzuleiten. Solch eine Maßnahmenplanung ist allerdings keineswegs als statisch zu betrachten. Nur wenn Planung als Prozess verstanden wird (ebd. 182), kann sie sich - optimal angepasst an die Dynamik der Natur - weiterentwickeln.

## 4.9 Fazit

Mit Hilfe des ETR – Modells wird Natur in ihrer Bedeutung für den Menschen greifbar. Gleichzeitig gehen aus dem ETR – Modell konkrete Maßstäbe zur Beurteilung und Überprüfung nachhaltiger Strategien auf ihre Richtungssicherheit hervor. Statt einem Schutz von Strukturen rückt es den Schutz der für den Menschen essentiellen Naturfunktionen in den Vordergrund. Diese sind im Gegensatz zu anthropogen geschaffenen Landschaften kaum verhandelbar. Damit verliert der Umgang mit der Natur bzw. mit dem Wasser in der Landschaft jede Beliebigkeit.

Die Natur in ihrer Funktion als Lebensgrundlage für den Menschen auf Dauer nutzen zu können, setzt voraus, dass natürliche Grenzen, wie die zeiträumliche Pufferfähigkeit einer Landschaft, erkannt werden. Im Grunde ist dieser Ansatz - natürliche Grenzen als Chance zu begreifen - so alt wie es Hochkulturen gibt, die es verstanden, die Natur als ihre Lebensgrundlage zu erhalten (Kap 1.1). Der permanente Zugewinn zeiträumlicher Freiheitsgrade durch Maßnahmen wasserwirtschaftlicher Praxis mag wesentlich dazu beigetragen haben, dass natürliche Grenzen in unserer Kultur überwindbar erschienen. Natur in ihrer Fähigkeit zur Selbstoptimierung ist bis heute weitgehend unerkannt geblieben und wenig genutzt worden. Naturräumliche Eingriffe gelten noch immer als notwendiges Übel, um die Interessen des Menschen, die „im Gegensatz zu den Realitäten der Natur stehen“, durchzusetzen (Kap 2.2).

Das ETR – Modell liefert erstmals den Strategien des „Einklinkens in die Natur“ ein wissenschaftliches Fundament. Damit wird sichtbar, inwieweit Eingriffe in der Lage sind Naturfunktionen zu degradieren oder die natürliche Selbstoptimierung zu nutzen und zu fördern.

## **5 Synthese – Bewertung wasserwirtschaftlicher Ziele, Maßstäbe und Betrachtungsweisen aus ökosystemarer Sicht**

Im folgenden soll der grundlegende Einfluss, der sich aus ökosystemarer Sicht auf wasserwirtschaftliche Herangehensweisen ergibt, verdeutlicht werden. Die unterschiedlichen Grundannahmen, die wasserwirtschaftlichen und ökosystemaren Zielen, Maßstäben und Betrachtungsweisen zu Grunde liegen, sollen dabei zum Vorschein kommen. Der Blick, der sich aus ökosystemarer Sicht auf den Landschaftswasserhaushalt Brandenburgs ergibt, wird anschließend kurz beschrieben.

### **5.1. Bewertung wasserwirtschaftlicher Grundannahmen**

Aus ökosystemarer Sicht sind einige Grundannahmen der Wasserwirtschaft in Frage zu stellen.

Das Ziel jeglicher Wasserwirtschaft - der „bestmögliche Ausgleich zwischen dem Wasserbedarf und seiner Deckung aus dem natürlichen Dargebot“ (Kap 2.2) - wirft aus ökosystemarer Sicht bereits in sich Fragen auf. So beruht es z.B. auf der Grundannahme, dass „die natürlichen Gesetzmäßigkeiten von denen das Wasserdargebot beherrscht wird, bis auf wenige Ausnahmen unvereinbar mit dem Lebensrhythmus des Menschen und seinem politisch, wirtschaftlich und verkehrsmäßig bestimmten Siedlungsverhalten sind“ (Kap 2.2). Doch sind sie wirklich unvereinbar? Sind wasserwirtschaftliche Eingriffe zum Ausgleich ihrer Unvereinbarkeit tatsächlich eine generell wünschenswerte, wenn auch aus heutiger Sichtweise problematische Notwendigkeit (Kap 2.5)? Verstellt man sich nicht im Grunde genommen, solange die Selbstoptimierungsprozesse der Natur als Gegensatz zu dem „politisch, wirtschaftlich und verkehrsmäßig bestimmten Siedlungsverhalten des Menschen“ (Kap 2.2) verstanden werden, von vornherein den Weg zu etwas, was man auch als eine der großen und vor allem lebensessentiellen Herausforderungen an den Menschen betrachten könnte: ein Umgang mit dem Wasser im „Einklang mit der Natur“? Schließt man damit nicht gleichzeitig von vornherein die Möglichkeit aus, die für den Menschen essentiellen Funktionen der Natur auf Dauer zu erhalten? Letztlich stellt sich die Frage, inwieweit die funktionale Bedeutung des Wassers in der Landschaft bislang überhaupt erkannt worden ist, wenn davon ausgegangen wird, dass ein Ausgleich zwischen Rhythmen „menschlichen Lebens“ und denen der Natur (Kap 2.2), statt einem Angleichen an die Rhythmen der Natur stattfinden muss.

Kritik an der Richtungssicherheit eigener Ziele, Maßstäbe und Strategien hat sich in der Wasserwirtschaft bislang in erster Linie aus der Erkenntnis ergeben, dass sich „Umweltauswirkungen“ bemerkbar gemacht haben (Kap 2.4). Eine Störung des Landschaftswasserhaushaltes wird nur für Ostdeutschland als wesentliches Kernproblem thematisiert, was nichts darüber aussagt, wie es sich mit dem Wasserhaushalt in anderen Gegenden Deutschland verhält. Die nationale „Hauptsorge“ (Kap 2.4) gilt der Gewässergüte sowie der Struktur der Gewässer. Da die Umweltauswirkungen als „Indiz für ein Übergewicht von Nutzungs- gegenüber Schutzinteressen“ (Kap 2.4) betrachtet werden, soll ihnen mit Hilfe eines Leitbildes nachhaltiger Wasserwirtschaft, das Schutzinteressen in den Vordergrund rücken lässt, richtungssicher begegnet werden. Damit soll dieses Leitbild etwas leisten, was

die wasserwirtschaftliche Maßgabe des „bestmöglichen Ausgleichs“ (Kap 2.2) unter den Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes und den wachsenden Restriktionen bislang scheinbar nicht vermochte: das Ende einer gewissen Beliebigkeit des wasserwirtschaftlichen Handlungsspielraums. Genau dies können die Ziele und Maßstäbe, die bislang im Zusammenhang einer nachhaltigen Wasserwirtschaft formuliert wurden, aus ökosystemarer Perspektive jedoch nicht leisten.

Skepsis, ob sich das erreichen lässt, kommt auch aus den eigenen Reihen der Wasserwirtschaft. Neben grundsätzlichen Zweifeln an den bisher formulierten Zielen und Maßstäben, wird die Unvereinbarkeit von (Schutz)Interessen thematisiert (Kap 2.6). Problematisiert werden unter anderem auch Verstöße von „außen“ gegen das Leitbild wasserwirtschaftlicher Nachhaltigkeit oder das Fehlen einer „starken wasserwirtschaftlichen Lobby“ (Kap 2.5).

## **5.2. Vergleich zwischen ökosystemaren und wasserwirtschaftlichen Herangehensweisen**

Aus ökosystemarer Perspektive richtet sich ein Hauptaugenmerk auf die Formulierung der Schutzinteressen selbst. Dem weiten Feld an Schutzinteressen im Rahmen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft, das kaum transparent und sogar in sich widersprüchlich ist (Kap 2.6), stellt eine ökosystemare Betrachtung den Schutz der Naturfunktionen (Kap 4.6) als „wenige“ nicht verhandelbare „Interessen“ gegenüber. Deren Geltungsbereich bezieht sich aus einer funktionalen Perspektive von vornherein auf jegliche Naturnutzung weit über den Bereich wasserwirtschaftlicher Praxis hinaus. Problematisiert werden neben dem Fehlen eindeutiger Zielsetzungen, die heutigen wirtschaftlichen und institutionellen Rahmenbedingungen, die ein effizientes Umsetzen dieser Ziele verhindern. Eine detaillierte Erörterung der Unvereinbarkeit von bestehenden administrativen Strukturen und den Erfordernissen zukunftsorientierter Problemlösungen würden den Rahmen dieser Studie sprengen.

Rückt man den Schutz der Naturfunktionen in den Vordergrund wasserwirtschaftlicher Nachhaltigkeitsbetrachtungen, kommt man nicht umhin die kurzgeschlossenen Wasserkreisläufe wie die parallelisierten Prozesse von Verdunstung und Kondensation, deren Prozessverteilungen stets an „Phasengrenzflächen (z.B. flüssig-gasförmig in den Wolken, oder fest-gasförmig an der Erdoberfläche) gebunden sind“ (RIPL & WOLTER 2002b, 5) als wesentlichen Kernaspekt zur Betrachtung und Beschreibung des Wasserhaushaltes in der Landschaft heranzuziehen. Während sie nach dem ETR – Modell als zentrale Prozessgröße im Wasserhaushalt gesehen werden, auf deren Beschädigung landschaftliche Schäden durch Versteppungsprozesse und Hochwasser direkt zurückgeführt werden, wird ihnen aus wasserwirtschaftlicher Sicht jedoch noch immer wenig Beachtung geschenkt. Das zeigen wasserhaushaltliche und klimatische Modellierungen, allen voran die Wasserhaushaltsgleichung als „ausreichende Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen“. (Kap 2.2) Diese ist in sich linear. Die nicht-linearen Prozesse an den Phasengrenzflächen werden somit von vornherein nicht berücksichtigt. Darüber hinaus erscheint der aus ökosystemarer Sicht so essentielle Prozess der Verdunstung in dieser Gleichung als Verlustprozess. (RIPL & WOLTER 2002b, 11)

### 5.3. Konsequenzen aus der ökosystemaren Herangehensweise

Rückt man den Schutz der Naturfunktionen in den Vordergrund wasserwirtschaftlicher Nachhaltigkeitsbetrachtungen, hat das grundlegenden Einfluss auf bislang unlösbar erscheinende Zielkonflikte bei der Priorisierung von „Schutzinteressen“.

?? Beispiel: Flächenansprüche bezüglich Grundwasserneubildung und Wasserrückhalt

Als ein Beispiel sei der oftmals formulierte und scheinbar unlösbare Zielkonflikt zwischen Flächenansprüchen bezüglich Grundwasserneubildung und Wasserrückhalt genannt (Kap 2.6). Die allgemein als positiv und notwendig angesehene Grundwassernutzung, die den Boden als Filtermedium ausnutzt, sowie das große Interesse an der Grundwasserneubildung, ist aus ökosystemarer Sicht mehr als fragwürdig zu betrachten. So selbstverständlich diese beiden Nutzungsformen sein mögen, so sehr tragen sie zu einer Dynamisierung von Stofflösungsprozessen bei. In diesem Sinne erscheint auch das oftmals als Problem thematisierte „Nitrat im Grundwasser“ aus einem anderen Blickwinkel, da diesem Problem eine hohe Prozessdynamik im Boden voraus geht. Destabilisierend in Bezug auf den Erhalt der Naturfunktionen stellen sich Grundwassernutzung und Grundwasserneubildung auch aus einem anderen Grund dar. Indem sie dazu beitragen das Grundwasser in die Tiefe zu verlagern, fördern sie den Verlust an oberflächlichem Wasser für den Kühlprozess. (RIPL & WOLTER 2002b, 12)

Weitere Beispiele ergeben sich aus dem fragwürdigen Zielkonflikt zwischen Klima-, Gewässer- und Naturschutz um den Einsatz von Wasserkraft (Kap 2.6). Dieser Zielkonflikt wirft aus ökosystemarer Betrachtung weniger die Frage „Wasserkraft ja oder nein?“, als vielmehr die Frage nach dem „worum es bei den Schutzinteressen eigentlich geht?“ auf.

?? Beispiel: Klimaschutz

Klimaschutz wird heute in erster Linie mit einer Reduktion von CO<sub>2</sub> in Verbindung gebracht. Die entscheidende Rolle, die das Wasser bei klimatischen Prozessen spielt, indem es über kurzgeschlossene Wasserkreisläufe die Temperaturverteilung an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre zu vergleichmäßigen vermag (RIPL & WOLTER 2002b, 6), wird bislang kaum berücksichtigt. Vernachlässigt wird, dass „katastrophale sommerliche Starkregenereignisse und die daraus gebildeten Hochwasserwellen erst möglich werden, wenn weiträumige und beträchtliche Temperaturdifferenzen auftreten“ (ebd. 10). Sie stellen Ausgleichsphänomene dar, die aus einer „Energiedissipation über eine schwerwiegende Verlagerung der Atmosphärendynamik“ resultieren (ebd. 11, vgl. Kap 4.2). Geradezu verquer erscheint der Umstand, dass zu erwartende Veränderungen des Wasserhaushaltes heute als angespannte Rahmenbedingungen bezeichnet und auf „treibhausgasbedingte“ Klimaänderungen zurückgeführt werden. Anstatt Projekte ins Leben zu rufen, die daran forschen, wie Landbewirtschaftung aussehen könnte, die einerseits Einfluss auf das Lokalklima und andererseits eine Pufferfähigkeit gegenüber globalen Einflüssen gewinnt, fließen die Gelder in Forschungsprojekte, die sich der „Optimierung von Landnutzung an ein

verändertes Wasserdargebot“ (Kap 2.4) widmen und eintretende Wassermangelsituationen als unveränderlich Zustand auffassen.

?? Beispiel: Gewässerschutz

Im Rahmen des Gewässerschutzes wird der Umstand, dass ein „sinnvoller Gewässerschutz nur an Land beginnen kann“ (RIPL ET AL 1996, 61), nur in Ansätzen Beachtung geschenkt. Wesentliche Voraussetzungen für eine einsetzende Selbstoptimierung werden jedoch erst durch eine Stabilisierung des Wasserhaushaltes an Land geschaffen. Erst dann kann der Flächenabfluss in die Fließgewässer möglichst gleichmäßig erfolgen und mit minimierten Transporten fester und gelöster Stoffe einhergehen (ebd.). Das Qualitätsproblem der Wasserwirtschaft ist über die Dynamik der Verlustprozesse in diesem Sinne direkt mit dem Mengenproblem gekoppelt. Jeder Eingriff, der primär darauf zielt „naturnahe Strukturen“ wiederherzustellen (Kap 2.4) und einen bestimmten Zustand zu stabilisieren, vernachlässigt die Dynamik der Natur. Jeder Eingriff setzt neue Prozesse in Gang, die das Ziel einen bestimmten Zustand erreichen zu wollen, von vorn herein in Frage stellen. Das Problem ist in diesem Zusammenhang auch weniger, dass „der ursprüngliche Zustand der Gewässer fast nirgends bewahrt werden konnte“ (Kap 2.4). Das Problem ist vielmehr, dass die Gewässer daran gehindert werden, ihre Funktion wahrzunehmen, zur Verlustarmut der Landschaft beizutragen (Kap 4.4.2.3).

?? Beispiel: Naturschutz

Ähnliches gilt für die wesentlichen Anliegen des Naturschutzes, dessen Schwerpunkt der Schutz bestimmter Typen von Lebensräumen, Lebensgemeinschaften oder bestimmter Arten ist. Auch ein solcher Schutz vernachlässigt die Dynamik der Natur. Während er damit einerseits den Schutz von landschaftlichen Strukturen geringen ökosystemaren Wirkungsgrades einschließt, schließt er gleichzeitig die Möglichkeit die Natur effizienzsteigernd zu nutzen von vorn herein aus. So ist es nicht nur aus finanzieller Hinsicht fragwürdig, ob „Landschaftspflege eine Ausgabe des Naturschutzes sein kann“ (Kap 2.6). Ein Naturschutz, der den Schutz eines Idealzustandes statt die Funktionsfähigkeit der Natur in den Vordergrund stellt, steht einer nachhaltigen Entwicklung in vielerlei Hinsicht im Weg. Dient der „potentiell natürliche Zustand“ (Kap 2.2) als Maßstab zur Beurteilung eines Ökosystems, wird sich kaum jemals die Kluft zu einer anthropogen beeinflussten und veränderten Landschaft – in der wir leben – überbrücken lassen. Landbewirtschaftung steht mit dieser Maßgabe in einem steten Widerspruch zur Idealvorstellung eines Ökosystems - eines Ökosystems, in dem der Mensch nicht vorkommt.

#### **5.4. Situation des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg**

Beobachten lässt sich ein intakter Wasserkreislauf erst durch die „Erfassung der integrativen Kopplung zwischen Wasser, Boden und Vegetation im Ökosystem“ (RIPL & WOLTER 2002b, 6).

Mit dem Verlust an Vegetation in der Landschaft und dem gleichzeitigen Verschwinden von Mineral-, Puffer-, und Nährstoffen im Boden werden die wesentlichen Voraussetzungen für

das „Zusammenbrechen“ eines intakten Wasserhaushalt geschaffen. Ein solcher Prozess, der mit einer einsetzenden Versteppung einhergeht, wie sie für verschiedene Regionen Europas, vor allem für Spanien beschrieben wird, ist in Brandenburg bereits weit fortgeschritten.

Auf Standorten mit basenarmen Böden, eine Bezeichnung, die für die glazial geprägten Sandböden Brandenburgs zutrifft, machen sich „Symptome der Erschöpfung“ von Ökosystemen seit geraumer Zeit bemerkbar. Sie äußern sich als Versauerungen, bzw. tiefgründige Entkalkungen. Bedingt sind solche Symptome durch erhebliche Stoffverluste (Cl, SO<sub>4</sub>, K, Ca, Mg), die sich ohne Chloridsalze („da diese zumeist auf punktuelle Einleitungen von NaCl über Kläranlagen und zu einem kleineren Teil als KCl aus Düngemitteln stammen“) in Deutschland im Mittel auf 1.283 kg/ha/a belaufen (HILDMANN 1999, 21). Gegenüber ursprünglich weitgehend unbeeinflussten Landschaftsausschnitten sind die Stoffverluste vielerorts um ein fünfzig- bis hundertfaches angestiegen (RIPL ET AL. 1997, 1). Ein Ausgleich durch Kalkungen würde Billionen kosten (BRÜLL 1998, 12).

Statt gleichmäßigen Kühlstrukturen dominieren heute dränierte Böden, Kulturen mit Steppenpflanzen und versiegelte Flächen, sogenannte „hot spots“ (RIPL & WOLTER 2002b, 4), weite Teile der Landschaft Brandenburgs. Temperaturmessungen von Tag-Nacht-Differenzen im Sommer (in 10 cm Höhe über der Bodenoberfläche) ergaben z.B. für einen Buchenwald im Mittel 7°C, für einen Acker 17°C (ebd.).

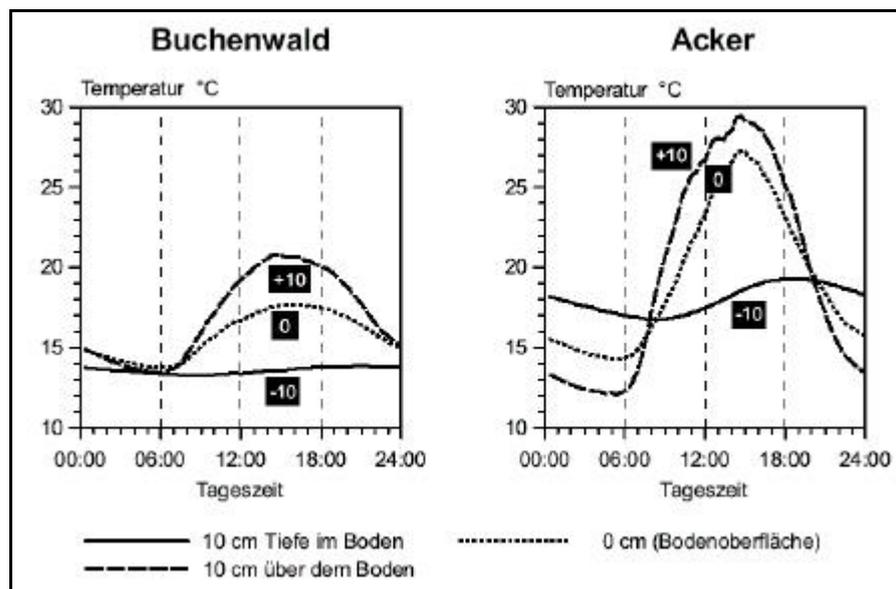


Abb. 20: Temperaturtagesgang Stör-Einzugsgebiet im Buchenwald und auf einem Acker von Juni bis August (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 4)

Aus Satellitenbildern des thermischen Infrarotkanals gehen räumliche Temperaturschwankungen hervor. Beispielsweise lassen sich auf dem abgebildeten Satellitenbild von Mecklenburg-Vorpommern und dem nördlichen Brandenburg (aufgenommen an einem wolkenlosen Sommertag) Waldflächen von landwirtschaftlichen Flächen und Städten eindeutig unterscheiden (Abb. 20). Selbst das Oderbruch, eines der ehemals größten Feuchtgebiete Brandenburgs, erscheint hier als überhitzte Fläche.

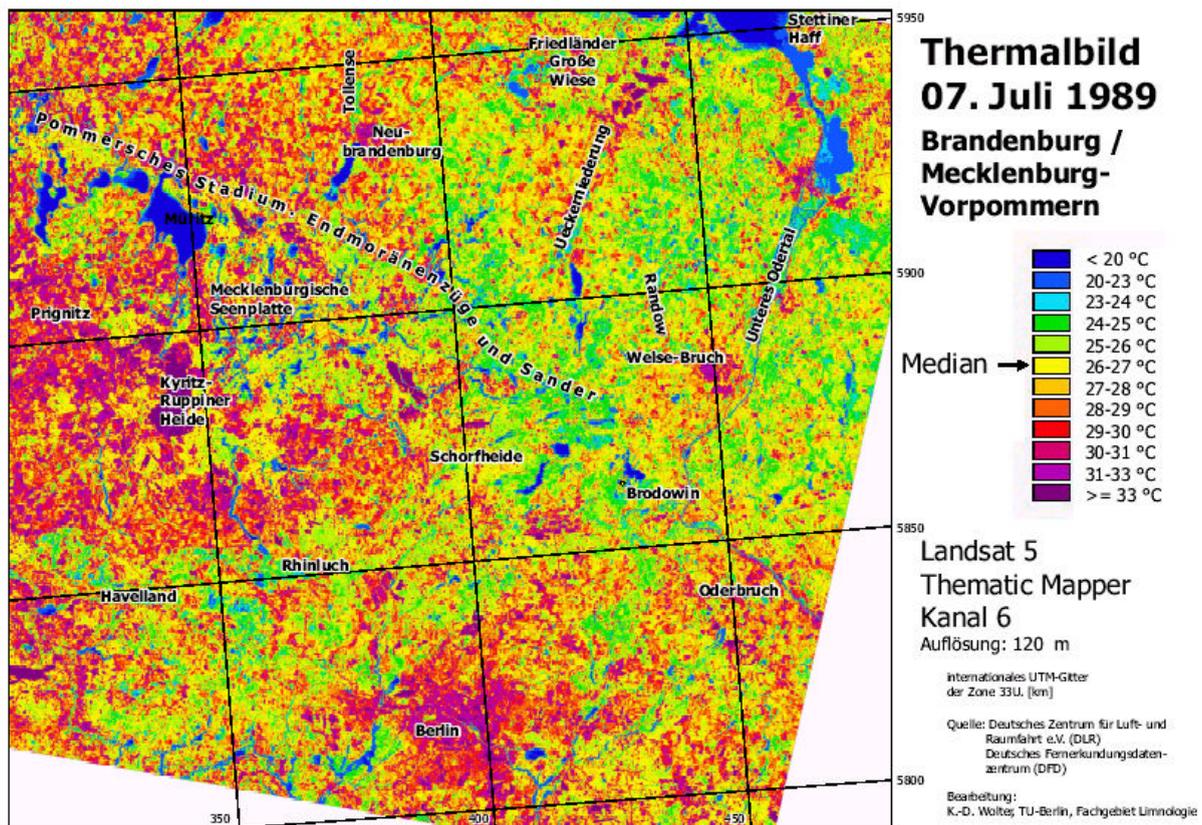


Abb. 21: Satellitenbild der Temperatur Mecklenburg-Vorpommern und nördliches Brandenburg (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 9)

Niederschläge von 400 l/m<sup>2</sup> in 48 Stunden, wie sie im August im Erzgebirge fielen, sind als lokale klimatische Phänomene Beispiel dafür, dass der Wasserhaushalt vielerorts „verrückt spielt“ (ebd. 2). Im Norddeutschen Raum ist ein Rückgang der Sommerniederschläge zu verzeichnen, vor allem im Juli und August. Ein solcher Rückgang deutet auf eine Verlagerung der Niederschläge in die kühleren Jahreszeiten hin (Kap 4.7.2). Ein allgemeiner Rückgang der Niederschläge im Sommer ist z.B. für den Zeitraum zwischen 1970 und 1989 in Berlin-Dahlem nachgewiesen worden (RIPL & WOLTER 2002b, 3).

Obwohl die Art und Weise der Flächenbewirtschaftung sowie wasserwirtschaftliche Praktiken wie sie für Brandenburg beschrieben wurden, in ähnlicher Form in weiten Teilen Deutschlands zum Einsatz gekommen sind, ist ein „gestörter Landschaftswasserhaushalt“ bislang allein dort Thema geworden. Was Regionen wie Brandenburg jedoch in ihrem Wasser- und Stoffhaushalt von jenen unterscheidet, die die Probleme der Wasserknappheit (noch) weit von sich weisen, ist in direktem Zusammenhang zur Pufferkapazität der Landschaft zu sehen (Kap 4.7).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

„Jede Art des Denkens bildet sich in einem Kontext existierender Denkgewohnheiten heraus. Die Naturwissenschaft macht da keine Ausnahme. Jede Zeit besitzt ihr allgemein anerkanntes Modell der Wirklichkeit, häufig „Paradigma“ genannt, und dieses Modell beinhaltet Grundannahmen, die nicht oder kaum bezweifelt werden und daher leicht zur Gewohnheit werden“ (SHELDRAKE 1998, 12).

Das mit dem ETR-Modell einhergehende Naturverständnis, das sich auf die Strategien naturräumlicher Selbstoptimierung gründet, bedeutet in vielerlei Hinsicht einen Paradigmenwechsel. Ein Zurücklassen vieler Gewohnheiten, die die Nutzung und den Schutz des Naturraums heute bestimmen, setzt ein ökosystemares Verständnis von Natur – auf dem Weg einer nachhaltigen Entwicklung – voraus.

Mit Hilfe des ETR – Modells, lässt sich die Natur in ihrer Komplexität durch eine Hierarchisierung naturräumlicher Prozesse entwirren. Den Prozessen, die für eine verlustarme Dissipation des täglichen Energiepulses der Sonne sorgen und damit die Stabilität, bzw. die Nachhaltigkeit eines Ökosystems bedingen, wird die zentrale Bedeutung beigemessen. Gemeint sind die Prozesse des Temperatúrausgleichs sowie der Stoffkreislaufführung. Als verbindendes Element liegt das Wasser den naturräumlichen Prozessen zu Grunde.

Die Richtungssicherheit von Maßnahmen kann danach beurteilt werden, inwiefern diese Maßnahmen den übergeordneten Zielen einer nachhaltigen Entwicklung entsprechen. Je nach dem welche Wirkungsweisen von den Maßnahmen einer Planung, die die Nutzung des Naturraums einschließt, zu erwarten sind, lassen sie sich darüber hinaus in eine zeitliche und räumliche Hierarchie einordnen. Vorranggebiete und eine zeitlich abgestufter Handlungsbedarf orientieren sich dabei direkt an den zeiträumlichen Gegebenheiten eines Standortes. Nur wenn eine naturräumliche Planung als dynamischer Prozess verstanden wird, lassen sich gesellschaftliche Ziele und Interessen durch die Selbstoptimierung der Natur effizient ergänzen und zukunftssicher weiterentwickeln. Solange ein Idealzustand angestrebt wird, ist eine solche Weiterentwicklung nicht möglich.

Einer Fülle an möglichen Maßnahmen und Strategien, die kurz-, mittel- und langfristig zu einem funktionalen Gewässer- und Hochwasserschutz, zu einer allgemeinen Stabilisierung lokaler Landschaftswasserhaushalte und einer nachhaltigen gesellschaftlichen Entwicklung beitragen, steht heute eine Fülle an politischen und administrativen Rahmenbedingungen gegenüber. Die Geschwindigkeit, in der sich eine Gesellschaft nachhaltig zu entwickeln vermag, hängt somit wesentlich davon ab, inwieweit grundlegende Veränderungen politischer und administrativer Rahmenbedingungen in Gang gesetzt werden, die die Diskrepanz von „Wirtschaftlichkeit“ und „natürlicher Effizienz“ schließen.

Große Herausforderungen stellen sich außerdem an die Zusammenarbeit interdisziplinärer Fachrichtungen. Erst, wenn die unterschiedlichen Fachgebiete ein gemeinsames Leitbild verbindet, das richtungssicher und messbar ist, kann sich daraus eine gemeinsame Sprache entwickeln. Durch eine gemeinsame Sprache lässt sich die Fruchtbarkeit interdisziplinärer Zusammenarbeit erheblich steigern. Eine nachhaltige Entwicklung setzt eine solche Sprache voraus. Das funktionale Leitbild, das sich aus dem ETR – Modell ableitet, liefert interdisziplinärer Zusammenarbeit in diesem Sinne ein wesentliches Fundament.

In ein ganz neues Licht rücken Bedeutung und Funktion der Landwirtschaft für eine Gesellschaft, wenn man die für den Menschen so essentiellen Naturfunktionen als Flächenfunktionen begreift. Befindet sich die Landwirtschaft heute, vor allem durch die wirtschaftlichen „Sachzwänge“ und Subventionen, eher auf einem gesellschaftlich absteigenden Ast (jährlich sterben rund 30.000 Höfe), kann sie als Erhalter und Wiederhersteller einer intakten Natur zukünftig die funktionale Basis einer Gesellschaft bilden. In dieser Rolle wäre sie neben der Bereitstellung von Nahrung auch für „Energie, Wasser, Ver- und Entsorgung, Landschaftswasserhaushalt sowie den funktionalen Naturschutz zuständig“ (RIPL & WOLTER 2002b, 16).

Durch das funktional definierte Leitbild ist bereits heute das Fundament für einen Prozess vorhanden, der die Kluft zwischen naturwissenschaftlichem Fortschritt und dem Wunsch diesen in Einklang mit der Natur zu vollziehen, zu schließen vermag. Ganz neue Möglichkeiten einer nachhaltigen Entwicklung ergeben sich, die nicht länger mit „Umweltverträglichkeit“ gleichgesetzt werden müssen. Solange starre, statische Bilder von der Natur vorherrschen, nimmt man „unerwünschte Reaktionen“ der Natur als Fehler wahr, die es zu überwinden gilt (Beispiel: Verkräutung von Entwässerungsgräben). Eine große Herausforderung besteht darin solche „unerwünschten Reaktionen“ als „natürliche Grenzen“ zu erkennen und als Hinweis auf einen Destabilisierungsprozess zu verstehen. In diesem Zusammenhang ist die Effizienz künstlicher Puffer, wie Ausgleichszahlungen zur Kompensation von Symptomen degradierender Ökosysteme, grundlegend in Frage zu stellen.

Das Begreifen der Natur als dynamisches System, das auf den Funktionen des Wassers in der Landschaft aufbaut, ist hilfreich, um „unerwünschte Reaktionen“ der Natur als Ausdruck einer Selbstoptimierung zu erkennen. Darüber hinaus eröffnet eine solche Sichtweise die Möglichkeit optimierend in die Prozesse der Natur eingreifen zu können. Damit sich die „unerwünschten Reaktionen“ allerdings in ökologische sowie wirtschaftliche Herausforderungen verwandeln können, sind Veränderungen politischer und administrativer Rahmenbedingungen, die die natürlichen Grenzen der Natur widerspiegeln, Voraussetzung. Voraussetzung sind sie auch, um „Gewohnheiten“ aufzugeben, die daran festhalten Zustände zu optimieren, die sich nicht optimieren lassen, zumindest dann, wenn sich eine Gesellschaft im Einklang mit der Natur weiterentwickeln will. Eine effiziente Nutzung der Natur bedingt in erster Linie eine Optimierung von Prozessen und Funktionen.

In diesem Sinn hängt auch der Nutzen von Technik davon ab, inwieweit sie sich der Dynamik der Natur anzupassen vermag, statt die Natur so zu gestalten und zu formen, dass sie sich der Technik anpasst.

Wasser ist Grundlage lebensspendender Prozesse. Sein Reichtum an Fähigkeiten und Formen, Funktions- und Wirkungsweisen ist stets gebunden an Ort und Zeit. Unsere Gesellschaft befasst sich nun seit Jahrhunderten damit sich allmählich vom „natürlichen“ Wasserfluss der Landschaft zu lösen. Eine entscheidende Aufgabe besteht in Zukunft darin, diese Entwicklung wieder in eine Richtung zu lenken, die es ermöglicht, den natürlichen Wasserfluss zu nutzen und zu erhalten. Dies wird zukünftig auch eine große Herausforderung an die Wasserwirtschaft darstellen.

## Literaturverzeichnis

AGRAR- & UMWELT JOURNAL (A & U Journal) (2001): Brandenburgs Wasser wird knapp. Gewässerschutz, Juni 2001, 36–37.

ALPERS, Klaus (1988): Wasser bei Griechen und Römern. In: Böhme, H. (Hg.): Kulturgeschichte des Wassers, 65-98. – Frankfurt am Main

ALSING, Ingrid (1995): Landwirtschaftslexikon. – München

AUGROS, Robert & STANCIU, George (1988): Die Neue Biologie: Evolution und Revolution in der Wissenschaft vom Leben. – Bern

BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN (BI) (6.11.02): Bundesregierung zieht vorläufige Schadensbilanz der Hochwasserkatastrophe  
[http://www.bmi.bund.de/dokumente/Pressemitteilung/ix\\_90912.htm](http://www.bmi.bund.de/dokumente/Pressemitteilung/ix_90912.htm)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (UBA) (2001): Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 1: Grundlagen. – Bonn

BRETSCHNEIDER, Hans (1993): Fließgewässerausbau. In: BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K., SCHMIDT, M. (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 471-533. – Hamburg

BRÜLL, Anja (1998): Transparente Landschaft im Fluss des Wassers – Beiträge zu einer nachhaltigen Landbewirtschaftung in Raum und Zeit. Diplomarbeit im Studiengang Landschaftsplanung, Fachgebiet Limnologie, Professor Wilhelm Rippl, Institut für Ökologie und Biologie, Technische Universität Berlin. – Berlin

COVENEY, Peter & HIGHFIELD, Roger (1994): Anti – Chaos. Der Pfeil der Zeit in der Selbstorganisation des Lebens. -Hamburg

DÖRTER, Klaus (1986): Landwirtschaftliche Melioration - Pflanzenproduktion. – Ost-Berlin

ELLMANN, Holger (1995): Die kulturhistorische Entwicklung und Nutzung des Elbe – Havel – Gebietes aus wasserwirtschaftlicher Sicht. In: Naturschutz im Land Sachsen – Anhalt., Sonderheft, (Hg.) Landesumweltamt Sachsen – Anhalt, 5–9

ERCHINGER, Heie (1993): Küsteningenieurwesen. In: BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K., SCHMIDT, M. (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 679–688. – Hamburg

GLOY, Karen (1995a): Das Verständnis der Natur – Die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens. Band I. – München

GLOY, Karen (1995b): Das Verständnis der Natur – Die Geschichte des ganzheitlichen Denkens. Band II. – München

GLOWA: [www.tu-berlin.de/~oekosys/Forschung\\_Spreewald.htm](http://www.tu-berlin.de/~oekosys/Forschung_Spreewald.htm)

Projekt im BMBF - Verbundvorhaben "Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet

HARMS, Oliver (1999): Nachhaltige Wasserwirtschaft und Binnenschifffahrt – Stellungnahme. In: UMWELTBUNDESAMT (Hg.): Dokumentation des Fachgespräches „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ vom 1. Juni 1998 in Berlin, 39-53. – Berlin

HEILAND, Stefan (1992): Naturverständnis – Dimensionen des menschlichen Naturbezugs. – Darmstadt

HILDMANN, Christian (1999): Temperaturen in Zönosen als Indikatoren zur Prozessanalyse und zur Bestimmung des Wirkungsgrades – Energiedissipation und beschleunigte Alterung der Landschaft. Dissertation am Fachgebiet Limnologie, Fachbereich Umwelt und Gesellschaft, TU Berlin

HOFFMANN, Albrecht (2001): Wasserwirtschaft im Wandel. Publikation des Fachgebietes Wasserwirtschaft und Wasserbau der Universität Kassel

INGENIEUR-, HYDRO- UND UMWELT GEOGRAPHIE mbH (IHU) (1997): Landschaftsplan der Amtsgemeinde Neustadt/Dosse

JANTSCH, Erich (1982): Selbstorganisation des Universums. – München

KALWEIT, Heino (1998): Schöpfung aus Wald und Wasser – Geschichte der Wasserwirtschaft in Brandenburg und Berlin. – Stuttgart

KLEMM, Volker (1998): Geschichte der Landwirtschaft in Brandenburg. – Budapest

KRAEMER, Andreas (1999): Zusammenfassung des Abschlussberichtes „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland. In: UMWELTBUNDESAMT (Hg.): Dokumentation des Fachgespräches „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ vom 1. Juni 1998 in Berlin, 3–24. – Berlin

LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (LUA) (2001): Standortkundliche Untersuchungen in gepoldertem Auengrünland der Großen Grabenniederung. In: Berichte aus der Arbeit 2000 – Ökologie und Umweltanalytik, 109-113. – Potsdam

LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (LUA) (2002): Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg. Posterausstellung. – Potsdam

LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (LUA) (2002): Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg. Information zur Posterausstellung, Broschüre. – Potsdam

LANDGRAF, Lukas & KRONE, Andreas (2002): Wege zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes in Brandenburg. In: GFW Wasser Abwasser, Bereich Hydrologie (5), 435–443

LÜDEKE, Mathias (1999): Anmerkungen zum Nachhaltigkeitskonzept der Studie „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“. In: UMWELTBUNDESAMT (Hg.): Dokumentation des Fachgespräches „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ vom 1. Juni 1998 in Berlin, 25–30. – Berlin

MANIAK, Ulrich (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft – eine Einführung für Ingenieure.

MANIAK, Ulrich (2001): Wasserwirtschaft – Einführung in die Bewertung wasserwirtschaftlicher Vorhaben. – Heidelberg

MÖLLER, O. (1968): Hydromelioration und Bewässerung. Lehrbuch für sozialistische Berufsausbildung. DDR

MÜLLER, Artur & AMMON, Rolf (1972): Die Sieben Weltwunder – 5000 Jahre Kultur und Geschichte der Antike. – München

NEIDHART, Volker (1999): Persönliches Statement zu Handlungsoptionen und Maßnahmenplan Landwirtschaft und Landschaftspflege. In: UMWELTBUNDESAMT (Hg.): Dokumentation des Fachgespräches „Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland“ vom 1. Juni 1998 in Berlin, 60–74. – Berlin

POKORNY, Jan (2001): Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. In: Renewable Energy (24), 641-645

PRIGOGINE, Ilya (1985): Vom Sein zum Werden – Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. – München

PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle (1990): Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. – München

POTT, H., JÜRGING, P. & KRAUS, W. (1998): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. – Berlin

RIPL, Wilhelm (1991): Das Energie – Transport – Reaktions – Modell (ETR – Modell) – ein prozessorales Wassermmodell als Grundlage für eine reduzierte gesamtökologische Betrachtung. In: Dt. Ges. für Limnologie (DGL). Erw. Zusammenfassung der Jahrestagung 1991, 531-535

RIPL, W. (1995): Nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. In: Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive, (Hrsg.): Fritz, P., Huber, J., Levi, H.W., S. 69-80. – Stuttgart

RIPL, W., TRILLITSCH, F., BACKHAUS, R., BLUME, H.-P., WIDMOSER, P., JANSSEN, Th., HILDMANN, C. & OTTO, I. (1996): Entwicklung eines Land-Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässer (Stör-Projekt I und II). Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein, Endbericht. – Berlin

RIPL, W. & HILDMANN, C. (1997): Ökosysteme als thermodynamische Notwendigkeit – systemökologische Überlegungen. In: Handbuch der Umweltwissenschaften. (Ed. by O. Fränze ET AL.) Loseblattsammlung 12 pp. Ecomed, – Landberg am Lech.

RIPL, W., JANSSEN, HILDMANN, C. & WOLTER, K. (1997): Systemanalyse für den ganzheitlichen Umweltschutz. Diskussionspapier zur Abschlußveranstaltung "Systemanalyse und Handlungsstrategien im Umweltschutz" am 10. Februar 1997 in der TU Berlin

RIPL, W. & WOLTER, K. (2002a): Ökosystemfunktion und –degradierung. Manuskript. Erweiterte deutsche Fassung von: Chapter 11: Ecosystem function and degradation. In: P.J. le B. Williams, D.R. Thomas & C.S.Reynolds (eds.): Phytoplankton productivity. Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems, 291–317. – Blackwell, Oxford

RIPL, W. & WOLTER, K. (2002b): Intakter Wasserhaushalt und intaktes Klima. Vorläufige Fassung, Veröffentlichung geplant für Wasser & Boden. – Berlin

RÖTTCHER, Klaus (2002): Prioritäten für Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes. In: KA – Wasserwirtschaft, Abwasser 49 (9), 1249–1257

SCHULTZ, Gert (1993): Wasserwirtschaftliche Planungen. In: BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K., SCHMIDT, M. (Hg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 363–398. – Hamburg

SHELDRAKE, Rupert (1998): Das Gedächtnis der Natur – Das Geheimnis der Entstehung der Formen in der Natur. – München

VORHOLZ, Fritz (2002): Die große Flut, die große Dürre. In: Die Zeit (35) 22.8.02, 11

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG (WBGU) (1997): Welt im Wandel – Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser, Jahresgutachten. – Berlin Heidelberg

v. ZABERN, Philipp (1987): Die Wasserversorgung antiker Städte. In: FRONTIUS GESELLSCHAFT (Hg.): Geschichte der Wasserversorgung, Band II. – Mainz

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das "vernässte" Havelländische Luch (Quelle: KALWEIT 1998, 42) .....	12
Abb. 2: Übersichtskarte zur Entwässerung des Havelländischen Luchs (Quelle: ebd. 43).....	13
Abb. 3: Durchstich durch den Neuenhagenener Horst (Quelle: ebd. 56) .....	14
Abb. 4: Beispiel für kombinierte Melioration (Rohdränung, Tiefenlockerung und Meliorationskalkung (Quelle: ALSING 1995, 434) .....	19
Abb. 5: Systeme zur Wasserregulierung (eig. Aufn., nahe Dosse und Jäglitz (Abb. 1), Sommer 2002).....	20
Abb. 6, Abb. 7: Der Flächenanteil an Auen und Mooren in Brandenburg: um 1700 und heute (Quelle: LUA 2001, 116 u. 117) .....	22
Abb. 8: Entwässerungsgraben (eig.....	23
Abb. 9, Abb. 10: Die Situation des Landschaftswasserhaushaltes im 3. Jh. n. Chr. und heute (Quelle: LUA 2002).....	23
Abb. 11, Abb. 12: Entkrautung zugewachsener Entwässerungsgräben. Die hohen Kosten lassen diesen Vorgang nur einseitig und nur einmal im Jahr zu. (eig. Aufn. nahe Dosse und Jäglitz, Sommer 2002).....	24
Abb. 13: Niederschlagsverteilung in Deutschland (Quelle: LUA 2002).....	25
Abb. 14: Einlenkung des Energiepulses auf den Mittelwert (Quelle: RIPL 1996, 20).....	44
Abb. 15: Prozesseigenschaften des Wassers (Quelle: HILDMANN 1999, 6) .....	45
Abb. 16: Die Zönosenkernstruktur schematisch dargestellt (Quelle: RIPL 1996, 23) .....	46
Abb. 17: Zwei Beispiele einer Zönosenkernstruktur: Aufwuchs auf.....	47
Abb. 18: Kurzgeschlossener Wasserkreislauf über einer intakten Landschaft (Quelle: RIPL & WOLTER 2002,7) .....	50
Abb. 19: Weit geöffneter Wasserkreislauf bei fehlender Kühlung der Landschaft (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 10) .....	56
Abb. 20: Temperaturtagesgang Stör-Einzugsgebiet im Buchenwald und auf einem Acker von Juni bis August (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 4) .....	65
Abb. 21: Satellitenbild der Temperatur Mecklenburg-Vorpommern und nördliches Brandenburg (Quelle: RIPL & WOLTER 2002, 9).....	66