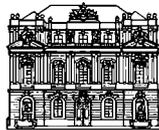


FRANZ BOROVICZÉNY

Die Genese des Wassers auf unserem Planeten
sowie der hydrologische Kreislauf und die
Wasserreserven der Erde



VERLAG
DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Die Genese des Wassers auf unserem Planeten sowie der hydrologische Kreislauf und die Wasserreserven der Erde

FRANZ BOROVICZÉNY

Jeder Beginn neigt dazu, sich im Dunkeln zu verlieren, schrieb R. L. CARSON als Einleitung in ihr Buch „Geheimnisse des Meeres“.

Genauso verhält es sich auch mit der Genese des Wassers auf unserem Planeten, die unmittelbar mit der Bildung der Erdatmosphäre und der Ozeane zusammenhängt. Es ist daher nicht verwunderlich, daß die Ansichten über diese Entstehung nicht immer miteinander übereinstimmen.

Das Wasser auf der Erde stammt letztendlich aus dem Weltraum. Um seine Anwesenheit auf der Erde zu erklären, muß man das Werden unseres Planeten berücksichtigen.

Als die Erde durch Kondensation vor rund 5 Mia. Jahren aus dem Solarnebel die Größe erreicht hat, mit der ihre Masse in ihrem Schwerefeld die Gase, die im Universum reichlich vorhanden waren, festhalten konnte, bildete sich die erste bzw. die Uratmosphäre. Diese bestand vorwiegend aus Wasserstoff, Helium und weiteren leichten Edelgasen. Diese Uratmosphäre verflüchtigte sich wieder im All. Sie wurde durch starke Sonnenaktivitäten – Sonnenwinde – „weggeblasen“. Dies fand in einem sehr frühen Stadium der Erdentwicklung statt und hatte eine relativ kurze Dauer von größenordnungsmäßig einigen 10 Mio. Jahren.

Das zusammengeballte Primärmaterial der Erde, das durch Kondensation des Solarnebels entstand, lag als heiße Schmelze vor. Das Aufschmelzen wurde durch Einschläge kosmischer Körper, deren kinetische Energie in Wärmeenergie umgesetzt wurde, und durch radioaktive Elemente im Erdinneren in Gang gehalten.

Durch gravitative Differentiation entstand in weiterer Folge der Schalenbau der Erde. Bei der Abkühlung war in der äußeren Hülle der Erde durch Entgasung bei magmatischer Differentiation bzw. vulkanischen Aktivitäten die zweite Atmosphäre der Erde gebildet worden.

Die Bildung dieser zweiten Atmosphäre erfolgte vor rund 4 Mia. Jahren. Die Zusammensetzung dieser Atmosphäre war ähnlich der heutigen vulkanischen Gase. Diese Atmosphäre, aus der sich allmählich unsere heutige Atmosphäre durch Photosynthese der Pflanzen entwickelte, bestand zuerst vorwiegend aus Kohlendioxid, Methan, Ammoniak, Wasserdampf und Schwefelwasserstoff.

Erst aus dieser Atmosphäre bildete sich durch Abkühlung und Kondensation auf unserem Planeten Wasser, das dann aus der Atmosphäre abregnete und sich in den Senken auf der Erdoberfläche sammelte.

Eine andere Theorie besagt, daß die vorhandene Wassermenge auf der Erde viel zu groß ist, um durch die Entgasung der Erde zu entstehen. Eine zusätzliche Quelle zur Entstehung von Wasser auf unserem Planeten waren die Kometen – Eismeteorite –, die mit der jungen Erde zusammenstießen.

Mit dem ersten „Regen“ auf der Erde aus dem Wasserdampf der Atmosphäre und der dadurch erfolgten Bildung der Ozeane in Zusammenhang mit den Strömungen in der Atmosphäre waren die Bedingungen geschaffen, die den globalen Wasserkreislauf ermöglichten.

Der Wasserkreislauf ist die natürliche Bewegung des Wassers auf der Erde zwischen Ozean – Atmosphäre – und Festland, wobei dies auch mit der Änderung des Aggregatzustandes verbunden ist.

Nachdem der komplizierte Prozeß des Wasserkreislaufes durch Niederschlag, Verdunstung, oberirdischen Abfluß, Infiltration und unterirdischen Abfluß in Gang gesetzt wurde, entstand auf der Erde die Hydrosphäre. Dies wurde begünstigt durch den Sonnenabstand der Erde, die eine mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche, zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers, ermöglichte.

Die Hydrosphäre umfaßt das gesamte feste, flüssige und gasförmige Wasser auf der Erde. Zur Hydrosphäre gehören daher die Lebensräume der Meere und Binnengewässer, wie Flüsse und Seen, das Grundwasser, das Eis und das Wasser (Wasserdampf) in der Atmosphäre.

Der Wasserkreislauf verbindet die einzelnen Teilbereiche der Hydrosphäre. Sie bewirkt einen kontinuierlichen Wasseraustausch, der mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abläuft (Tab. 1).

Die Antriebsenergie für den Wasserkreislauf liefert in erster Linie die Sonne. Durch Sonnenwärme verdunstet das Wasser. Etwa ein Drittel der Sonnen-

Tabelle 1: *Verweilzeiten im Wasserkreislauf* (nach NACE 1967; in: MATHESS, 1983)

Erscheinungsform	Verweilzeit in Jahren
Ozeane	40.000
Gletscher, Eis der Polar- und Hochgebirge	10.000
Grundwasser bis 400 m Tiefe	5.000
Süßwasserseen	100
Salzwasserseen und Binnenmeere	100
Bodenfeuchte	1
Wasserläufe	1
Wasser in der Atmosphäre	0,1

energie, die auf die Erde gelangt, wird bei der Verdunstung von Wasser verbraucht. Die unterschiedliche Sonneneinstrahlung auf der Erde und auch die unterschiedliche Wärmeabstrahlung sowie die Erdrotation – Corioliskraft – steuern die atmosphärischen Strömungen und damit den globalen, gasförmigen Wassertransport in der Atmosphäre.

Die Schwerkraft bewirkt, daß der kondensierte Wasserdampf auf die Erde herabregnet, als Oberflächenwasser ins Meer abfließt bzw. in den Boden einsickert bis zu einer wasserstauenden Schicht und sich dort weiterbewegt, bis es an einer Quelle zutage tritt.

Zusammenfassend kann man festhalten, daß die Sonnenenergie, die Schwerkraft und die Erdrotation die Antriebskräfte des Wasserkreislaufes sind.

Es sollen hier zuerst die einzelnen Phasen: Niederschlag, Verdunstung und Abfluß des Wasserkreislaufes, die auch in die Wasserbilanz eingehen, kurz und skizzenhaft charakterisiert werden.

Niederschlag:

Der Niederschlag, das aus der Atmosphäre in flüssiger oder fester Form ausgeschiedene Wasser, bildet das Anfangsglied des Wasserkreislaufes. Niederschlag entsteht dann, wenn die bewegten Luftmassen mit einem gegebenen Wasserdampfgehalt eine Änderung in Luftdruck und Temperatur erfahren und dadurch der Sättigungspunkt für Wasserdampf (Taupunkt) unterschritten wird. Zu Niederschlägen kommt es vorwiegend bei drei meteorologischen Bedingungen:

1. An Rändern von großen feuchten Luftmassen, die in Kaltluftregionen eindringen. Dies ist mit großen Zyklonen (Tiefdruckkernen) verbunden. Diese Zyklonen können sich über große Entfernungen bewegen.
2. Bei warmem Wetter steigt auf der Landoberfläche die Luft in die höherliegenden Kaltluftregionen.
3. Wenn Luftmassen über mehr oder weniger hohe Gebirgsschwellen bewegt werden. Hier dehnt sich die Luft bei Druckabnahme aus, wobei sie sich abkühlt (adiabatische Abkühlung).

Verdunstung:

Es gibt zwei Arten der Verdunstung:

1. Evaporation – die Verdunstung im engeren Sinne – ist ein rein physikalischer Vorgang, bei dem Wasser unter dem Siedepunkt in gasförmigen Zustand (Wasserdampf) übergeht. In erster Linie wird sie durch den Wärmehaushalt des Wasserkörpers bestimmt. Am bedeutendsten ist die Evaporation an den freien Wasserflächen.
2. Transpiration – Pflanzenverdunstung – ist die Abgabe von Wasserdampf in die Atmosphäre durch die Pflanzen. Dieser Prozeß beginnt mit der Wasseraufnahme der Wurzeln im Boden und endet mit dem Verdampfen des

Wassers aus den Spaltöffnungen der Blätter. Die Menge des abgegebenen Wasserdampfes in die Atmosphäre hängt von der Art der Pflanze ab.

Abfluß:

Der Abflußanteil des Wasserkreislaufes besteht aus der ober- und unterirdischen Bewegung des Niederschlagswassers zum Meer. Diese Fließbewegung erfolgt unter dem Einfluß der Schwerkraft. Der Abflußcharakter eines Fließgewässers hängt von klimatischen Bedingungen, Morphologie, Gesteinsaufbau und Vegetation des Einzugsgebietes ab.

Der Grundwasserabfluß spielt bei der jährlichen Bilanz des globalen Wasserkreislaufes – errechnet aus langjährigen Mittelwerten – praktisch keine Rolle. An den Quellen zutage tretendes Grundwasser geht als Oberflächenwasser in die globale Wasserbilanz ein. Wie hoch der unterirdische Abflußanteil (Grundwasseranteil) des oberirdischen Abflusses ist, hängt vom Speicherraum des Untergrundes und damit von den geologischen Gegebenheiten des Einzugsgebietes ab.

Die Wasserhaushaltsgrößen werden in m^3 bzw. km^3 oder in mm Höhe angegeben (z. B. 1 mm Niederschlag = 1 l auf 1 m^2).

Der Zusammenhang dieser Bilanzgrößen wie Niederschlag, Verdunstung und Abfluß ist in der folgenden Wasserhaushaltsgleichung (hydrologische Grundgleichung) ausgedrückt.

$$\text{Für das Festland: } N_L = V_L + A_L$$

$$\text{Für die Weltmeere: } N_M = V_M - A_L$$

$$N_L = \text{Niederschlag} - \text{Festland}$$

$$N_M = \text{Niederschlag} - \text{Meer}$$

$$V_L = \text{Verdunstung} - \text{Festland}$$

$$V_M = \text{Verdunstung} - \text{Meer}$$

$$A_L = \text{Abfluß} - \text{Festland}$$

Da im Gesamtwasserkreislauf der Erde ein Gleichgewicht zwischen Verdunstung und Niederschlag herrscht, sind die Gleichungen für Festland und Weltmeere verschieden. Auf dem Land herrscht mengenmäßig ein Niederschlagsüberschuß gegenüber der Verdunstung vom Land. Dieser Überschuß stammt aus der Verdunstung vom Meer und wird durch den Abfluß ausgeglichen.

An diesen Vorgängen ist eine Wassermenge von rund 500.000 km^3/Jahr beteiligt. Bei einer Erstellung einer globalen Wasserbilanz wird vorausgesetzt, daß das Klima der Erde und die mittlere Meeresspiegelhöhe konstant sind und die Wasservorräte in der geologischen Gegenwart unverändert bleiben.

Im Rahmen der hydrologischen Dekade 1965 bis 1974 wurden die zahlreichen Messungen der verschiedenen Institutionen auf der Welt noch intensiviert und daraus Wasserbilanzen erstellt. Es wurde eine Weltwasserbilanz berechnet, die auf den in der Dekade erarbeiteten Meßdaten und Energiehaushaltsdaten und älteren Wasserbilanzen beruht (Tab. 2).

Tabelle 2: *Weltwasserbilanz* (nach BAUMGARTNER & REICHEL 1975;
in: MATTHESS 1983)

	Wassermengen in km ³ /Jahr	Wasserhöhen in mm
Niederschlag		
Meer	385,0	1066
Land	111,1	746
Erde	496,1	973
Verdunstung		
Meer	424,7	1176
Land	71,4	480
Erde	496,1	973
Abfluß		
Land	39,7	266

Diese Bilanzmengen, ausgedrückt in der Wasserhaushaltsgleichung:

$$\text{Für das Festland: } 111,1 (N_L) = 71,4 (V_L) + 39,7 (A_L)$$

$$\text{Für die Weltmeere: } 385,0 (N_M) = 424,7 (V_M) - 39,7 (A_L)$$

Durch die zahlreichen weltweiten Beobachtungen, Messungen und regionalen Bilanzierungen war es auch möglich, den Wasservorrat der Erde zu berechnen (Tab. 3).

Tabelle 3: *Wasservorrat der Erde* (nach DYCK u. PESCHKE 1983;
in: HEINRICH u. HERGT 1990)

Teil der Hydrosphäre	Menge in 1000 km ³	in % Wasser insgesamt	in % des Süßwassers
Weltmeere	1.338.000	96,5	–
Unterirdisches Wasser,	23.400	1,7	–
davon Süßwasser	10.530	0,76	30,1
Bodenfeuchte	16,5	0,001	0,06
Eis, Schnee	24.364,1	1,766	69,56
Seen			
Süßwasser	91	0,007	0,26
Salzwasser	85,4	0,006	–
Sümpfe	11,5	0,0008	0,03
Flüsse	2,1	0,0002	0,006
Lebewesen	1,1	0,0001	0,0003
Atmosphäre	12,9	0,001	0,04

Bei Betrachtung dieser Zahlen muß man sich im klaren sein, daß diese Mengen (wie auch in den anderen Tabellen) nur Größenordnungen darstellen.

Aus den Wasservorratsmengen (Tab. 3) ist ersichtlich, daß der größte und technisch relativ leicht zugängliche Süßwasservorrat aus dem Grundwasser zu gewinnen ist. Wenn man weltweit betrachtet, wie die Verunreinigung des Bodens und die Beeinträchtigung seiner Funktion als Grundwasserleiter voranschreiten, ist es nicht verwunderlich, daß es immer schwieriger und aufwendiger wird, einwandfreies Trinkwasser in ausreichender Menge bereitzustellen.

Literatur

- CARSON, R. L. (1960): Geheimnisse des Meeres. München.
HEINRICH, D. & HERGT, M. (1990): dtv-Atlas zur Ökologie. München.
MARCINEK, J. (1988): Das Wasser der Erde. Gotha.
MATTHESS, H. (1983): Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1. Berlin.
OZIMA, M. (1987): Geohistory, Global Evolution of the Earth. Berlin.

Adresse des Autors: Dr. FRANZ BOROVICZÉNY, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, 1031 Wien.