

Vom Himmel durch den Harnleiter
in den Hurrikan: der Wasserkreislauf
für Erwachsene.

Von Reto U. Schneider

Tausend Jahre unterwegs

Sollten Sie je vor der Wahl stehen, als chemische Verbindung wiedergeboren zu werden, entscheiden Sie sich für Wasser. Natürlich gibt es besser aussehende Stoffe als eine durchsichtige, geruchlose Flüssigkeit, und es gibt seltenere als eine Substanz, die zwei Drittel der Erdoberfläche bedeckt. Aber nichts kommt weiter herum und birgt grössere Geheimnisse als Wasser. Der Schluck, den Sie trinken, war schon einmal in der Südsee, und der Tropfen, der Ihnen auf den Kopf fällt, in einem Hurrikan.

Unsere Reise beginnt zuhinterst im Glarnerland über dem Muttenchopf. Feuchte Luft ist von Westen gekommen. In tieferen Lagen konnte sie die Wassermoleküle noch halten, dann stieg sie über den Alpen auf, und je kälter es wurde, desto schwerer lastete die Feuchtigkeit auf ihr. In etwa dreitausend Metern Höhe lagern sich die Wasserteilchen schliesslich an winzige Staubpartikeln. Aus hundert Millionen Wassermolekülen entsteht der Keim für einen Regentropfen. Eines dieser Moleküle wollen wir auf seiner Reise verfolgen. Sie führt durch die Atmosphäre und in die Tiefsee, durch Turbinen und Speiseröhren, Abwasserkanäle und Harnleiter.

Regen

Das Tröpfchen, in dem unser Wasserteilchen gerade steckt, ist für das Auge unsichtbar. Man brauchte dreitausend davon, um ein Haar zu umsäumen. Wie alle Körper auf der Erde sollten diese Regenkeime eigentlich nach unten fallen, doch sie sind so leicht, dass die Luftreibung sie bremst und Aufwinde in der Wolke sie in der Schwebe halten. Innerhalb von zehn Minuten kollidieren sie aber mit derart vielen andern Tröpfchen, dass ihr Volumen billionenfach wächst und nichts mehr sie halten kann.

Unser Tropfen ist zwei Millimeter gross, als er mit 25 Kilometern pro Stunde aus dem Himmel stürzt; das sind Standardwerte in unseren Breiten. Er hat aber nicht die Form, der er den Namen lieh: Der Begriff Tropfenform ist das Resultat des bedauernden Umstands, dass unsere dürftige Wahrnehmung uns nicht erlaubt, einen Tropfen im Fall zu sehen. Wenn wir Regen in der Luft anhalten könnten, sähen wir kleinere Tropfen als durchsichtige Kugeln. Grössere werden von der Luftströmung abgeplattet oder eingedellt. Sie sehen dann aus wie kleine Quallen ohne Fangarme. Der grösste Regentropfen wurde 1995 in Nordbrasilien nachgewiesen. Er mass 8,8 Millimeter. Um die Grösse von Regentropfen zu messen, hat man früher mit einem Ölfilm bedeckte Platten durch Wolken geflogen. Sie haben die Regentropfen aufgenommen und konserviert. Heute kommen Geräte zum Einsatz, die die Tropfengrösse berührungslos anhand von gestreutem Licht bestimmen.

Experimente im Windtunnel zeigen, dass der Rekordhalter aus Brasilien wohl nicht so schnell ge-

schlagen werden wird: Viel grössere Regentropfen lässt die Physik nicht zu. Oft werden sie schon vorher von der Luftströmung in tausend Tröpfchen zerrissen.

Wasserkraft

Der Regentropfen mit unserem Wassermolekül fällt geradewegs in den Limmernsee. Das ist global gesehen untypisch: Süswasserseen bedecken nur zwei Millionenstel der Erdoberfläche. Der grösste Teil der Niederschläge landet im Meer, aber das wäre ein langweiliger Auftakt unserer Reise. Der Limmernsee ist ein Stausee der Kraftwerke Linth-Limmern AG. Jetzt, im März, dauert es wenige Tage, bis das Wasserteilchen am Ende des Sees in die Einlauföffnung gerät. Von dort geht es durch ein mannshohes gepanzertes Stahlrohr in Richtung Tal, wo das Wasser mit halber Schallgeschwindigkeit auf das Schaufelrad einer Turbine im Kraftwerk Tierfehd trifft. Turbinen sind eine Art geschlossene Wasserräder, die Generatoren antreiben, um die Bewegungsenergie in Strom umzuwandeln. Schneller als in diesen Maschinen wird sich das Wasser auf seiner Reise nie mehr bewegen.

Wäre unser Molekül zwei Monate später im See angekommen, hätte es dort ein halbes Jahr verbracht. Weil der Stromverbrauch im Sommer niedrig ist und der Energiepreis tief, füllt man Stauseen im Sommer und erntet die Energie im Winter, wenn man sie teuer verkaufen kann. Wasserkraftwerke produzieren etwas mehr als die Hälfte des Stroms in der Schweiz. Sie machen weltweit den grössten Teil aller erneuerbaren Energien aus.

Der Mensch nutzt die Kraft des Wassers schon seit Tausenden von Jahren. Traditionell wurden damit Mühlen angetrieben, später auch Hammerschmieden und Sägereien. Die Handwerker ahnten nicht, dass die Energie, die ihnen das Wasser schenkte, eigentlich von der Sonne stammt. Sie liefert die Wärme, durch die auf der Welt in jeder Sekunde viertausend Olympiaschwimmbecken voll Wasser verdunsten, das später als Regen oder Schnee niedergeht. Ein Stausee ist nichts anderes als ein Speicher für die Arbeit, die die Sonne dabei geleistet hat.

Wenn Sie die Sonne unterstützen wollen, können Sie natürlich auch selber Wasser zum Stausee tragen. Für jeden Liter, den Sie die tausend Höhenmeter von Tierfehd übers Chalchtrittli und die Ochsenplangge zur Staumauer schleppen und dort in den Limmernsee giessen, dürfen Sie abends ein Schnapsglas Spaghettiwasser kochen. So viel – oder so wenig – Strom hat er erzeugt.

Etwas ähnliches wird im Kraftwerk tatsächlich getan. Wenn der Strom billig ist, verschieben gewaltige Pumpen das Wasser in einen höher gelegenen Speichersee. Wenn der Bedarf hoch ist, leitet man es wieder auf die Turbinen und verkauft den Strom teuer. Natürlich wäre es weniger umständlich, den Strom,



In den Flüssen ist ein einzelnes Wasserteilchen nur ein paar Stunden unterwegs. In Seen kann es bis zu tausend Jahre verweilen.

den die Pumpen brauchen, direkt in einer aufladbaren Batterie zu speichern, aber bisher ist es niemandem gelungen, einen effizienten Akku für grosse Mengen elektrischer Energie zu bauen.

Flüsse und Seen

Nachdem unser Teilchen seine Arbeit in den Turbinen erledigt hat, wird es in die Linth entlassen. Es wandert in den Walensee und von dort durch den Linthkanal in den Zürichsee. In den Flüssen ist es bloss ein paar Stunden unterwegs. Wie lange es in den Seen verweilt, ist schwieriger herauszufinden, zumal der Zufluss im Walensee in der Nähe des Abflusses liegt. Für den Zürichsee liegt die mittlere Aufenthaltszeit eines Wasserteilchens bei 440 Tagen. Wenn unser Teilchen also Mitte März 2018 bei Schmerikon in den See fließt, wird es einige Tage nach dem Sechseläuten 2019 in Zürich auftauchen.

Darauf verlassen sollte man sich allerdings nicht. Die 440 Tage sind ein aus Volumen und Abflussmenge berechneter Durchschnitt. Je nach Tiefe und Wasserdurchmischung eines Sees kann die Dauer erheblich abweichen. Manche Seen beherbergen überraschend altes Wasser. Im Sempachersee dauert der Wasseraus-

tausch fast 17 Jahre, im Baikalsee in Russland 330 Jahre, im Titicacasee in Peru über 1000 Jahre.

Gegen Ende des Zürichsees trifft unser Molekül auf einen kräftigen Sog, der von der Öffnung eines mächtigen Rohrs herrührt. Hier, 600 Meter vom Ufer entfernt in 30 Metern Tiefe, befindet sich eine der zwei Trinkwasserfassungen für Seewasser der Stadt Zürich. Siebzig Prozent des Zürcher Trinkwassers stammen aus dem See und werden in zwei Seewasserwerken innerhalb von zwölf Stunden aufbereitet. Dabei fließt ein Teil durch ein Becken mit Forellen, die eine Kamera überwacht. Wenn sie sich nicht mehr bewegen, wird Alarm geschlagen.

Grundwasser

Unser Wasserteilchen ist dem Sog des Seewasserwerks knapp entkommen und fließt weiter in Richtung Limmatmündung. Sieben Kilometer flussabwärts gerät es in einer leichten Rechtskurve in die Nähe der Flusssohle und dringt durch Schlamm und Kies in den Boden ein. Damit wird es Teil des Grundwassers. Wer sich beim Wort Grundwasser geflutete Kavernen vorstellt, in denen man auf das Phantom der Oper im Ruderboot trifft, wird enttäuscht. Wie fast überall auf

der Welt steckt das Grundwasser auch in Zürich in sehr nassem Dreck. Sollten Sie schlecht schlafen, ist keine Wasserader daran schuld, die den Service eines Rutengängers nötig macht, denn Wasseradern gibt es nur in Gebieten mit verkarstem Kalkstein, und auch dort führen sie nicht zu Schlaflosigkeit. Unter den meisten Betten auf dieser Welt findet sich das Grundwasser gleichmässig im Boden verteilt.

Unser Wassermolekül ist arg abgebremst worden. In der Limmat floss es noch flott einen Meter pro Sekunde, durch den sandigen Kies kriecht es in der gleichen Zeit einen Millimeter weit. Die Mikroorganismen im Boden haben genug Zeit, die Schadstoffe, die es begleiten, zu fressen.

Nach zehn Tagen im Grundwasserstrom stösst es in 25 Metern Tiefe auf eines der Schlitzlochbrückenfilterrohre des Horizontalfilterbrunnens A. Das Stahlrohr trägt seinen poetischen Namen wegen der Schlitzlöcher, die das Wasser durchlassen, ohne dass Sand oder Kies eindringt. Zwölf horizontale Rohre sind sternförmig mit dem vertikalen Schacht verbunden, in dem das Wasser gesammelt wird. Seine Höhe definiert den Grundwasserspiegel, der so nahe an der Limmat immer dem Wasserspiegel des Flusses entspricht.

In einem trockenen Sommer, wenn ein Fluss wenig Wasser führt, fließt das Grundwasser oft in die andere Richtung: vom Boden in den Fluss. Es sind dann nicht

die Quellen, die die Gewässer speisen, sondern das Flussbett. Der Fluss hat sozusagen seine eigene Quelle eingebaut.

Wer tief genug gräbt, stösst fast überall in der Welt auf Grundwasser. Auch in den Wüsten Afrikas und auf der Arabischen Halbinsel. Das Wasser ist oft mehrere Zehntausend Jahre alt und stammt aus einer Zeit, in der dort ein anderes Klima herrschte. Weil sich diese fossilen Reservoirs nicht wieder auffüllen, spricht man wie bei einer Goldmine vom Abbau von Wasser, wenn es gefördert wird.

Je nach Blickwinkel sind die Grundwasservorkommen auf der Welt gigantisch oder mickrig. Im Vergleich zu den Weltmeeren, die 97,5 Prozent allen Wassers beherbergen, scheint jede andere Reserve armselig. Doch unter den 2,5 Prozent Süßwasser nimmt das Grundwasser einen Fünftel ein, das ist vierzig Mal mehr als das Wasser in allen Seen auf der Welt. Der grösste Teil des Süßwassers ist in Eisdecken und Gletschern gespeichert.

Anders als das Trinkwasser aus dem Zürichsee ist das Wasser, das im Horizontalfilterbrunnen A aus dem Boden kommt, ohne weitere Behandlung trinkbar. In der Nacht, wenn der Strom billig ist, laufen die Pumpen an und befördern unser Wasserteilchen ins hundert Meter höher gelegene Wasserreservoir Lyren am Üetliberg. Dort verbringt es einen guten Teil des nächsten Tages in der sieben Meter hohen Kaverne, die mit ihren regelmässig angeordneten Stützpfälern aussieht wie eine minimalistische Kirche. Dann gelangt es durch mehrere Kilometer Rohre zum Wasserhahn in der kleinen Küche im obersten Stock des NZZ-Gebäudes an der Falkenstrasse, wo es im Glas eines durstigen Folio-Redaktors landet.

Im Körper

Vom Mund gelangt der Schluck Wasser über die Speiseröhre in den Magen und von dort mit dem Nahrungsbrei in den Darm, wo der grösste Teil des Wassers durch die Darmwand in den Blutstrom wandert. Jetzt beginnt die Achterbahnfahrt durch die Blutbahnen: zuerst in die rechte Herzkammer, die das Blut in die Lungen pumpt. Dort besteht die Gefahr, dass unser Wasserteilchen durch die Lungenbläschen gleich wieder austritt und als feuchter Atem den Körper verlässt. Unser Teilchen folgt aber dem Strom in die linke Herzkammer, die es durch den Körper pumpt. Eine Minute später sollte es wieder an der Herzpforte auftauchen. So lange dauert es, bis die ganzen fünf Liter Blut einmal durch den ganzen Körper geströmt sind. Doch wir warten vergebens. Unser Molekül hat die Blutbahn verlassen und ist im grossen Zeh des linken Fusses durch einen kleinen Kanal in eine Hautzelle gekrochen.

Der Körper eines Erwachsenen besteht zu etwa sechzig Prozent aus Wasser. Das weiss man, seit Ärzte

Wer tief genug gräbt, stösst fast überall in der Welt auf Grundwasser. Auch in den Wüsten Afrikas und auf der Arabischen Halbinsel. Es ist oft mehrere Zehntausend Jahre alt.

vor langer Zeit auf die Idee kamen, Leichenteile in Öfen zu trocknen und vorher und nachher zu wägen. Der grösste Teil des Wassers steckt in den Zellen, der Rest dazwischen und im Blut. Aber warum schleppen wir bloss so viel Wasser mit uns herum? Ein Roboter kann sich schliesslich auch bewegen und ein bisschen denken, ohne dass er vierzig Liter Wasser dazu braucht.

Das Leben auf der Erde beruht auf unzähligen verschränkten chemischen Reaktionen. In einer einzigen unserer Körperzellen laufen Millionen davon ab – pro Sekunde! Bevor diese Reaktionen stattfinden können, müssen die Ausgangsstoffe in Kontakt gebracht, danach die Produkte abtransportiert werden. Und dazu eignet sich nichts besser als Wasser. Wenn Astrobiologen nach Leben im Universum fahnden, suchen sie als erstes nach flüssigem Wasser.

Es ist der spezielle Bau des Wassermoleküls, der ihm seine unvergleichlichen Eigenschaften verleiht. Wasser besteht aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen. Weil diese Atome leicht asymmetrisch angeordnet sind, ist das Molekül an einen Ende leicht positiv, am anderen leicht negativ geladen. Das hat zur Folge, dass es mit anderen Wassermolekülen kurzlebige Bindungen eingehen kann. Die wackligen Bündnisse machen das Wasser einzigartig: Es kann viel Wärme aufnehmen, schmilzt und siedet bei vergleichsweise hohen Temperaturen und bleibt über einen grossen Temperaturbereich flüssig. Wasser ist der einzige weitverbreitete Stoff, der auf der Erde als Festkörper, Flüssigkeit und Gas vorkommt.

Auch wenn die Wissenschaftler heute noch nicht genau wissen, wie das Leben seinen Anfang nahm, sind sie sich doch einig, dass es im Meer geschehen ist. Und als das Leben das Meer verliess, hat es ein Stück davon mitgenommen. Viele unserer Körperfunktionen sind darauf ausgerichtet, unser persönliches Meer zu reinigen, seine Zusammensetzung und seine Temperatur zu regulieren. Weil wir dabei über Urin und Schweiß Wasser verlieren, muss ständig neues zugeführt werden. Wir sind wandelnde Reagenzgläser für die Chemie des Lebens. Das Milieu darin stabil zu halten ist so zentral, dass Trinken für den Menschen wichtiger ist als Essen.

Durchschnittlich dreizehn Tage verweilt ein Wassermolekül im Körper, dann verlässt es ihn in Schweiß, Stuhl, Urin oder ausgeatmeter Luft. Unser Molekül landet via Harnleiter im Schmutzwasserkanal 21 447 der Stadt Zürich, 3 Meter 29 unter der Falkenstrasse.

Abwasser

Im Gegensatz zum Trinkwasser in seinen engen Röhren hat das Abwasser viel Platz. Bald misst der Tunnel zwei mal zwei Meter, und wir können unserem Teilchen im Schrittempo die sieben Kilometer bis zur Kläranlage Werdhölzli folgen. Hin und wieder eilt eine

Ratte davon, doch anders als in anderen Grossstädten sind die Tiere hier kein Problem. Für Frösche und Lurche, die ungewollt hier unten landen, gibt es in der Kläranlage einen Amphibienausstieg.

Normalerweise steht das Abwasser etwa knietief, aber kurz nach der Pause eines Fussballländerspiels wandert eine Stosswelle aus Tausenden von WC-Spülungen durch den Kanal. Da auch das Regenwasser, das auf Dächer und Strassen fällt, in die Kanalisation fliesst, kann ihr Fassungsvermögen bei heftigen Niederschlägen überschritten werden. Dann fliesst das Schmutzwasser in unterirdische Entlastungsbecken, gross wie das Bassin in einem Hallenbad. Sind auch sie vollgelaufen, gelangt das Abwasser ungeklärt in den See oder die Limmat. Wer also besonders gern nach einem Sommergewitter schwimmen geht, sollte sich im klaren darüber sein, dass sich dessen reinigende Kraft ausschliesslich auf die Luft bezieht.

In der Kläranlage wird das Wasser schliesslich in vier Klärstufen gereinigt. Zwischen sechzehn und achtzehn Stunden dauert es, bis es etwas unterhalb der Grundwasserfassung wieder in die Limmat fliesst. Die Aufregung der Grossstadt liegt nun hinter ihm. Die Reise geht gemächlich durch die Aare in den Rhein, über Basel in Richtung Norden. 865 Kilometer Fluss liegen vor ihm bis zum Meer. Bei einer Fluggeschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde dauert das zehn Tage.

Bewässerung

Doch nach drei Tagen wird die Reise unterbrochen. Auf der Höhe von Wiesbaden gerät unser Wasserteilchen in die Pumpe eines Bauern, der sein Roggenfeld bewässert. Die Versorgung von Kulturland mit Wasser gehört zu den grössten Errungenschaften der menschlichen Zivilisation. Die meisten grossen Reiche waren auf die Beherrschung des Wassers gegründet. Wer sich von der Schicksalhaftigkeit des Regens lossagen konnte, hatte im Rennen um Macht und Reichtum einen gewaltigen Vorteil. Auch heute braucht die Landwirtschaft weit mehr Wasser als Haushalte und Industrie zusammen.

Im Acker gerät unser Wasserteilchen in die Nähe der Wurzel des Roggens, einer Pflanze, die sich ein Wissenschaftler 1937 näher angeschaut hat: An einem einzigen Halm fand er 13 815 672 Wurzeln mit 14 335 568 288 Wurzelhaaren – die allein würden von Zürich nach San Francisco reichen. Alles in allem steht unserem Wassermolekül eine Fläche von drei Tennisfeldern zur Verfügung, um in die Pflanze zu gelangen. Die Roggenwurzel ist wie jede Wurzel für die Aufnahme von Wasser optimiert. Die Hälfte allen Wassers, das auf Land fällt, wandert über Wurzeln durch eine Pflanze. Um an Wasser zu kommen, ist ihnen kein Aufwand zu gross: Bei einem Hirtenbaum in der Kalahari wurden 68 Meter lange Wurzeln gemessen.



SILVIO MARANI/AUS DER SERIE 'GEFLUTET' KATHEDRALEN - WWW.MARANICH

Im Wasserreservoir Lengg, Zürich, verbringt das Wassermolekül gut einen Tag.



Nach sechzehn Monaten erreicht das Wasserteilchen das Meer. Vor Grönland geht es zweieinhalb Kilometer hinab in die Tiefe.

Der Grund, weshalb der Bauer den Durst des Roggens stillen will, ist ein Trick, den nur Pflanzen beherrschen. Sie können mit Hilfe von Sonnenlicht aus dem Kohlendioxid in der Luft und dem Wasser im Boden energiereiche Verbindungen herstellen: unsere Nahrung. So wie das Wasserkraftwerk die Sonnenenergie im Wasser in Strom verwandelt, mit dem wir Geräte betreiben, verwandelt die Pflanze sie in Zucker und Stärke, die unseren Körper am Laufen halten.

Der Trick der Pflanze heisst Photosynthese und gehört heute zum Schulstoff. Was wir in der Schule selten erfahren, ist das schmutzige Geheimnis dieses Vorgangs: Er zwingt die Pflanze, viel mehr Wasser aufzunehmen als diese eigentlich brauchte. Um ein Kilogramm Biomasse zu erzeugen, benötigen viele Nutzpflanzen mehr als dreihundert Liter Wasser. Der Grund dafür liegt in den mikroskopischen Spaltöffnungen auf den Blättern, über die sie das Kohlendioxid aufnehmen: Für jedes Molekül, das aus der Luft in die Pflanze diffundiert, entweichen zweihundert Wassermoleküle. Der grösste Teil des Wassers, den die Pflanze mühsam aus dem Boden saugt, endet unangestastet als Wasserdampf in der Luft. Durch einen ausgewachsenen Baum rauschen gut und gerne tausend Liter pro Tag.

Der wahrscheinlichste Weg unseres Moleküls ist also, den Halm des Roggens hochzukriechen und oben angekommen gleich in die Luft zu verdampfen. Das dauert nicht einmal eine Stunde. Aber natürlich könnte unser Molekül auch in die Maschinerie der Photosynthese geraten. Die Gefahr, dass es einen frühen Tod in einer chemischen Reaktion stirbt, haben wir bisher unterschlagen.

Wasser ist zwar eine sehr stabile Verbindung, deshalb eignet es sich besser zum Feuerlöschen als Alkohol, aber viele Reaktionen in der Natur spalten Wasser auf. Und wenn Sauerstoff und Wasserstoff ihre Ehe auflösen, um in getrennten Verbindungen weiterzuleben, verlieren sie alle Eigenschaften, die sie als Wasser auszeichnete.

Unser Molekül hat auf diese Weise schon einige Reisebegleiter verloren. Manche sind auf unerklärliche Weise im Körper des Folio-Redaktors verschwunden, andere wurden in die Kohlensäure eines Mineralwassers eingebaut oder fristen ein trauriges Dasein im Rost einer Brücke.

Andererseits werden laufend neue Wassermoleküle geboren. Jede Verbrennung erzeugt zum Beispiel neues Wasser, und auch am Ende der chemischen Reaktionen, die im Körper die Energie aus einem



Das Teilchen verdunstet und steigt in einem Hurrikan auf etwa 1500 Meter – und ab geht es in neun Tagen zurück in die Schweiz.

Der grösste Teil des Wassers, den die Pflanze mühsam aus dem Boden saugt, endet unangestastet als Wasserdampf in der Luft. Durch einen ausgewachsenen Baum rauschen gut und gerne tausend Liter pro Tag.

Stück Roggenbrot gewinnen, steht neues Wasser. Weil sich alle diese Reaktionen die Waage halten, bleibt die Wassermenge auf der Erde etwa konstant. Die verbreitete Idee, dass wir schon mal ein Molekül schluckten, das Moses schon getrunken hatte, dürfte also falsch sein. Und auch an die Entstehung der Erde vor 4,6 Milliarden Jahren dürfte sich unser Teilchen kaum erinnern. Damals, vermuten Experten, wurde das Wasser aus dem Erdinnern ausgegast und von Asteroiden oder Kometen auf die Erde gebracht. Doch von diesem Originalwasser ist wohl nichts mehr übrig.

Unser Molekül gelangt in die Luft und mit dem nächsten Gewitter gleich wieder in den Rhein. Solche Schlaufen hätte es schon viele einlegen können. Manche Regentropfen verdunsten, bevor sie den Boden erreichen, andere gelangen über den Boden direkt ins Grundwasser. Es gibt nicht den einen Wasserkreislauf, sondern so viele, wie es Wassermoleküle gibt. Unsere Reise geht weiter Richtung Norden, bis wir bei Rotterdam das Meer erreichen.

Das Meer

Bisher hat die Reise etwa sechzehn Monate gedauert: etwas über ein Jahr im Zürichsee, je etwa ein Dutzend

Tage in Flüssen, im Grundwasser und im Körper des Folio-Redaktors, zwei Tage in den Wasserleitungen und der Kanalisation von Zürich, weniger als eine Stunde in einem Roggenhalm und Sekundenbruchteile in der Turbine in Tierfehd. Nun, im grössten Wasserreservoir der Welt, bekommt Zeit eine ganz andere Bedeutung. Gegen die Odyssee, die unserem Teilchen bevorsteht, war alles, was bisher geschah, ein Spaziergang. Es treibt nun langsam gegen Norden an England vorbei in Richtung Island.

Anders als die meisten Verbindungen ist Wasser nicht als Feststoff am schwersten, sondern als Flüssigkeit. Süsswasser bei vier Grad, Meerwasser bei minus zwei Grad (wegen des Salzgehalts ist es da immer noch flüssig). Das hat zur Folge, dass am Grund von grösseren Gewässern auch bei extrem tiefen Temperaturen immer flüssiges Wasser zu finden ist, wo das Leben überwintern kann.

Vor der grönländischen Ostküste stehen eisige Winde dem Wasser die letzte Wärme. Seine Schwere reisst es in die Tiefe, und es fällt zweieinhalb Kilometer in die Dunkelheit auf den Meeresgrund. Lange Zeit dachte man, das Wasser in der Tiefsee bewege sich überhaupt nicht, dann entdeckte man, dass die Tiefenströmungen einfach sehr langsam sind. Wenige Millimeter pro Sekunde geht es voran. Nach hundert oder zweihundert Jahren ist der Äquator erreicht, und es geht weiter gegen Süden, bis unser Teilchen in einen Strom gerät, der sechshundert Mal so viel Wasser führt wie der Amazonas. Er umwandert die Antarktis und vermischt die drei Weltmeere.

Irgendwann dreht unser Molekül ab, an Neuseeland vorbei in den Pazifik, wo das Wasser Wärme aufnimmt und steigt. Die Reise in der Dunkelheit hat fünfhundert, vielleicht auch tausend Jahre gedauert. Der Rückweg führt zurück ins Südpolarmeer und dann auf einigen Umwegen über Indonesien und Afrika wieder in den Atlantik. Er verläuft näher der Oberfläche und ist bedeutend schneller. Gegenüber den Tiefenströmungen fällt seine Dauer kaum ins Gewicht.

Diese globale Strömung heisst «Ocean Conveyor Belt», Förderband der Ozeane. Das Wasser spielt dort seinen letzten Trumpf aus: seine Fähigkeit, enorme Mengen Wärme zu speichern und wieder freizusetzen. Das Förderband verteilt die Wärme vom Äquator, wo die meiste Sonnenstrahlung eintrifft, in Richtung der Pole und gleicht so das Klima aus. Wissenschaftler der Nasa haben ausgerechnet, dass die Energie, die das Förderband verschiebt, der Leistung von einer Million Kernkraftwerken entspricht.

Die Triebkraft dieser monumentalen Strömung hängt stark vom Salzgehalt der Meere ab, der sich durch die Klimaerwärmung vermindert, weil das Eis an den Polen schmilzt. Klimaexperten befürchten, dass die Strömung dadurch zum Erliegen kommen könnte. Dann könnte die Durchschnittstemperatur in Europa um mehrere Grad sinken.

Lange Zeit dachte man, das Wasser in der Tiefsee bewege sich überhaupt nicht, dann entdeckte man, dass die Tiefenströmungen einfach sehr langsam sind. Wenige Millimeter pro Sekunde geht es voran.

Die Atmosphäre

Vor der Küste Floridas verdunstet unser Molekül schliesslich und steigt auf etwa 1500 Meter. Im Vergleich zu den Ozeanen enthält die Atmosphäre wenig Wasser. Würde man alles kondensieren, stiege der Meeresspiegel bloss um dreieinhalb Zentimeter. Aber natürlich ist sie das entscheidende Glied, um den Wasserkreislauf zu schliessen. Alle Wege führen ins Meer, aber nur einer führt hinaus: Die einzige Möglichkeit, das Wasser wieder über Land zu bringen, bietet die Lufthülle. Das wenige Wasser darin kann zudem gigantische Kräfte entfesseln. Hurrikans beziehen ihre Energie aus der Wärme, die frei wird, wenn Wasserdampf in höheren Luftschichten abkühlt und kondensiert.

Die letzte Etappe führt unser Molekül in rund neun Tagen wieder in die Schweiz. Fünfhundert oder tausend Jahre nachdem es im Limmernsee seine epische Reise begonnen hat, kristallisiert es über dem Muttenschop in einem Schneekristall.

Reto U. Schneider ist stv. Chefredaktor von NZZ-Folio.