

DIETER GERTEN

Panta Rhei. Vorstellungen des Wasser- kreislaufs und das Enigma der Verdunstung in historischer Perspektive

Abstract Water is perhaps the most extensively studied yet persistently incompletely understood substance. Due to the increasing mismatch between the finite natural availability of freshwater and the ever-increasing human water demand often exacerbated by inadequate management, has propelled the world into diverse crises of water quantity and quality, unmistakably marking an era of water scarcity. A characteristic hallmark of the Anthropocene is the globalization of water supply challenges, necessitating the offsetting of deficits through the import of goods from relatively water-rich regions via virtual water trade. Moreover, the compounding effects of climate change and ensuing droughts further intensify these water challenges, prompting a reassessment of the tangible and intangible worth of water and its finite nature. Within this framework, there arises a compelling imperative to critically interrogate and potentially revise contemporary concepts of the water cycle, mindful of their historical genesis. This essay attempts to do so with a primarily hydrological and earth-system lens, while striving for interdisciplinary insights. Drawing upon a variety of texts and secondary sources, it delineates the evolution of prominent conceptualizations and figures in the study of the water cycle since antiquity, suggesting the need to correct modern thinking about water.

Publiziert in: Matthias Schulz, Victoria von Flemming (Hg.): Vom Fließen der Dinge. Konzepte, Motive und Paradigmen von Fluidität aus frühneuzeitlichen und gegenwärtigen Perspektiven, Heidelberg: arthistoricum.net 2024, <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.1450.c20665>

Panta Rhei. Vorstellungen des Wasserkreislaufs und das Enigma der Verdunstung in historischer Perspektive

Hintergrund:

Globaler Wasserkreislauf und Wassermangel im Anthropozän

Wasser ist die vielleicht meiststudierte aber immer noch unvollständig verstandene Substanz. Ein Newtonsches Fluid, dessen Viskosität belastungsunabhängig ist, das in verschiedenen Aggregatzuständen (flüssig, gasförmig, fest) und Salinitätsgraden (Süß-, Brack-, Salzwasser) auftritt und in einem permanenten Kreislauf zwischen Atmosphäre, Ozean und Land ober- wie unterirdisch, bald sichtbar bald verborgen, zirkuliert. Die resultierenden Umverteilungen des Wassers spitzen sich im heutigen Zeitalter des *Anthropozän* mit dem anthropogenen globalen Klimawandel besonders zu: Phänomene wie Starkregen, Hochwasser, Gletscherschmelze und Meeresspiegelanstieg bedrohen große Teile der Menschheit in offensichtlich zunehmender Frequenz, Intensität und Ausdehnung.¹ Nicht minder gefährvoll ist ein Zuwenig an Wasser, denn dessen tägliche Zufuhr ist für Mensch, Tier und Pflanze absolut überlebensnotwendig. Von den riesigen Mengen an Wasser, die unser Planet beherbergt, ist nur ein verschwindend kleiner Bruchteil Süßwasser, das als Trinkwasser und für andere menschliche Zwecke potentiell nutzbar ist. Somit war und bleibt es für die menschliche Zivilisation eine Herausforderung, sich einen verlässlichen Zugang zu ausreichenden Mengen an Süßwasser von geeigneter Qualität zu verschaffen – und sich dabei ein grundlegendes Verständnis

1 Bryson Bates, Zbigniew W. Kundzewicz, Shaohong Wu u. Jean Palutikof (Hg.), *Climate Change and Water* (IPCC Technical Paper VI), Genf 2008, online abrufbar unter: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>; Marcel Finke und Cassandra Nakas, *Materials and Concepts of Fluidity. Toward a Critical Cultural Rheology*, in: Dies. (Hg.), *Fluidity – Material in Motion*, Berlin 2022, S. 7–16, hier S. 7.

des Wasserkreislaufs und der ungleichen Verteilung der Wasservorkommen in Raum und Zeit zu erarbeiten.

Schon für die antike Welt gibt es genügend Belege zu konstatieren, dass ein solches Bemühen quer durch alle sozialen Schichten dauerpräsent war. Ob zur Gewährleistung der täglichen Grundversorgung oder zum Machterhalt: »Water appears to have always been on the mind«.² So wurden damals und im weiteren Lauf der Menschheitsgeschichte zahllose und immer weiter ausgreifende Möglichkeiten geschaffen, Wasser zum täglichen Gebrauch im Haushalt, für die Bewässerung und für gewerbliche beziehungsweise später industrielle Zwecke zu erschließen. Zunächst fanden räumlich eher begrenzte Verfahren (Zisternen, Tau- und Nebelfallen, ober- und unterirdische Leitsysteme) weite Verbreitung. Später ermöglichten im Römischen Reich errichtete Aquädukte und in China angelegte große Kanäle die horizontale Umleitung von Wasser aus feuchten (Gebirgs-)Regionen über weite Strecken hinweg. Im 18. und insbesondere Mitte des 20. Jahrhunderts setzte neben Flussbegradigungen verstärkt der Bau von Talsperren ein und schließlich das großräumige Hervorholen von Grundwasser aus der Tiefe.³

Wegen des zunehmenden Missverhältnisses zwischen dem begrenzten natürlichen Süßwasserangebot und der kontinuierlich steigenden Nachfrage (bei teils mangelhaftem Management) ist die Welt mittlerweile mit verschiedensten Wassermengen- und Wasserqualitätskrisen konfrontiert und offenbar in eine Ära der Wasserknappheit eingetreten.⁴ Ein weiteres, globalisiertes Merkmal des Anthropozän ist, dass Wasserversorgungsprobleme durch Import von Gütern aus relativ wasserreichen Ländern über sogenannten *virtuellen Wasserhandel* ausgeglichen werden müssen.⁵ Zudem verschärfen der Klimawandel und damit einhergehende Dürren

- 2 Steven Mithen, *Thirst. Water and Power in the Ancient World*, London 2013, S. 289.
- 3 Für eine umfassende historische Darstellung vgl. Asit K. Biswas, *History of Hydrology*, Amsterdam/New York 1970.
- 4 Steven Solomon, *Water – The Epic Struggle for Wealth, Power, and Civilization*, New York 2010 sowie Matti Kummu, Joseph Guillaume, Hans de Moel et al., *The World's Road to Water Scarcity. Shortage and Stress in the 20th Century and Pathways Towards Sustainability*, in: *Scientific Reports* 6, 2016, Art. 38495, S. 1–16, <https://doi.org/10.1038/srep38495>.
- 5 Joel A. Carr, Paolo D'Odorico, Francesco Laio, Luca Ridolfi, *Recent History and Geography of Virtual Water Trade*, in: *PlosOne* 8, 2013, Art. e55825, S. 1–9, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055825>.

die Wasserprobleme weiter, weshalb der materielle und immaterielle Wert des Wassers und seiner Begrenztheit neu zu denken wäre.⁶

In diesem Kontext ist eine kritische Hinterfragung und gegebenenfalls Revision zeitgenössischer Konzepte des Wasserkreislaufs unter Beachtung ihrer Genese angeraten. Dies versucht das vorliegende Kapitel mit primär hydrologisch-erdsystemischem, dennoch möglichst interdisziplinärem Blick (der indes ideen-, kunst- und wissenschaftshistorisch weiter zu schärfen wäre). Aufbauend auf verschiedenen Texten und Sekundärquellen skizziere ich dafür die Entwicklung prominenter Wasserkreislauf-Konzepte und -Figuren seit der Antike. Für die Interpretation frühneuzeitlicher Vorstellungen war mir besonders die Pionierarbeit des Humangeografen Yi-Fu Tuan (1930–2022) dienlich, worin einige wesentliche Argumentationen bereits angelegt sind, und die auch spätere Schriften zum Thema inspiriert hat.⁷ Es zeigt sich, dass Wasserkreislauf-Vorstellungen zwar stets im Fluss sind (ganz gemäß dem Heraklit zugeschriebenen Aphorismus *panta rhei*), bestimmte Ideen aber auch Jahrhunderte nachhallen. Insbesondere die Überführung eigentlich theologischer Grundgedanken der Frühen Neuzeit (sowie deren spätere Engführung in Form bestimmter Kreisdiagramme) in die wasserwirtschaftliche Praxis stellt sich als kontinuierlich wirkmächtiges Leitbild heraus. Dem als Teil des Wasserkreislaufs lange unverstandenen, nicht liquiden und nicht sichtbaren Wasser – namentlich der Verdunstung – messe ich besondere Bedeutung bei. Ferner stelle ich heraus, dass das heutige erweiterte Konzept eines *hydrosozialen* (durch menschliche Aktivitäten stark modifizierten) Wasserkreislaufs eine Antithese zu früheren, auf natürliche Balance und Harmonie bedachten Sichtweisen bedeutet.⁸

Wasserkreislauf-Konzepte von der Antike bis zur Frühen Neuzeit

Nach heutigem Verständnis erneuert sich das Wasser im Gegensatz zu anderen natürlichen Ressourcen wie Erdöl und Kohle ständig, indem »wie in einem Uhrwerk viele kleine und kleinste Kreisläufe in Bewegung gesetzt, in Bewegung gehalten werden und ineinandergreifen«. ⁹ Von der

6 Dieter Gerten, Wasser – Knappheit, Klimawandel, Welternährung, München 2020.

7 Yi-Fu Tuan, The Hydrological Cycle and Wisdom of God. A Theme in Geoteology, Toronto 1968.

8 Jamie Linton, What is Water? The History of a Modern Abstraction, Vancouver 2010, S. 181–190.

9 Joachim Marcinek u. Erhard Rosenkranz, Das Wasser der Erde, Thun und Frankfurt am Main 1989, S. 37.

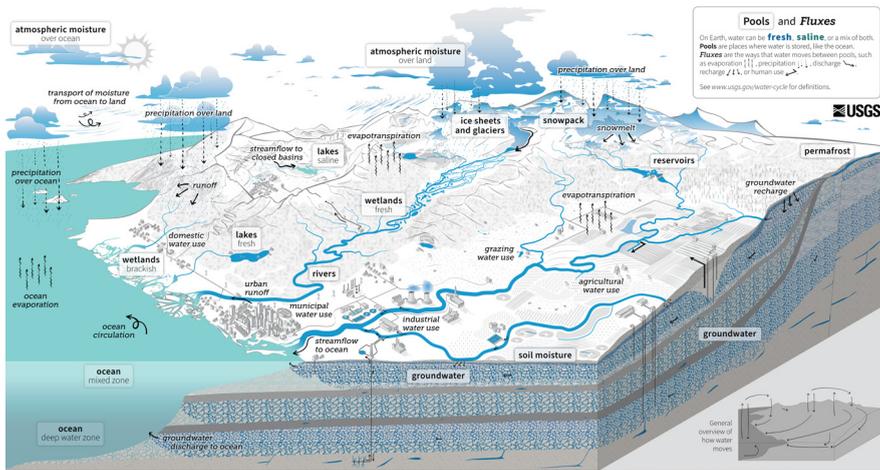


Abb. 1: Moderne schematische Illustration des Wasserkreislaufs mit Darstellung menschlicher Einflüsse.

Sonnenenergie angetrieben, verdunsten in diesen Wasserkreisläufen täglich große Mengen über den Meeres- und Landflächen, kondensieren bei Abkühlung in der Höhe, werden in teils weit entfernte Regionen transportiert, regnen wieder ab und gelangen – nach unterschiedlich langer Zwischenspeicherung in Seen, Böden und Grundwasserkörpern sowie regional erheblicher Beeinflussung durch menschliche Eingriffe – über das Flussnetz wieder ins Meer (Abb. 1).

Obgleich sich die Menschheit Jahrtausende darum bemüht hat, blieb dieses Wissen über die Herkunft des Wassers an Land, seine großräumige Zirkulation und seine (zunehmende) anthropogene Beeinflussung lange Zeit rudimentär und spekulativ. Im Wesentlichen folgten die Vorstellungen, wie ein Kreislauf beziehungsweise eine Balance der Wasserflüsse aussehen mag, drei idealtypischen Modellen. Diese lösten tendenziell im Lauf der Zeit einander ab, existierten teils aber auch lange parallel:

1. Der (im Vergleich zum heutigen Verständnis) *gegenläufige* Kreislauf, demzufolge Quellen und Flüsse unterirdischen Zuflüssen vom Meer zu verdanken sind; der Niederschlag über Land ist davon gänzlich abgekoppelt und reicht nur aus, Pflanzen genug Wasser für ihr Wachstum zuzuführen.
2. Der *vertikale* Kreislauf, nach dem überschüssiger Niederschlag und dem überschüssiger Tau auch Quellen und Flüsse speisen, also ohne Zutun unterirdischer Reservoirs.

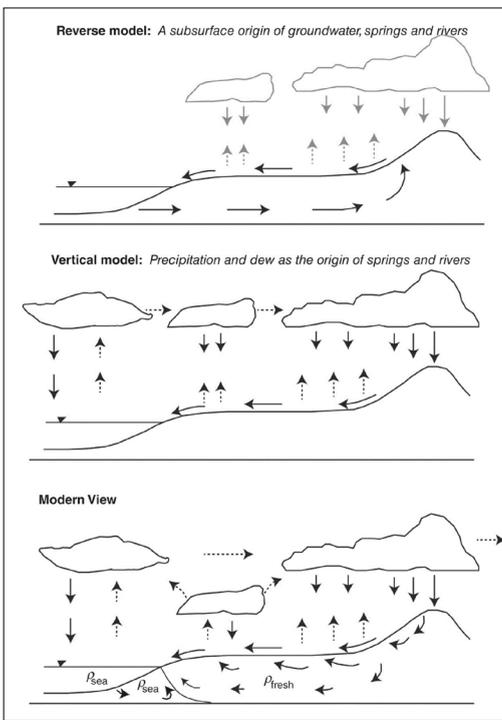


Abb. 2: Verschiedene Vorstellungen des Wasserkreislaufs.

A) ›Gegenläufiges‹ Modell mit Annahme aus dem Meer gespeister Quellen und davon entkoppeltem oberirdischen Kreislauf;
 B) ›Vertikales‹ Modell mit Annahme des Niederschlags als Quelle ohne Existenz unterirdischer Wasserreservoirs;
 C) ›Modernes‹ Modell mit geschlossenem ober- und unterirdischen Kreislauf und komplexen Wechselwirkungen zwischen diesen.

3. Das *moderne* Modell, demgemäß Grundwasser, Verdunstung, Vegetation sowie andere Faktoren und Prozesse intrinsische Bestandteile eines eng gekoppelten Systems sind (Abb. 2).¹⁰

Wie unten näher ausgeführt, haben mechanistische Erklärungen und empirische Beobachtungen in der Frühen Neuzeit das heutige physikalische Verständnis des Wasserkreislaufs auf solide Füße gestellt, wobei neuere Konzepte teils immer noch auf damalige bildliche und erzählerische Darstellungen rekurrieren. Allerdings liegen die Anfänge der hydrologischen Wissenschaften in den unterschiedlichen antiken Ideen vom Ursprung und der Bewegung des flüssigen und gasförmigen Wassers. Dabei wurden unterirdischen Strömen und tellurischen Exhalationen – frühen Vorstellungen der Verdunstung, allerdings unabhängig von Winden – auf verschiedene Art Bedeutung beigemessen.¹¹ Der Vorsokratiker Anaximander

¹⁰ Christopher J. Duffy, *The Terrestrial Hydrological Cycle. An Historical Sense of Balance*, in: WIREs Water, 2017, S. 1–21; zurückgreifend auf Tuan 1968 (wie Anm. 7), S. 51.

¹¹ Wilfried Brutsaert, *Evaporation into the Atmosphere. Theory, History, and Applications*, Dordrecht 1982, S. 12–36, hier S. 12–17. Zuvor herrschten naturmythologische Weltbilder vor, die dem Wasser und den Naturgewalten ehrfurchtsvoll gegenüberstanden – indessen »hydraulischen Gesellschaften« wie Ägypten wassertechnische Großprojekte zum

(um 610–546 v. Chr.) beschrieb den Regen als Ergebnis von Wasserdampf, der dank Sonnenkraft von der Erde aufsteige, was Anaximenes (um 585–526 v. Chr.) insofern weiter ausführte, als er annahm, dass die Kondensation von Luft (*sic!*) Wolken und schließlich je nach Temperatur Regen, Schnee oder Hagel hervorbringe. Xenophanes (zwischen 570 und 470 v. Chr.) konstatierte darüber hinaus, dass das Meer der Ursprung des Wassers sei, das anschließend aus Wolken über Land niederregne und Flüsse bilde. Schließlich war Anaxagoras (um 500–428 v. Chr.) wohl der erste Philosoph, der einen geschlossenen Wasserkreislauf erahnt hat: Die Flüsse würden sowohl durch Regen als auch durch unterirdische Wasserspeicher generiert.¹² Aristoteles (384–322 v. Chr.) tendierte in seiner Witterungslehre wiederum dazu, die unterirdischen Tunnel zu verneinen zugunsten der Annahme, dass Erwärmung durch Sonnenschein, Abkühlung der aufsteigenden »feuchten Ausdünstung« und so entstehendes Regenwasser die entscheidenden Prozesse seien. Sein Schüler Theophrastos (ca. 371–287 v. Chr.) verfeinerte dies zu dem womöglich ersten physikalisch logischen Verständnis des natürlichen Wasserkreislaufs.¹³

Diese ersten Konzepte eines Wasserkreislaufs und der Verdunstung wurden von verschiedenen mittelalterlichen Gelehrten übersetzt, kompiliert, tradiert und unter christlicher Doktrin weiterentwickelt. Wichtig sind darüber hinaus vor allem in Persien im elften Jahrhundert verschriftlichte Studien zu den dortigen unterirdischen Grundwasserleitsystemen (künstlichen *Qanaten*) sowie in China vom dritten Jahrhundert v. Chr. bis zum sechsten Jahrhundert n. Chr. entstandene, große Räume in Asien abdeckende hydrogeografische Kompendien, die alle auch Vorstellungen des

Hochwasserschutz und zur Bewässerung ermöglichten, »ohne dabei einen Zusammenhang von Ursache und Wirkung im physikalischen Sinne zu suchen« (Günther Garbrecht, *Wasser. Vorrat, Bedarf und Nutzung in Geschichte und Gegenwart*, Reinbek 1985, S. 40).

12 Laurent Pfister, Huub H.G. Savenije u. Fabrizio Fenicia, Leonardo da Vinci's Water Theory on the Origin and Fate of Water (IAHS Special Publication 9), Wallingford 2009, S. 3–10.

13 Aristoteles, *Meteorologika* 2,4–6, in: Kai Brodersen (Hg.), *Theophrast – Wind und Wetter*, Berlin/Boston 2023, S. 71–101, hier S. 71. Einige relevante Texte der Antike dürften vor allem durch Bibliotheksbrände für immer verloren sein. Vgl. auch den (gegenüber manchen früheren, antikes Wissen arrogant abwertenden Veröffentlichungen) kritischen Artikel von Demetris Koutsoyiannis u. Nikos Mamassis, *From Mythology to Science. The Development of Scientific Hydrological Concepts in Greek Antiquity and its Relevance to Modern Hydrology*, in: *Hydrology and Earth System Sciences* 25, 2021, S. 2419–2444.

Wasserkreislaufs enthalten.¹⁴ Das seit dem zwölften Jahrhundert vermehrt in das scholastische Denken des europäischen mittelalterlichen Christentums eindringende Studium antiker griechisch-römischer und arabischer (astronomischer, astrologischer und alchemistischer) Schriften eröffnete dann sukzessive wissenschaftlich erklärbare Perspektiven auf den Himmel, unterfüttert mit neuartigen Vorstellungen von Zyklen und ewigem Wandel.¹⁵

Zu Beginn des 16. Jahrhunderts kann man von allmählichen Anfängen einer Hydrologie als Wissenschaft, wie wir sie heute verstehen, sprechen, auch wenn diese noch längere Zeit in eine umfassendere theologische Perspektive eingebunden war. Zunächst vermittelten kausalanalytische Überlegungen und Experimente des französischen Ingenieurs und Künstlers Bernard Palissy (um 1510–1590) unter anderem, dass das Wasser nicht zwangsläufig durch verborgene tiefliegende Tunnel vom Meer an Land gelangt, und dass zeitverzögerte Versickerungsprozesse eine Rolle für die Dynamik des Abflussgeschehens spielen.¹⁶ Auch Leonardo da Vinci (1452–1519) stützte sein Konzept eines Wasserkreislaufs auf verschiedene hydrologische Beobachtungen und physikalische Experimente. Er fasste aber den Makrokosmos der äußeren Natur in Adäquation zum inneren Mikrokosmos des menschlichen Körpers auf, zum Beispiel Flüsse als Entsprechung zu Venen.¹⁷ Außerdem folgte er erneut der *gegenläufigen* Modellvorstellung, dass das Wasser durch unterirdische Bahnen vom Meer an Land gelange, als Pendant zu den oberirdischen Flussnetzen.

Diese alte Vorstellung hat später unter anderem auch noch der jesuitische Polyhistor Athanasius Kircher (1602–1680) gemäß antiker und biblischer Vorstellungen adaptiert, sicherlich zudem in Anlehnung an die seinerzeitige Erforschung des pulsierenden Herzens und des Blutkreislaufs durch William Harvey (1578–1657): Kircher veranschaulichte in seinen weit-

14 Siehe Duffy 2017 (wie Anm. 10), S. 8. Auch hatte das Wasser vielfältige kulturelle und symbolische Funktionen im Mittelalter inne, vgl. Gerlinde Huber-Rebenich, Christian Rohr u. Michael Stolz (Hg.), Wasser in der mittelalterlichen Kultur. Gebrauch – Wahrnehmung – Symbolik (Das Mittelalter. Perspektiven mediävistischer Forschung, Bd. 4), Berlin 2017.

15 Johannes Fried, Aufstieg aus dem Untergang. Apokalyptisches Denken und die Entstehung der Modernen Naturwissenschaft im Mittelalter, München 2012, S. 82–99.

16 David Deming, Born to Trouble. Bernard Palissy and the Hydrological Cycle, in: Groundwater 43, 2005, S. 969–972. Vgl. auch Reinhart Dittmann, Naturerkenntnis und Kunstschaffen. Die Discours admirables von Bernard Palissy. Übersetzung und Kommentar, Berlin/Boston 2016.

17 Pfister, Savenije u. Fenicia 2009 (wie Anm. 12), S. 7.



Abb. 3: Frühneuzeitliche Darstellung des Abflusssystems am Beispiel Südamerikas mit Hervorhebung einer großen Wasserkammer im Erdinnern unterhalb der Anden. Tabula qua Hydrophylacium Andium Exhibetur, quo Univerſa America Australis Innumeris Fluviiſ Lacubusque Irrigatur, aus: Athanasius Kircher, *Mundus Subterraneus*, Amsterdam um 1665, Kupferstich, 34 × 20 cm.

hin gelesenen Folianten unterirdische Wasserspeicher (*Hydrophylacia*; siehe beispielhaft Abb. 3), die in einem – auch ohne dezidierte Beteiligung der Verdunstung perfekt (von Gott) orchestrierten – Kreislauf beständig von der See her aufgefüllt werden, und aus denen Wasser auf die Berge hochgepumpt wird, welches schließlich wie aus Karaffen die Flüsse bildet, die wiederum in die (ihrerseits direkt miteinander verbundenen) Meere zurückfließen.¹⁸ Die Annahme untermeerischer Sammelbecken und Leit-systeme war letztlich notwendig, um den Wasserkreislauf zu schließen und im Übrigen zur Enträtselung des schon seit der Antike bestehenden Mysteriums beizutragen, warum das Meer trotz stetiger Zuflüsse nicht überläuft (siehe auch das alttestamentliche Buch *Kohelet* (Koh 1,7): »Alle Flüsse fließen ins Meer, / das Meer wird nicht voll. Zu dem Ort, wo die Flüsse entspringen, / kehren sie zurück, um wieder zu entspringen.«). In Grimmelshausens bald folgendem Schelmenroman *Der Abentheuerliche*

¹⁸ Gerhard F. Strasser, *Science and Pseudoscience*. Athanasius Kircher's *Mundus Subterraneus and His Scrvtinivm ... Pestis*, in: Gerhild Scholz Williams u. Stephan K. Schneider (Hg.), *Knowledge, Science, and Literature in Early Modern Germany*, Chapel Hill 1996, S. 219–240, hier S. 226–229.

Simplicissimus Teutsch (1669) wurde literarisch noch etwas ausdrücklicher auf die Fernverbindungen zwischen den unterirdischen Wasserkammern angespielt. Einer Erzählfigur zufolge bewerkstelligen diese die globale Wasserversorgung und auferlegen der Menschheit eine planetare Verantwortung im Gegensatz zur ökonomischen Ausbeutung des Wassers – ebenso wie Kirchers erdsystemisches Modell eines *Geokosmos* ist dies Gedankengut, das vorsichtig als Vorläufer der ökologischen Idee und wie ich meine auch des Ideals globaler Gemeinschaftsgüter interpretiert werden kann.¹⁹ Ohnehin reifte im 16. und 17. Jahrhundert im Zuge der Renaissance, der Reformation und der Entdeckungsreisen in die Südhemisphäre die Idee heran, dass nicht alles in der Natur einem unabänderlichen teleologischen Prinzip folgt, dass der Mensch nicht passiv dem göttlichen Walten ausgesetzt ist, sondern die (Natur-)Geschichte quasi solidarisch mitgestalten kann.²⁰ Für die weiteren Geschehnisse des Wasserkreislaufs wurden in der Folge zwei komplementäre theologische Motive in der frühneuzeitlichen Naturphilosophie wichtig, auf die ich unten zurückkomme.

Aufseiten der physikalisch-hydrologischen Forschung hielt derweil auch der Mathematiker und Astronom Edmond Halley (1656–1742, Erfinder der später vielfach verfremdeten *Hohlerde*-Theorie) – der seine Verdunstungsexperimente in England bis hin zur Erstellung einer Wasserbilanz für den Mittelmeerraum extrapoliert hat – die Existenz großer Höhlen in Bergregionen noch für unabdingbar (auch wenn er nun anders argumentiert, dass diese durch orographische Stauung von Wolken und Kondensationsprozesse im Berginnern mit flüssigem Wasser versorgt werden). Jedoch hatte zuvor eine den französischen Gelehrten Pierre Perrault (um 1608–1680) und Edmé Mariotte (um 1620–1684) zugeschriebene bahnbrechende Studie bereits quantitativ gezeigt, dass der Niederschlag im Flusseinzugsgebiet allein genüge, um Ströme wie die Seine mit Wasser zu spei-

19 Jörg Robert, *Mummelsee und Mundus subterraneus*. Tiefenwissen bei Gimmelshausen und Athanasius Kircher, in: Dorothee Kimmich u. Sabine Müller (Hg.), *Tiefe. Kulturgeschichte ihrer Konzepte, Figuren und Praktiken*, Berlin 2020, S. 95–125, hier S. 112f.; Klaus-Peter Kelber u. Martin Okrusch, Athanasius Kircher retrospektiv. Pendelschläge geowissenschaftlicher Erkenntnis, in: Horst Beinlich, Hans J. Vollrath u. Klaus Wittstadt (Hg.), *Spurensuche. Wege zu Athanasius Kircher*, Dettelbach 2002, S. 137–162, hier S. 149–151.

20 Ausführlich dargelegt in Lindsay J. Starkey, *Encountering Water in Early Modern Europe and Beyond. Redefining the Universe Through Natural Philosophy, Religious Informations and Sea Voyaging*, Amsterdam 2020 sowie Lydia Barnett, *After the Flood. Imagining the Global Environment in Early Modern Europe*, Baltimore 2022.

sen; und auch, dass ein Großteil des Regenwassers verdunstet, während andere Teile Grundwasser bilden. In ersichtlicher Kenntnis dieser Studien hat Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) auch die Einordnung eines Hochwassers in den allgemeinen hydrologischen Kreislauf vorgenommen, es mit Starkregen erklärt und dabei versucht, die Komplexität solcher an Extremereignissen beteiligten Prozesse herauszustellen.²¹ Etwa zeitgleich beschrieb der Landschaftsarchitekt Stephen Switzer (1683–1745), dass die verschiedenen Prozesse auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen ablaufen; und der Naturwissenschaftler Stephen Hales (1677–1761) zeigte experimentell die Rolle der Vegetation und die Aufgliederung der Verdunstung in Pflanzen-Transpiration und Boden-Evaporation.²² Mit Beobachtungen von Antonio Vallisnieri (1661–1730) in den Alpen wurde schließlich klar, dass Wasser zwar unterirdisch fließen kann, dies aber der Infiltration von Niederschlag und der Schwerkraft folgend geschieht und nicht wie vormals angenommen als Aufwärtstransport von Meerwasser.²³ Nachdem der Geologe James Hutton (1726–1797) eine physikalische Erklärung des Regens aus den Übergängen des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Zustand und wieder zurück vorgelegt hatte, gelang es zum Jahrhundertende dem Naturforscher John Dalton (1760–1844), am Beispiel von England und Wales den hydrologischen Kreislauf großräumig korrekt zu beschreiben, seine wesentlichen Komponenten in richtigen Größenordnungen abzuschätzen und diese zu kartieren.²⁴ Währenddessen zirkulierten offenbar anthropomorphe Kartendarstellungen wie etwa für die englische Grafschaft Kent (Abb. 4), die ein Verständnis von Landschaften und Flussnetzen als organisches, schützenswertes Ganzes nahelegen – gleich einem Körper mit seinen Organen und den diese versorgenden Arterien.²⁵

21 Lloyd Strickland u. Michael Church, Leibniz's Observations on Hydrology. An Unpublished Letter on the Great Lombardy Flood of 1705, in: *Annals of Science* 72, 2015, S. 517–532.

22 Duffy 2017 (wie Anm. 10), S. 6f. und 10–12.

23 Stefanos M. Karterakis, Brian W. Karney, B. Singh u. Aziz Guergachi, The Hydrologic Cycle. A Complex History with Continuing Pedagogical Implications, in: *Water Supply* 7, 2007, S. 23–31, hier S. 28.

24 James C.I. Dooge, The Development of Hydrological Concepts in Britain and Ireland between 1674 and 1874, in: *Hydrological Sciences Bulletin* 19, 1974, S. 279–302.

25 Kenneth R. Olwig, England's 'Lake District' and the 'North Atlantic Archipelago'. A Body of Managed Land contra a Body Politic, in: *Landscape Research* 43, 2018, S. 1032–1044, hier S. 1033–1036 sowie Peter Ackroyd, *Thames – The Biography*, London 2007, hier S. 116. Diese Lesart ist auch insofern schlüssig, als der Autor der zugehörigen *philosophisch-chorographischen* Karte, die die Flusslandschaft wie ein fein ziseliertes Netz

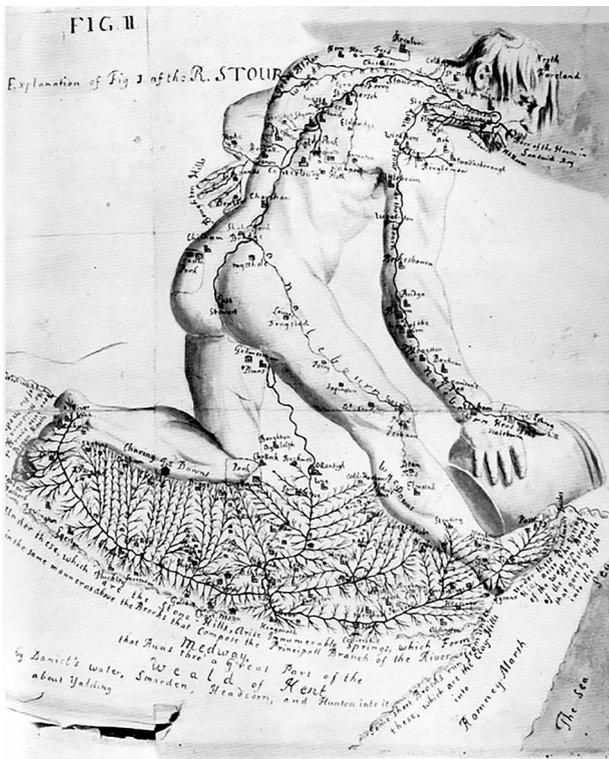


Abb. 4: Kartographische Darstellung der Hügel und Täler in der Umgebung von Canterbury im Osten der Grafschaft Kent, in der die Flüsse als Adern eines männlichen menschlichen Körpers illustriert sind. Aus einer Manuskriptbeilage zu Christopher Packe. *Ankographia, Sive Convallium Descriptio: In Which Are Briefly but Fully Expounded the Origine, Course and Insertion; Extent, Elevation and Congruity of All the Valleys and Hills, Brooks and Rivers, (As An Explanation of A New Philosophico-Chorographical Chart) of East-Kent, Canterbury 1743.*

Jedenfalls war nun der ober- und unterirdische Wasserkreislauf auch naturwissenschaftlich und empirisch begründet geschlossen, mithin der über viele Jahrhunderte bestehende *Missing Link* durch die physikalischen Prozesse der Verdunstung und der Kondensation ohne Annahme kryptischer Kavernen und Tunnel erklärt.

aus Venen darstellt, Arzt war. Dessen Eigenverständnis gemäß sind Karten aber auch als dekorative Landschaftsgemälde zu verstehen; vgl. Martin Brückner, *Karten als Objekte. Materielle Kultur und räumliche Arbeit im frühen Nordamerika*, in: Herbert Kalthoff, Torsten Cress u. Tobias Röhl (Hg.), *Materialität. Herausforderungen für die Sozial- und Kulturwissenschaften*, Paderborn 2016, S. 195–218, hier S. 197. Packe konnte nach Durchsicht verschiedener Exemplare der *Ankographia* in britischen Archiven und Bibliotheken nicht als Autor der in Abb. 4 gezeigten Darstellung gesichert werden; vgl. auch Michael Charlesworth, *Mapping, the Body and Desire: Christopher Packe's Chorography of Kent*, in: Denis Cosgrove (Hg.), *Mappings*. London 1999, S. 109–124, hier Fußnote 12, S. 283–284.

Blaues, grünes und virtuelles Wasser nach heutigem Verständnis

Befördert durch neue Messinstrumente und technische Errungenschaften – nicht zuletzt wurden sowohl Transportkanäle als auch Dampfkraft als Motor der Industriellen Revolution in Wert gesetzt – gewannen im 19. Jahrhundert die hydrologische Forschung und die moderne Wasserwirtschaft weiter an Fahrt. Dies führte zu immer besserem quantitativen Wissen über die Kreisläufe des Wassers und deren Veränderungen in Raum und Zeit.²⁶ In den 1840er Jahren erschienen erste Weltkarten, die die globale Niederschlagsverteilung, Windsysteme und Meeresströmungen wie auch Details zu verschiedenen Flussgebieten zeigen.²⁷ Seit der Wende zum 20. Jahrhundert wurden Wasserbilanzen für die gesamte Erde in mathematischen Gleichungen formalisiert, in Karten visualisiert und mit der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zusammengebracht.²⁸ Schließlich vermochten die während der Internationalen Hydrologischen Dekade der Vereinten Nationen (beginnend 1965) etablierten Forschungs- und Monitoring-Programme, den Weltwasserhaushalt umfassend zu bilanzieren und Messnetze auszubauen. Was aber die menschliche Beeinflussung des Wasserkreislaufs angeht, so musste in den 1980er Jahren noch konstatiert werden, dass dies meist nur qualitativ möglich war.²⁹ Doch die sich dann rasch entwickelnde Computertechnologie brachte schließlich auch diesbezüglich enorme Fortschritte, etwa durch Satellitenbeobachtungen und vergleichend eingesetzte globale hydrologische Modelle (die auf unterschiedliche Weise die Zirkulation des Wassers und dessen anthropogene Beeinflussung abbilden).³⁰ Neueste Forschungen betonen unter anderem die enge Kopplung des Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffkreislaufs mit der als biologische Pumpe für die Verdunstung hochgradig bedeutenden Vegetation, deren Fotosyntheseleistung ihrerseits wiederum

26 Dan Rosbjerg u. John Rodda, IAHS, A Brief History of Hydrology, in: History of Geo- and Space Sciences 10, 2019, S. 109–118.

27 Heinrich Berghaus, Physikalischer Atlas, Gotha 1837–1848 (Neudruck Darmstadt 2018).

28 Joachim Marcinek, Wasserkreislauf und Wasserbilanz – globale Übersicht, in: José L. Lozán, Hartmut Graßl, Peter Hupfer, Ludwig Karbe u. Christian-Dietrich Schönwiese (Hg.), Warnsignal Klima. Genug Wasser für alle? Hamburg 2011, S. 40–47.

29 Hans-Jürgen Liebscher, Der Wasserkreislauf und seine Beeinflussung durch den Menschen, in: Geowissenschaften in unserer Zeit 4, 1984, S. 130–136, hier S. 136.

30 Richard G. Lawford u. Sushel Unninayar, Historical Development of the Global Water Cycle as a Science Framework, in: Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science, Oxford 2017, Online-Dokument abrufbar unter: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.55>.

wasserabhängig ist.³¹ Auch die hydrologischen Besonderheiten und Folgen des Klimawandels einschließlich der Intensivierung des Wasserkreislaufs (die die bestehende weltweite Ungleichverteilung des Wassers noch verstärkt) stehen seit längerem im Vordergrund.³² Von neuem Interesse sind ebenfalls die sogenannten *Telekonnektionen* – über Flussnetze, die Atmosphäre, künstliche Wasserleitungen oder den oben erwähnten virtuellen Wasserhandel bewirkte Fernverbindungen zwischen den Wasserressourcen der Erde. Diese spannen ein noch viel komplexeres Netzwerk regionaler bis globaler Verflechtungen auf, als es die einst erdachten subterranean Verbindungswege zu imaginieren vermocht hatten. Hier wäre der interessante Aspekt weiter zu untersuchen, dass die virtuellen Wasserflüsse nicht eigentlich (eben nur *virtuell* statt materiell) in den Kreislaufgedanken einbezogen werden, denn das Wasser als solches verbleibt an seinem Ursprungsort. Derweil sind die Unsicherheiten in all diesen Bilanzierungen nach wie vor groß, was die synoptische Zusammenschau der verschiedenen Flüsse und die präzise Berechnung ihrer räumlichen und zeitlichen Muster erschwert.³³

Gleichzeitig wächst seit den 1990er Jahren das Bewusstsein für die verbreitet zunehmende Wasserknappheit und die Notwendigkeit, bisherige Formen der Wassernutzung und allgemein den Eingriff in die Wasserkreisläufe auf den Prüfstand zu stellen bis hin zu einem Bruch mit den vorwiegenden Bewirtschaftungspraktiken der letzten Jahrzehnte.³⁴ Bis dahin wurde nämlich in der Regel argumentiert, dass »für die Wasserversorgung auf den Landflächen der Erde nur der von der Verdunstung verschonte Teil des Niederschla-

- 31 Douglas Sheil, Forests, Atmospheric Water and an Uncertain Future. The New Biology of the Global Water Cycle, in: Forest Ecosystems 5, 2018, Art. 19, S. 1–22; Axel Kleidon, Was begrenzt das Leben? Thermodynamik und Photosynthese im Erdsystem, in: Physik in unserer Zeit 52, 2021, S. 230–235.
- 32 Demetris Koutsoyiannis, Revisiting the Global Hydrological Cycle. Is it Intensifying? in: Hydrology and Earth System Sciences 24, 2020, S. 3899–3932. Andersherum beschrieb offenbar Alexander von Humboldt 1844 zum ersten Mal überhaupt auch den umgekehrten Einfluss der industriellen »Entwicklung großer Dampf- und Gasmassen« auf das Klima; vgl. Frank Holl, Alexander von Humboldt und der Klimawandel. Mythen und Fakten, in: Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien XIX, 37, 2018, S. 37–56 (hier S. 38–40).
- 33 Sanaa Hobeichi, Gab Abramowitz, Anna M. Ukola et al., Reconciling Historical Changes in the Hydrological Cycle over Land, in: npj Climate and Atmospheric Science 5, 2022, Art. 17, S. 1–9. Noch wichtiger für die aktuelle Klimapolitik ist die sehr präzise Bilanzierung des (ans Wasser gekoppelten) Kohlenstoffbudgets.
- 34 Gerten 2020 (wie Anm. 6), S. 116–126.

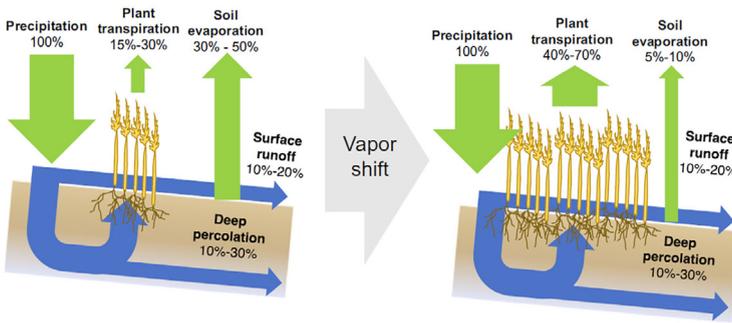


Abb. 5: Schema der Aufteilung des Niederschlags in grünes Wasser (für Transpiration und Bodenverdunstung verfügbare Bodenfeuchte) und blaues Wasser (im tiefen Boden und an der Landoberfläche abfließendes, potentiell für Bewässerung nutzbar). Die rechts dargestellte Erhöhung von Transpiration und Ertrag ist etwa durch aktive Vermeidung von Bodenverdunstung mittels Abdeckung freiliegenden Bodens erreichbar (*vapor shift*).

ges« (also der Abfluss in Flüssen) übrig bliebe.³⁵ In diesem Kontext spielt das von der schwedischen Hydrologin Malin Falkenmark (*1925) so bezeichnete *grüne Wasser* – das Boden- und gasförmige Verdunstungswasser – eine bedeutende Rolle.³⁶ Im Gegensatz zum flüssigen *blauen Wasser* in Flüssen, Seen, Talsperren und Grundwasserschichten bleibt dieses dem Auge verborgen, was ein Hauptgrund dafür sein dürfte, dass es in der Wasser- und Landwirtschaft lange kaum besondere Beachtung gefunden hat. Dass sich dies nach der expliziten Benennung als grünes Wasser nun ändert, kommt einem Paradigmenwandel gleich.³⁷ Dieser ist vor allem deshalb bedeutsam, weil ein Großteil der globalen Nahrungsmittelproduktion (der nicht durch künstliche Bewässerung mit blauem Wasser erzeugte Anteil) auf das Vorhandensein grünen Wassers angewiesen ist – und auf dessen effizienten Einsatz, zum Beispiel, indem der Verdunstungsstrom durch sachte Intervention so umgeleitet wird, dass eine Erhöhung der Biomasseproduktion erzielt wird (Abb. 5).³⁸

Einer neuen Idee zufolge wäre sogar die Meeresverdunstung direkt in die Wasserbewirtschaftung einzugliedern, was bei Gelingen der technischen Umsetzung immerhin die Wasserversorgung größerer Städte gewährleisten könnte.³⁹ Offenbar ist dies an teils weit in die Vergangen-

35 Marcinek u. Rosenkranz 1989 (wie Anm. 9), S. 19–37, hier S. 28.

36 Malin Falkenmark u. Johan Rockström, *Balancing Water for Humans and Nature*, London 2004.

37 Peter H. Gleick, *Transitions to Freshwater Sustainability*, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 2018, S. 8863–8871.

38 Patrick W. Keys u. Malin Falkenmark, *Green Water and African Sustainability*, in: *Food Security* 10, 2018, S. 537–548.

39 Afeefa Rahman, Praveen Kumar u. Francina Dominguez, *Increasing Freshwater Supply to Sustainably Address Global Water Security at Scale*, in: *Scientific Reports* 12, Art. 20262, 2022, S. 1–12.

heit zurückreichende Anlagen zum Einfangen von Nebel in Küstennähe angelehnt, deren Existenz, Pragmatismus und mythische Bedeutung schon Entdeckungsreisende in der Frühen Neuzeit in Erstaunen versetzte.⁴⁰ Im Ganzen bedarf es aber noch einer enormen Integrationsleistung, das Wasser an Land und im Meer als eng miteinander verwobene Einheit inter- und transdisziplinär zu erforschen und entsprechende nachhaltige Nutzungskonzepte zu entwickeln.⁴¹ In diesem Kontext wurde jüngst eine *planetare Grenze* sowohl für blaues als auch grünes Wasser definiert, welche die Gesamtrolle des Wassers im Erdsystem zu erfassen und die maximal tolerablen anthropogenen Verschiebungen zu bestimmen versucht – und die mittlerweile als überschritten gilt.⁴² Das Weltwassersystem ist also wie eingangs formuliert tatsächlich in der Krise, was eine Revision der früheren und gegenwärtigen Vorstellungen vom Wasserkreislauf und seinem Zustand umso notwendiger macht.

Bilder und Theorien des Wasserkreislaufs: Nutzen und Kritik

Dieser aktuelle Diskurs unterstreicht die Rolle von Metaphern, Bildern, Farbkodierungen und einprägsamen Begrifflichkeiten in Erkenntnisprozessen gerade in Naturwissenschaften wie der Klimatologie (und Hydrologie), wo die Visualisierung von Messdaten seit deren Verfügbarkeit konstituierend ist.⁴³ Insbesondere ikonische Kreisdarstellungen, bar ihrer mythologischen, theologischen und alchemistischen Bedeutungen, gehörten bald zum Kanon in den Naturwissenschaften, auch wenn sie zunehmend mit linearen Elementen wie Verbindungspfeilen oder Baumdarstellungen kombiniert wurden.⁴⁴ Als tragender Zweig des Wasserkreislaufs wurde die Verdunstung dabei zwar bereits in der Frühen Neuzeit (neu) entdeckt und seither in Bildern und Bilanzierungen berücksichtigt. Ihre enorme Bedeu-

40 Maria V. Marzol-Jaén, Historical Background of Fog Water Collection Studies in the Canary Islands, in: Leendert A. Bruijnzeel, Frederick N. Scatena u. Lawrence S. Hamilton (Hg.), *Tropical Montane Cloud Forests*, Cambridge 2011, S. 352–358.

41 Kirsty L. Nash, Christopher Cvitanovic, Elizabeth A. Fulton et al., Planetary Boundaries for a Blue Planet, in: *Nature Ecology and Evolution* 1, 2017, S. 1625–1634; Sunil Amrith. *Unruly Waters – How Mountain Rivers and Monsoons Have Shaped South Asia’s History*, New York 2018.

42 Dieter Gerten, Suche nach einer Planetaren Grenze für die Wassernutzung, in: *Geographische Rundschau* 6, 2022, S. 28–32.

43 Birgit Schneider, *Klimabilder. Eine Genealogie globaler Bildpolitiken von Klima und Klimawandel*, Berlin 2018, S. 66.

44 Nick Hopwood, Staffan Müller-Wille, Janet Browne et al., Cycles and Circulation. A Theme in the History of Biology and Medicine, in: *History and Philosophy of the Life Sciences* 43, Art. 89, 2021, S. 1–39.

tung für die Wasser- und Landwirtschaft insbesondere unter den heutigen Bedingungen der Ressourcenverknappung und des globalen Klimawandels wurde jedoch erst nach Falkenmarks praxisrelevanter Kontextualisierung und konkreter Benennung als grünes respektive grün konnotiertes (das Pflanzenwachstum ermöglichendes) Wasser wirklich sichtbar.

Ein in diese Verschiebung und Erweiterung der Perspektive einbezogenes illustratives Narrativ ist – erneut – die Auffassung des Wasserkreislaufs als »Blutkreislauf der Biosphäre«. ⁴⁵ Dies mag als Analogie zu den genannten frühneuzeitlichen Darstellungen gelesen werden. Aber die moderne Version bringt deutlich die Transformationen und Disruptionen der Zirkulation durch menschliches Fehlverhalten zur Sprache und legt so auch nahe, dass Kreisläufe mit ihren vitalen Funktionen aufrechterhalten beziehungsweise wieder geschlossen werden müssten. ⁴⁶ Allerdings fehlen in den meisten Illustrationen globaler und regionaler Wasserkreisläufe – anders als in Darstellungen des Kohlenstoff- und Stickstoffkreislaufs, die keine solch lange Historie haben – immer noch die tiefgreifenden anthropogenen Überformungen wie direkte Wasserentnahmen, Staudämme, Kanalisierungen und die Folgen von Landnutzungs- und Klimaänderungen. ⁴⁷ Solche unterkomplexen Darstellungen können in der akademischen und zivilgesellschaftlichen Kommunikation eine Stabilität und *Natürlichkeit* des Wasserkreislaufs und der beteiligten Prozesse suggerieren, die gar nicht mehr gegeben ist.

Angesichts dessen ist die stets perpetuierte Vorstellung von einem natürlichen Wasserkreislauf mitsamt dem Streben nach seiner *Restauration* ambivalent, wird er doch in stetiger Koevolution von Menschen modifiziert und konstruiert, während diese Veränderungen wiederum auf die Gesellschaften zurückwirken. ⁴⁸ Um die bisherige nur *geisterhafte* Präsenz menschlicher

⁴⁵ Wilhelm Ripl, Water. The Bloodstream of the Biosphere, in: Philosophical Transactions of the Royal Society B 358, 2003, S. 1921–1934.

⁴⁶ So hat UN-Generalsekretär António Guterres bei der Eröffnung der Weltwasserkonferenz der Vereinten Nationen 2023 vielleicht nicht zufällig von »vampirhaftem Überkonsum« der Wasserressourcen – unseres »Lebenssaftes« gesprochen: »We are draining humanity's lifeblood through vampiric overconsumption and unsustainable use, and evaporating it through global heating«; vgl. Isla Binnie/Reuters®, Mitteilung vom 24. März 2023, <https://www.reuters.com/business/environment/un-warns-vampiric-overconsumption-is-draining-worlds-water-2023-03-22> (letzter Zugriff 15. Mai 2023).

⁴⁷ Benjamin W. Abbott, Kevin Bishop, Jay P. Zarnetske et al., Human Domination of the Global Water Cycle absent from Depictions and Perceptions, in: Nature Geoscience 12, 2019, S. 533–540.

⁴⁸ Jun Xia, Yi Dong u. Lei Zou, Developing Socio-Hydrology. Research Progress, Opportunities and Challenges, in: Journal of Geographical Sciences 32, 2022, 2131–2146.

Gesellschaften und Aktivitäten im Wasserkreislauf zu überwinden und der wechselseitigen Kopplung konzeptionell, begrifflich und bildlich gerecht zu werden, sollte daher fortan von einem physikalisch-biologisch-sozialen globalen Wassersystem oder einem *hydro-sozialen* Kreislauf gesprochen werden.⁴⁹ Hilfreich für entsprechend verbesserte Visualisierungen wären unter anderem Karten mit Betonung gesellschaftlich relevanter Aspekte,⁵⁰ eine adäquate Farbsemantik, quantitative Angaben zu gezeigten Wasserflüssen mit ihren Unsicherheiten, Anmerkungen zu raumzeitlichen Zusammenhängen – sowie ein Design, das sich allgemein löst von dem schon seit dem 17. Jahrhundert verwendeten, ein idealisiertes Flusseinzugsgebiet darstellenden Grundschema (wie auch noch in Abb. 1 gehandhabt).⁵¹ Auch wäre es zwecks transparenter Kommunikation ratsam, Gegenden auszulassen, für die das Wissen sehr unsicher ist. Dies entspräche Darstellungen des frühen 16. Jahrhunderts, die unbekannte Gebiete leer ließen (wie etwa in der Nuño García de Toreno zugeschriebenen Salvati-Planisphäre, um 1525) – anders als in früheren Karten, auf denen unerforschte Territorien zur Warnung mit imaginärem Material wie Drachensymbolen versehen wurden.⁵²

Überhaupt unterlagen die Vorstellungen vom Wasserkreislauf in der Historie nicht nur einem natürlichen, sich aus dem jeweiligen Wissensstand ergebenden Wandel, sondern sie wurden wiederholt mehr oder minder bewusst für bestimmte Zwecke eingesetzt, wenn nicht korrumpiert (auf bis heute folgenreiche Weise). Wichtig erscheinen hier besonders die zwei oben erwähnten Motive im frühneuzeitlichen Verständnis des Wasserkreislaufs und seiner Funktion: Beide gehen von der Natur als Gottes Schöpfung aus, stellen aber zum einen »das Bild einer gefallenen, geschwächten Natur und zum anderen [...] das Bild einer harmonischen, gleichgewichtigen Natur« dar.⁵³ Dem erstgenannten, apokalyptischen

49 Terje Tvedt, *Water and Society. Changing Perceptions of Societal and Historical Development*, London/New York 2021, S. 188–190.

50 Petra Döll, *Cartograms Facilitate Communication of Climate Change Risks and Responsibilities*, in: *Earth's Future* 5, 2017, S. 1182–1195.

51 Chloé A. Fandel, David D. Breshears u. Ellen E. McMahon, *Implicit Assumptions of Conceptual Diagrams in Environmental Science and Best Practices for their Illustration*, in: *Ecosphere* 9, 2018, Art. e02072, S. 1–15.

52 Thorsten Wagener, Tom Gleeson, Gemma Coxon et al., *On Doing Hydrology with Dragons. Realizing the Value of Perceptual Models and Knowledge accumulation*, in: *WIREs Water* 8, 2021, Art. e1550, S. 1–17.

53 Rolf P. Sieferle, *Natur/Umwelt: Neuzeit*, in: Peter Dinzelbacher (Hg.), *Europäische Mentalitätsgeschichte. Hauptthemen in Einzeldarstellungen*, Stuttgart 2008, S. 668–680, hier S. 669–671. Zu den jeweiligen Wasserkreislauf-Ideen verschiedener Zeitgenossen vgl. im Detail Tuan 1968 (wie Anm. 7).

Narrativ gemäß kann und soll der Mensch zwar noch die als mangelhaft und gefährlich erachtete Natur ordnen und vorläufig technisch bändigen, aber solche Ausbesserungen können den durch den Sündenfall determinierten Niedergang der Erde (bis zu deren Neuschöpfung) bestenfalls verzögern. Dem englischen Theologen Thomas Burnet (um 1635–1715) zufolge ist das Wasser bei dieser Degeneration insofern besonders aktiv, als Überschwemmungen die Landschaften und deren Fruchtbarkeit zunehmend gefährden. Das sich später durchsetzende Gegenprinzip der harmonischen Natur besagt hingegen, dass diese sich von selbst erhalte und ihr Studium Gott und seine Schöpfung verehere. Dieser *physiko-theologischen* Naturauffassung zufolge sind auch die vermeintlichen Verfallsprozesse Teil eines fein abgestimmten göttlichen Plans, indem zum Beispiel die Gebirgsabtragungen und Überschwemmungen andernorts fruchtbares Land schaffen – so zumindest der Botaniker und Theologe John Ray (1627–1705) in Erwiderung auf Burnet. Weiteren Ausarbeitungen zufolge widerlegt insbesondere der nach wie vor doch noch funktionierende Wasserkreislauf, also die regelmäßige Erneuerung der Wasservorräte, die Verfallstheorie (über Trockenzeiten und -regionen wurde gern hinweggesehen).⁵⁴

Die letztere Interpretation förderte aber auch die Idee von der Uner schöpfllichkeit der Quellen und der bedenkenlosen Herbeischaffung und Nutzung von Wasser, um ebendiesen paradiesischen Zustand dauerhafter Fülle zu erhalten. Zu Beginn des 18. Jahrhunderts wurden denn auch diese idealistischen Vorstellungen eines immergleichen Kreislaufs rasch dekontextualisiert und »Wertungen übernommen, die eigentlich nur für die theologische Argumentation einen Sinn hatten.«⁵⁵ Denn bald hielt die utilitaristische, anthropozentrische Vorstellung Einzug, dass Wasser immer verfügbar sein müsse, was Talsperren und andere Maßnahmen zur Bewältigung eventuell doch auftretenden Wassermangels geradezu zwingend erfordere.⁵⁶ Ohnehin erfuhr das Wasser schon lange zuvor mit der

54 Udo Krolzik, Das Wasser als theologisches Thema der deutschen Frühaufklärung bei Johann Albert Fabricius, in: Hartmut Böhme (Hg.), Kulturgeschichte des Wassers, Frankfurt am Main 1988, S. 189–207, hier S. 199–205.

55 Thomas Kluge u. Engelbert Schramm, Wassernöte. Zur Geschichte des Trinkwassers, Aachen 1988, S. 46. Andere ökologische Sichtweisen entwickelten sich dahingehend, dass Wassernöte allein menschengemacht seien (obgleich es vormals noch hieß, dass etwaige Fehleingriffe des Menschen von Gott verhindert würden).

56 Ebd., S. 43–47; sowie Krolzik 1988 (wie Anm. 54), S. 205–206. Nun ging also die Theologie eine Symbiose mit den Naturwissenschaften ein, deren Kausalanalysen sie über Jahrhunderte gebremst hatte: Kurt Flasch, Warum ich kein Christ bin, München 2013, S. 168–169.

Christianisierung den Verlust vieler spiritueller und symbolischer Funktionen.⁵⁷ Die nunmehrige Umdeutung, Säkularisierung und Objektivierung hat aber eine noch größere Distanz im Mensch-Wasser-Verhältnis geschaffen – und den Grundstein für das heute weit verbreitete großtechnische Wassermanagement mit seinen immer deutlicher hervortretenden Problemen gelegt.

Es ist festzuhalten, dass es sich hier um eine unter den speziellen, eher feuchten Klimaverhältnissen Westeuropas entwickelte (und durch die spätere Mathematisierung weiter gefestigte) Sicht auf den Wasserkreislauf handelt.⁵⁸ Doch wurde diese im Zuge der Kolonialisierung und vor allem im Rahmen der *Grünen Revolution* Mitte des 20. Jahrhunderts auch in andere, oftmals durch gänzlich andere geografische und kulturelle Bedingungen geprägte Gegenden exportiert, was auf allen Kontinenten in großen, für ganze Nationen prestigereichen Wasserbauvorhaben gipfelte.⁵⁹ Wie die nachfolgenden Probleme vergegenwärtigen, lassen sich vor allem die Trockengebiete jedoch nicht in das Idealschema eines funktionierenden Kreislaufs blauen Wassers zwingen, insbesondere wenn die für diese Regionen lebenswichtige Verdunstung (das grüne Wasser) ausgeblendet wird.⁶⁰ Dies macht Falkenmarks Akzentuierung des grünen Wassers so bedeutend: Gerade in Trockengebieten und -zeiten ist die Verdunstung eine entscheidende *Ressource* – und nicht ein *Verlust*, als der sie in dem einflussreichen Originalschema des Wasserkreislaufs in der hydrologischen Literatur Anfang der 1930er Jahre bezeichnet worden war.⁶¹

Sind Dürregebiete einmal als Problemfall identifiziert, festigen sich gern entsprechende Diskurse, die institutionell und materiell (in Form bestimmter technischer Infrastruktur) verankert werden und somit den Spielraum für andere Lösungsoptionen und die faire Beteiligung unter-

57 Dieter Gerten, *Hydrolatry in Early European Religions and Christian Syncretism. How Water Transcends Religions and Epochs*, in: Terje Tvedt u. Terje Oestigaard (Hg.), *A History of Water, Series II, Vol. 1: Ideas of Water from Ancient Societies to the Modern World*, London/New York 2010, S. 323–342.

58 Tuan 1968 (wie Anm. 7), S. 144.

59 Filippo Menga u. Erik Swyngedouw (Hg.), *Water, Technology and the Nation-State*, London 2018.

60 Jamie Linton, *Is the Hydrologic Cycle Sustainable? A Historical-Geographical Critique of a Modern Concept*, in: *Annals of the Association of American Geographers* 98, 2008, S. 630–649, hier S. 641.

61 Ebd., S. 641; vgl. im Original Robert E. Horton, *The Field, Scope, and Status of the Science of Hydrology*, in: *Eos* 12, 1931, S. 189–202.

schiedlicher Bevölkerungsgruppen einengen.⁶² Auch kann *Wasserknappheit* so überhaupt erst konstruiert und der Ruf nach weiteren Maßnahmen lauter werden, ungeachtet dessen, dass solche Technologien oft selbst die Probleme verursacht haben. Jedoch können Instabilitäten, Disruptionen und nichtlineare Entwicklungen die Hinterfragung solcher Dispositive einleiten, wie es etwa in Europa im Nachgang der jüngsten, nicht ausschließlich wegen des Klimawandels sondern auch wegen Missmanagement folgenschweren Dürren nun im Ansatz geschieht.⁶³

Schlussbemerkung: Zukunft des Wasserkreislaufs

Bilder und Konzepte vom Wasserkreislauf und der Verdunstung ändern sich ständig in Abhängigkeit von kulturellen, sozialen und geografischen Bedingungen. Heute sogar ist das »Wissen vom (Trink-)Wasser [...] mehr denn je in Bewegung (im Fluss) und mehr denn je komplex verortet und vielgestaltig. Es schließt neben und mit feldspezifischen Wissensbeständen auch Unwissen, Halbwissen, Irrtümer, ›Vorurteile‹, naive Theorien, Mythen, religiöse und ideologische Überzeugungen, Meinungen und die verschiedensten interessenmotivierten bzw. strategischen Konstrukte und Konstruktionen ein.«⁶⁴

Nicht zuletzt die Romantiker des 18. Jahrhunderts haben die in der damaligen Zeit florierenden Theorien und Darstellungen des Wasserkreislaufs als ein Kernmotiv aufgegriffen. Dies vor allem auch, weil sich damit der menschliche Fortschritt und die Umwälzungen der Industriellen Revolution und der großen politischen Revolutionen erfassen ließen: »It is one of the great cultural correspondences of history that the full understanding of the (water) cycle's workings coincided with an intellectual, artistic and political milieu that seemed to demand just such a metaphor.«⁶⁵ Heutzutage mag der in so vieler Hinsicht fluide Charakter des Wassers beson-

62 Tobias Schmitt, Immer Ärger mit der Materialität? Politische Ökologie und das Dispositiv der Dürre im Nordosten Brasiliens, in: *Geographica Helvetica* 71, 2016, S. 229–244.

63 Veit Blauhut, Michael Stoelzle, Lauri Ahopelto et al., Lessons from the 2018–2019 European Droughts. A Collective Need for Unifying Drought Risk Management, in: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22, 2022, S. 2201–2217.

64 Herbert Willems, Über Wissen vom Wasserwissen, in: ders. (Hg.), *Wissen vom Wasser. Untersuchungen zu einer ökologischen Soziologie*, Wiesbaden 2019, S. 7–33, hier S. 29.

65 Rodney Farnsworth, Water, its Flux, its Cycle and its Power. The Romantic Turning Point in the History of the Water Idea, in: Tvedt u. Oestigaard 2010 (wie Anm. 57), S. 124–146, hier S. 124.

ders inspirieren – also das Leitthema der Sozio-Hydrologie, dass »die Grenzen zwischen Wasser und Gesellschaft, zwischen einem Innen und einem Außen, zwischen Subjekt und Objekt ‚flüssig‘ sind.«⁶⁶ Ferner stellt der neue geistes- und literaturwissenschaftliche Zweig der Blue Humanities einen »hydrological turn« heraus, demgemäß die bisherige Überbetonung des Terrestrischen/Tellurischen für Politik- und Machtprozesse zugunsten von Konzepten der Fluidität, Mobilität und Globalisierung zu korrigieren sei. Nun sei das Meer explizit einzubeziehen und der Wasserkreislauf als Gesamtes mit den aktuellen Bedrohungen durch Wasserknappheit, -verschmutzung und Klimawandel noch besser zu integrieren.⁶⁷

Die Wasserstadt Venedig – wo die Tagung mit den in diesem Band versammelten Beiträgen stattgefunden hat – ist ein besonderer Ort für solche Betrachtungen. Denn dort treffen viele wasserbezogene Probleme und Bedrohungen zusammen, wie die tourismusbedingte Schädigung des Lagunenökosystems und der Klimawandel mit Starkregen, Hitzewellen, Dürren und Meeresspiegelanstieg: »Das Schicksal Venedigs erscheint heute mehr denn je wie ein verdichtetes Lehrstück über die Folgen der globalen Veränderung unserer Wasserlandschaft.«⁶⁸ Hier lassen sich dementsprechend auch hydrologische und kunsthistorische Forschung zusammenbringen. So bietet der in den Veduten von Canaletto (1697–1768) und seinem Neffen Bernardo Bellotto (1721–1780) auszumachende Algen- saum an den Gebäuden die Möglichkeit zu berechnen, wie schnell die Stadt versinkt.⁶⁹ Ein weiterer Anknüpfungspunkt ist die denkbare Wiederbelebung des kunstvollen Einbezugs von Wasser und Wetter wie in der Renaissance-Architektur.⁷⁰

Augenscheinlich bleibt es eine Herausforderung für die Wissenschaften und die Künste, den Pluralismus der physischen, sozio-kulturellen und

66 Schmitt 2016 (wie Anm. 62), S. 232.

67 Alexandra Campbell u. Michael Paye, Water Enclosure and World-Literature. New Perspectives on Hydro-Power and World-Ecology, in: *Humanities* 9, 2020, Art. 106, S. 1–15; Steve Mentz, Ice/Water/Vapor, in: Jeffrey Cohen u. Stephanie Foote (Hg.), *The Cambridge Companion to Environmental Humanities*, Cambridge 2021, S. 185–198; Hannah Boast, Borrowed Waters. Water Crisis and Water Justice in Rita Wong's Undercurrent, in: *Textual Practice* 35, 2020, S. 747–767.

68 Terje Tvedt, *Wasser. Eine Reise in die Zukunft*, Berlin 2013, S. 49.

69 Dario Camuffo u. Giovanni Sturaro, Sixty-cm submersion of Venice discovered thanks to Canaletto's paintings, in: *Climatic Change* 58, 2003, S. 333–343.

70 Sigurd Bergmann, *Weather, Religion and Climate Change*, Abingdon/New York 2021, S. 154–193.

emotionalen Mensch-Wasser-Beziehungen abzubilden.⁷¹ So wie Kreis- und Zirkulationsvorstellungen in der gesamten Menschheitsgeschichte anzutreffen sind, werden sie sicher auch zukünftig Bestandteil dieses Repertoires bleiben. Ob das Wasser an sich dabei endgültig als empfindliches, schützenswertes Natur- und Kulturgut begriffen werden wird, muss sich zeigen. Der Weg zu seiner im 17. Jahrhundert vorausgeahnten Anerkennung als globales Gemeinschaftsgut ist jedenfalls noch lang.

Bildnachweise:

Abb. 1: Modifiziert nach United States Geological Survey, Public Domain, siehe <https://labs.waterdata.usgs.gov/visualizations/water-cycle/index.html> (letzter Zugriff: 15.07.2024) **Abb. 2:** Aus Duffy 2017, S. 3, <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/17ce6c80-7221-40fb-a520-150747f72477/wat21216-fig-0001-m.jpg> (letzter Zugriff: 15.07.2024) **Abb. 3:** Wikimedia Commons (CC-BY-2.0), [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Tabula_qua_Hydrophilacium_Andium_exhibetur_quo_universa_America_Australis_innumeris_fluviis_lacubusq\(ue\)_irrigatur.%22_\(22230454045\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Tabula_qua_Hydrophilacium_Andium_exhibetur_quo_universa_America_Australis_innumeris_fluviis_lacubusq(ue)_irrigatur.%22_(22230454045).jpg) (letzter Zugriff: 15.07.2024) **Abb. 4:** Anonymer Autor, aus einer undatierten Manuskriptbeilage zu einer Ausgabe von Christopher Packe, *Ankographia* [...], abgedruckt in Tuan 1968, S. 30 **Abb. 5:** Aus Keys und Falkenmark 2018, S. 541. Springer, Open Access, Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>, <https://s100.copyright.com/AppDispatchServlet?title=Green%20water%20and%20African%20sustainability&author=Patrick%20W.%20Keys%20et%20al&contentID=10.1007%2Fs12571-018-0790-7©right=The%20Author%28s%29&publication=1876-4517&publicationDate=2018-05-10&publisherName=SpringerNature&orderBeanReset=true&oa=CC%20BY>) (letzter Zugriff: 15.07.2024)

71 Katherine Phillips u. Liz Roberts, Introduction. A New Era for Human–Water Relationships, in: dies. (Hg.), *Water, Creativity and Meaning. Multidisciplinary Understandings of Human–Water Relationships*, Abingdon/ New York 2019, S. 1–20.