

Peter Stettler

## Wie hoch ist die Atmosphäre?

### Martin Wagenschein

Bevor ich zum eigentlichen Thema komme, möchte ich einen Pädagogen vorstellen, der sich mit MARIA MONTESSORI bestimmt bestens verstanden hätte: MARTIN WAGENSCHEN. Einige der Anwesenden kennen ihn bereits, manche sehr gut.

Schade, dass sich die beiden grossen Persönlichkeiten nie wirklich getroffen haben. Das hat auch AXEL WINKLER, damals AXEL HOLTZ, bedauert. Und er hat vor gut 10 Jahren einen fiktiven Dialog verfasst, der, wie es sich gehört, von der Signora würdevoll eröffnet wird<sup>1</sup>:

*Lieber Herr Wagenschein, ich bin 26 Jahre älter als Sie, ich könnte Ihre Mutter sein.*

Aus diesem Mutter-Sohn-Handicap hat sich sehr bald eine Gesprächsatmosphäre unter gleichwertigen Partnern entwickelt. Von einem Gleichgewicht in ihren jeweiligen Wirkungskreisen kann jedoch keine Rede sein, denn wir befürchten, dass die Wagenschein-Bewegung nur noch durch *Pro Specie Rara*, einer schweizerischen Stiftung für gefährdete Arten im Tier- und Pflanzenreich, zu retten ist: So gibt es beispielsweise keine Wagenschein-Schulen, keine Ausbildungsstätte für Wagenschein-Lehrer, und eine Wagenschein-Tagung von der Grössenordnung dieser Krimmler Montessori-Tage wäre nicht denkbar. Der „Sohn“ ist vielleicht doch nie ganz erwachsen geworden. Er liebte es und begnügte sich damit, in kleinen Kreisen zu wirken.

So habe auch ich ihn einige Male erleben dürfen: In den Siebziger-Jahren pflegte die *Freie Pädagogische Akademie* von MARCEL MÜLLER-WIELAND in einer Jugendstil-Villa mit grossem Garten und Blick in die Voralpen und auf den Zugersee Wochenend-Seminare durchzuführen. In seiner pädagogischen Autobiographie *Erinnerungen für morgen* beschreibt WAGENSCHEN ein solches Treffen im Kapitel *Junge Schweizer* (das Adjektiv war damals noch zutreffend)<sup>2</sup>.

*Man setzte sich um einen runden Tisch herum.*

*Wagenschein: „Am Anfang brauchen wir ein erstaunliches Phänomen, ein sonderbares. – Wie ist es denn, wenn man ein Glas beim Spülen aus dem Wasser zieht? – Haben Sie da mal etwas Auffälliges bemerkt?“*

*Teilnehmer (zögerlich): „Wenn man so ein Glas heraushebt, so nimmt man erst das Wasser hoch, bis es dann plötzlich rausläuft.“*

*W.: Sie haben aber nicht alles erzählt...“*

*T.: „Ach so, ja: Mit dem Boden nach oben, umgekehrt also. Unter Wasser ist es ganz voll Wasser, Wasserspiegel höher. Bleibt drin.“*

*W.: „Nun mal ganz genau...“*

*T.: „Wenn ich ein Glas unter Wasser ganz voll mache und es dann mit dem Boden oben vorsichtig über das Wasser hinaus hebe, so dass der Rand nicht über die Wasseroberfläche kommt, dann geht das Wasser mit.“*

*W.: „Wie meinen Sie das «geht mit»?“*

*T.: „Die Wasseroberfläche im Glas ist dann höher als in der Wasserschüssel. Das Wasser bleibt drin.“*

<sup>1</sup> AXEL HOLTZ: /PETER STETTLER: *Kinder und Jugendliche anders lernen lassen – Maria Montessori und Martin Wagenschein im Dialog*, Ulm 2001: Kinders Verlag.

<sup>2</sup> MARTIN WAGENSCHEN: *Erinnerungen für morgen – Eine pädagogische Autobiographie*, Weinheim 1983: Beltz. M.W.: „...zäh am Staunen, Seelze-Velber 2002, Kallmeyer, S. 63-65.

*W. (zu den anderen): Wissen Sie, was er meint? Schon mal gesehen? – Ich seh es Ihnen an, dass Sie es nicht vor sich sehen!“*

*Teilnehmerin (lachend): „Ja, dann müssen wir’s eben mal machen, damit wir’s vor uns haben!“*

*Auf dem riesigen Holztisch wird eine Folie ausgebreitet. Vorsichtige wird eine Zinkwanne voll Wasser hereingetragen und draufgestellt. – Man steht auf. – Einige beginnen zögernd und andächtig zu spülen.*

*W.: „Ist es so richtig?“*

*Einige nicken, Gemurmel bei den anderen.*

*W.: Ja, was wir gemacht haben, das ist jetzt klar.*

*Man setzt sich wieder.*

*W.: „Jetzt: Was ist hier das Problem?“*

*T.: Dass das Wasser im Glas bleibt, erstaunt mich. Sonst leert sich doch Wasser aus.“*

*anderer T.: „Wir sind gewohnt, dass das Wasser ausfließt. Es widerspricht der Gewohnheit.“*

*Älterer Gast: „Wieso?“ es ist doch gewöhnlich: Immer, wenn ich spüle, ist es so. Man wundert sich doch nicht darüber.“*

*Mehrere T.: „Doch! Ich habe mich schon früher darüber gewundert.“*

*T.: „Das Wasser kann nicht raus. Denn...“*

*W.: „Wieso, will es denn?“*

*T.: „Es will schon – aber da drin [in der Wanne] ist halt viel mehr Wasser. Da kommt es nicht gegen an. Es kann sich nicht durchdrängen. Einer gegen viele!“*

*W.: „Das ist doch richtig. Die Menge macht’s!“*

*T. (zögernd): „Wenn im Glas mehr Wasser wäre... wenn das Wasser im Glas so viel wäre wie draussen...“*

*W.: Ja.ja! Da drängen sich Experimente auf, wie?“*

*T.: Ja, wenn wir statt der Wanne einen Suppenteller ... nein, das geht nicht!“*

*Mehrere stimmen aber zu. Ein Teller wird geholt.*

So ging es zwei Stunden lang. Das Abendessen haben wir dort jeweils selber gekocht, und beim Geschirrspülen wurde weiter experimentiert. So war das mit WAGENSCHHEIN.

## **Die sokratische Methode**

Einige von Ihnen wissen, dass sogar ein mit wenig Wasser gefüllter Suppenteller unterboten werden kann: Ein Bierdeckel oder eine Karte aus starkem Papier verwehrt dem Wasser ebenfalls die Flucht aus dem umgekehrten Glas. Also ist es nichts mit „Die Menge macht’s“. Charakteristisch für WAGENSCHHEINS sokratisches Vorgehen ist, dass er solche Fehlüberlegungen wie „die Menge macht’s“ nicht korrigierte, sondern im Gegenteil bestärkte. Er vertraute darauf, dass sich die richtigen Sachverhalte durch Gespräche und einfache Experimente von selbst einstellen. Er dozierte nicht, sondern beschränkte sich darauf, das Gespräch bei der Sache zu halten und mit Fragen wie „Wie meinen Sie das?“ exaktes Denken zu fördern, wie einst SOKRATES auf dem Marktplatz zu Athen.

Charakteristisch für die sokratische Methode ist auch, dass keinerlei Fachwissen vorausgesetzt wird. Das Denken entzündet sich an einem geeigneten Phänomen, das Irritation hervorruft:

„Wenn ein Selbstverständliches seine Selbstverständlichkeit verliert, wenn ein Alltägliches, zunächst als selbstverständlich Hingenommenes fragwürdig wird, wenn man wirklich hinguckt und sagt: Das kann doch nicht wahr sein. Wenn das gelingt, dann ist eigentlich alles gewonnen.“

So der Erziehungswissenschaftler HORST RUMPF<sup>3</sup>.

Das sokratische Verfahren hilft den Teilnehmenden, selber zu denken: „Hilf mir es selber zu tun“ für ältere Schülerinnen und Schüler und Erwachsene. Und WAGENSCHAINS Entsprechung des berühmten Mottos MARIA MONTESSORIS heisst: „Das Verstehen des Verstehbaren ist ein Menschenrecht.“

Aus den Gesprächen über das umgekehrte Glas kristallisieren sich zwei Fragen:

- Wie hoch kann man das Wasser auf diese Weise emporheben?
- Warum läuft das Wasser nicht aus?

Beginnen wir mal mit der ersten Frage, die man auch umformulieren kann in ...

### Wie hoch kann man Wasser saugen?

In seinen 1638 erschienenen *Discorsi* hat GALILEO GALILEI die physikalische Mechanik begründet<sup>4</sup>. Die drei Herren, die dort auftreten, liessen sich viel Zeit für Gespräche und kamen dann und wann ins Plaudern. So hat SIGNOR SAGREDO über einen Brunnen berichtet, bei dem man das Wasser nicht mit Eimern heraufziehen muss, sondern mit einer Pumpe emporsaugen kann. Sobald aber das Grundwasser mehr als 10 Meter unter dem Rand des Brunnens lag, funktionierte die Pumpe nicht mehr. Warum das so ist, wusste keiner der drei Gesprächspartner. Und Galilei wusste es demzufolge auch nicht.

Etwa eine Generation nach Galilei lebte OTTO VON GUERICKE. Obwohl – oder weil – er Bürgermeister von Magdeburg wurde verfügte er über viel Freizeit und interessierte sich brennend für die damals aufblühenden Naturwissenschaften. Auch er wollte wissen, wie hoch man Wasser saugen kann. So hat er ein langes Rohr bauen lassen, das zuoberst aus Glas bestand. Dieses stellte er einer Hauswand entlang vertikal auf. Den Fuss des Rohrs stellte er in einen mit Wasser gefüllten Bottich. Mit einer Feuerwehrrpumpe, deren Ventile er umgebaut hat, konnte er das Wasser aus dem Bottich heraufsaugen. Auch er kam auf eine maximale Höhe von gut 10 Metern<sup>5</sup>.

Herrn von Guericke ist dann auch aufgefallen, dass der Wasserspiegel oben nicht immer gleich hoch war. Und das hatte mit dem Wetter zu tun. Insbesondere konnte er, nachdem der obere Wasserspiegel besonders tief stand, einen Sturm vorhersagen. Damit hat OTTO VON GUERICKE das Barometer erfunden.

### Barometer

Wir haben gestern im Arbeitskreis ein Wasserbarometer gebaut. Anstelle eines 10 Meter hohen Bierglases oder einer ebenso langen Röhre haben wir einen durchsichtigen Gartenschlauch mit starken Wänden verwendet. Dieser Schlauch wurde ganz mit Wasser gefüllt, was nicht leicht war, und an beiden Enden mit je einem Pfropfen verschlossen. Der Schlauch hing vertikal und zwar über einer Höhe von etwas mehr als 10 Metern. Dann kam der entscheidende Augenblick: Der untere Pfropfen wurde unter Wasser entfernt.

<sup>3</sup> HORST RUMPF: *Wagenschein*, Rede an der ersten Wagenscheintagung an der Ecole d'Humanité in Goldern 1987.

<sup>4</sup> GALILEO GALILEI: *Unterredungen und mathematische Demonstrationen*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1973, S. 16 oder Ostwalds Klassiker Nr. 11.

<sup>5</sup> OTTO VON GUERICKE: *Neue "Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum*, Ostwalds Klassiker Nr. 59, Wilhelm Engelmann, Leipzig 1894, S. 11.

Was oben geschah, war recht dramatisch: Das Wasser fiel, es schäumte unmutig und pendelte sich auf die erwarteten 10 Meter ein. Der Schlauch wurde zu einem Oval zusammengedrückt.

Dann haben wir den Schlauch etwas gesenkt, wieder gehoben, auch mal schief gestellt: Die Höhe des oberen Wasserspiegels war stets 10 Meter über dem Wasser im Becken unten.

Die Abhängigkeit der Höhe des oberen Wasserspiegels vom Wetter konnten wir natürlich nicht feststellen.

EVANGELISTA TORRICELLI war ein Schüler Galileis. Er kannte also die Geschichte von der Pumpe, mit der man das Wasser nicht höher als 10 Meter emporsaugen kann. Das wollte er genauer untersuchen. An Stelle von Wasser nahm er Quecksilber, denn dieses hat die 13.6-fache Dichte von Wasser. Er konnte also mit Glasröhren von gut einem Meter Länge experimentieren. Eine solche schmolz er am einen Ende zu und füllte sie vollständig mit Quecksilber. Dann verschloss er das offene Ende mit einem Finger, drehte die Röhre, tauchte das nun untere Ende in ein Quecksilberbad und entfernte erst im Quecksilbersee den Finger. Er hat also dasselbe mit Quecksilber gemacht, was wir gestern mit dem Wasser gemacht haben. Das Quecksilber in der Röhre fiel und pendelte sich auf einer Höhe von 76 cm über dem unteren Quecksilberniveau ein. Was befindet sich nun über dem Quecksilber in der oben geschlossenen Glasröhre? Also dort, wo vorher nur Quecksilber war.

### Horror Vacui

Auch der schwäbische Volksdichter JOHANN PETER HEBEL hat sich Gedanken gemacht, was sich über dem Quecksilber im oben geschlossenen Glasrohr befindet. In seiner Kalendergeschichte *Belehrung über das Wetterglas* schrieb er<sup>6</sup>:

*„... Sonst meint man, wo nichts anderes ist, dort sei doch wenigstens Luft. Aber oben in der langen Röhre, wo das Quecksilber aufhört, bis ganz oben, wo die Röhre auch aufhört, ist keine Luft, sondern nichts, reines klares, offenes, nie gewesenenes Nichts. Dies wird erkannt, wenn man das Wetterglas langsam in eine schiefe Richtung bringt, als wollte man es umlegen, so fährt das Quecksilber durch den leeren Raum hinauf bis an das Ende der Röhre, und man hört einen kleinen Knall. Dies könnte nicht geschehen, wenn noch Luft drin wäre. Sie würde sagen: 'Ich bin auch da. Ich muss auch Platz haben'.*

Dieses Experiment hier vorzuführen, wäre mir doch etwas zu riskant. Aber all diese Experimente haben unsere zweite Frage noch nicht beantwortet: Warum fließen das Wasser oder das Quecksilber nicht einfach unten aus?

### „Wer ist schuld?“

MARTIN WAGENSCHNEIDER scheute sich nicht, diese Frage auch so zu formulieren: „Wer ist schuld, dass das Wasser nicht ausläuft?“. Man nennt diese Redeweise animistisch, und bei den Fachpuristen ist die animistische Redeweise so verpönt wie Weihrauch beim Teufel, ein „Verrat“ an der Fachsprache! Aber, so WAGENSCHNEIDER<sup>7</sup>:

*Es ist einfach meine Erfahrung mit Kindern und mit Studenten, dass das animistische Reden den Zugang zur Physik erleichtert. Es genügt nicht, es zu dulden. Man muss es ganz ernst aufnehmen können. Dann spriesst die animistische Rede von selbst weiter wie blühendes Unkraut zwischen den Pflastersteinen des Fachjargons. ... Dann lösen sich die Gesichter, und ein*

<sup>6</sup> JOHANN PETER HEBEL, Alemannische Gedichte, Schatzkästlein des Rheinländischen Hausfreundes, Betrachtende Schriften, *Belehrung über das Wetterglas*, Carl Hanser Verlag, München.

<sup>7</sup> MARTIN WAGENSCHNEIDER: *Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft*, Marburg 1986: Jonas Verlag, S. 60 ff. – M.W.: „...zäh am Staunen, Seelze-Velber 2002, Kallmeyer, S. 47.

*Lächeln steigt in die Augen der Studenten. Sie fühlen sich ein, versetzen sich ins Phänomen. ... Animistische Rede ist teilnehmende Rede.*

Es wird wohl das Vakuum sein, welches das Wasser oder das Quecksilber anzieht. Zur Zeit Galileis herrschte nämlich die Meinung vom *Horror Vacui*: Die Natur schreckt vor dem Vakuum zurück. Deshalb saugen leere oder fast leere Räume Flüssigkeiten oder Gase vehement an. Als ich diese Hypothese jeweils mit meinen Schülerinnen und Schülern diskutierte, kamen wir zum Schluss: Das Vakuum ist ja nichts. Redet man aber vom Vakuum, so wird dieses – unbewusst natürlich – wie so eine Art Naturgottheit angesehen: Es verbreitet Schrecken und saugt alles an. Aber Nichts kann nichts tun, also auch nicht saugen. Nun: Wer sonst – ausser dem Vakuum – könnte schuld sein?

### **Pascal und der Puy de Dôme**

BLAISE PASCAL war nicht nur ein bedeutender Philosoph, sondern, wie es damals durchaus üblich war, auch ein kreativer Naturwissenschaftler. Er wollte mit Hilfe eines Experiments die Frage klären, ob nun das Vakuum das Quecksilber emporsauge, oder aber: Vielleicht könnte es die Luft ausserhalb sein, welche das Quecksilber möglichst weit dorthin drückt, wo nichts ist. Dieses Experiment liess sich allerdings in Paris nicht ausführen, also schrieb er seinem Schwager, der in Clermont Ferrand im französischen Zentralmassiv lebte, einen Brief, aus welchem ich einen Ausschnitt vorlese:

*Wie Sie wissen, haben alle Philosophen an dem Grundsatz festgehalten, die Natur verabscheue [das Vakuum]. Ich habe ... diese Meinung zu zerstören gesucht... . Ich bin jetzt damit beschäftigt, Tatsachen aufzusuchen, die entscheiden lassen, ob die Wirkungen, welche man dem Horror vacui zuschreibt, auf etwas derartiges zurückgeführt werden können, oder durch die Schwere und den Druck der Luft veranlasst werden. Ich habe nun einen Versuch ausgedacht, der genau ausgeführt allein genügen würde, diese Frage zu entscheiden. Der Versuch würde darin bestehen, das Vakuum in der bekannten Weise mehrere Male an einem Tage in derselben Röhre und mit demselben Quecksilber hervorzurufen, das eine Mal am Fusse, das andere Mal auf dem Gipfel eines Berges von wenigstens 5-600 Toisen Höhe, um zu prüfen, ob die Höhe des in der Röhre schwebenden Quecksilbers in beiden Fällen die gleiche oder verschieden ist. Ihr erkennt zweifelsohne schon, dass dieser Versuch die Frage entscheiden würde. Wäre nämlich die Quecksilbersäule auf dem Gipfel kürzer als am Fusse des Berges, so würde daraus notwendig folgen, dass der Luftdruck einzig und allein das Quecksilber in der Schwebelage hält, und nicht ein Horror vacui.*

Am 22. September 1648 antwortete der Schwager aus Clermont Ferrand:

*Zuerst goss ich in ein Gefäss 16 Pfund Quecksilber; darauf nahm ich zwei Glasröhren von gleicher Dicke und 4 Fuss Länge, die an einem Ende luftdicht verschlossen, am anderen offen waren. Mit jeder Röhre stellte ich in bekannter Weise das Vakuum her und zwar in demselben Gefäss. Nachdem ich dann die beiden Röhren einander genähert hatte, ohne sie aus dem Gefäss herauszunehmen, zeigte es sich, dass das Quecksilber, das in jeder geblieben war, sich im gleichen Niveau befand und dass die Höhe der Quecksilbersäulen, von der Oberfläche des in dem Gefäss befindlichen Quecksilbers gemessen, 26 Zoll  $3\frac{1}{2}$  Linien betrug. ...*

*Darauf liess ich die eine Röhre in ihrem Gefässe, ohne den Versuch zu unterbrechen; ich merkte die Höhe der Quecksilbersäule auf dem Glase an und bat jemanden, sorgfältig und unausgesetzt während des ganzen Tages darauf zu achten, ob eine Änderung einträte. Mit der anderen Röhre und einem Teile*

*desselben Quecksilbers begab ich mich in Begleitung mehrerer Personen auf den Gipfel des Puy-de-Dôme und stellte dort, 500 Toisen oberhalb des ersten Ortes, in der gleichen Art denselben Versuch an, den ich vorher gemacht habe. Es zeigte sich, dass die Höhe der Quecksilbersäule in dieser Röhre nur 23 Zoll 2 Linien betrug, während sie in Clermont in derselben Röhre 26 Zoll 3 1/2 Linien betragen hatte, sodass der Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäulen bei diesen beiden Versuchen 3 Zoll 1 1/2 Linien belief. Dies erfüllte uns alle mit Bewunderung und Erstaunen und überraschte uns dermassen, dass wir, um uns von der Richtigkeit zu überzeugen, den Versuch noch fünfmal sehr sorgfältig und an verschiedenen Stellen des Gipfels wiederholten, sowohl unter Dach in einer kleinen Kapelle, die sich dort befindet, als unter freiem Himmel, an geschützter Stelle, sowie im Winde, während klares Wetter herrschte, und bei einem Regenschauer. Immer zeigte sich bei diesen Versuchen, dass die Quecksilbersäule eine Höhe von 23 Zoll 2 Linien innehielt.*

WAGENSCHEN wusste, dass man nicht stundenlang sokratisch unterrichten kann. So hat es bei seinen Seminarien immer wieder solche Geschichten vorgelesen. Dabei haben wir gelernt, dass die Pioniere der Wissenschaft – GALILEI, VON GUERICKE, PASCAL und viele mehr – ähnliche Fragen haben wie Kinder und junge Menschen, wenn man ihnen ein interessantes Phänomen darbietet.

Ich habe einmal mit einer kleinen Gruppe von Schülern Pascals Experiment wiederholt. Mit einem Quecksilberbarometer bestiegen wir die Bahn, die auf Zürichs Hausberg, den Üetliberg führt. Ein wenig bange war mir schon mit diesem Quecksilber in der Ausflugsbahn, aber einmal im Leben wollte ich es wissen.

Unsere Messungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Höhe über Meer	Höhe der Hg-Säule
Schulhaus Freudenberg, Zürich	420 m	732.2 mm
Üetliberg-Kulm	870 m	691.9 mm
Differenzen	450 m	40.3 mm

### Das Gleichgewicht im Barometer

PASCAL vermutete, dass das Quecksilber – oder das Wasser – im Barometerrohr „durch die Schwere und den Druck der Luft“ am Ausfliessen gehindert wird. Schuld soll also die Luft ausserhalb des Barometers sein, und nicht das Vakuum drinnen. Aber das ist doch merkwürdig: Durch die Schwere drücken Dinge nach unten. So drückt die Luft den Quecksilbersee ausserhalb des Rohres nach unten. Wie soll sie das Quecksilber in der Röhre nach oben drücken? Und zwar 76 cm hoch auf Meereshöhe.

Nun drückt die äussere Luft nicht auf einen festen Gegenstand, sondern auf eine Flüssigkeit. Und da breitet sich der Druck in allen Richtungen aus. Darum brauchen Flüssigkeiten ein Gefäss. Die Flüssigkeit wird also dorthin gedrückt, wo's Platz hat: Also möglichst ins Rohr, wo nichts dagegendrückt. Aber wenn die Flüssigkeit in die Höhe gedrückt wird, beginnt sie sich zu wehren: Durch ihre Schwere drückt sie zurück. Das Barometer ist im Gleichgewicht, wenn die Flüssigkeitssäule im Steigrohr so stark drückt wie die Atmosphäre ausserhalb. Darum ist die Höhe der Quecksilbersäule ein Mass für den Atmosphärendruck.

## Wie hoch ist die Atmosphäre?

Unsere Messungen der Üetliberg-Exkursion haben bestätigt, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe kleiner wird. Jetzt könnte man kühn werden und sich fragen, auf welcher Höhe dieser Luftdruck Null wäre: Ein Dreisatz. Damit hätten wir die Höhe der Atmosphäre bestimmt. Also:

- Eine Höhendifferenz von 450 m entspricht 40.3 mm Quecksilbersäule.
- Welcher Höhe entsprechen 732.2 mm Quecksilbersäule?
- Das Ergebnis ist: 8176 Meter. So hoch ist die Atmosphäre über Zürich.
- Nun müssen wir noch die Höhe des Schulhauses dazuzählen, und wir erhalten 8596 m.

Aber schon meldet sich einer, und damit sind wir wieder mitten in der sokratischen Situation: „Das kann ja nicht sein! Denn da hat doch einer mal ohne Sauerstoff den Mount Everest bestiegen, und der ist 8848 m hoch!“ Und ein Mädchen doppelt nach: „Die Flugzeuge der Interkontinentalflüge fliegen ja auf 11'000 m Höhe, und darum muss es auch dort oben auch noch Luft haben.“

Wir sind also irgendwie in die Irre gegangen. Aber wo und wie?

## Die Schichtung der Atmosphäre

Nach weiteren Gesprächen kommen wir zum Schluss, dass wir mit dem Wasser-Quecksilbervergleich zwei Flüssigkeiten miteinander verglichen haben. Und dieses Verfahren haben wir auf einen Vergleich zwischen Wasser und Luft angewendet. Aber Luft verhält sich ganz anders als Wasser: Dieses verteidigt seinen Platz vehement, jene lässt sich relativ leicht zusammendrücken.

Beim Wasser gilt: Je tiefer wir tauchen, umso mehr drückt das Wasser – und wird ebenso stark gedrückt, nämlich vom Wasser, das oberhalb lastet. Eine Schülerin hat in einem Aufsatz über den so genannten Schweredruck des Wassers geschrieben:

*„Wir haben festgestellt, indem wir unsere Hand mit einem Plastiksack bekleidet und anschliessend in ein tiefes Gefäss<sup>8</sup> gefüllt mit Wasser getaucht haben, dass, je tiefer wir unsere Hand in die Flüssigkeit gehen liessen, desto mehr drückt das Wasser den Plastik an unsere Hand. Folglich darf man behaupten, dass der Wasserdruck je tiefer umso stärker ist. Wieso?“*

*- Weil sich das Wasser auch zusammendrückt, wie bei einem Bücherstapel. Welches Buch ist das «ärmste»? Natürlich das unterste.“*

Diese Schülerin hatte keine Scheu vor animistischer Rede: Das unterste Buch ist das ärmste. Aber keine Bange, dass sie ernsthaft Mitleid mit ihm hatte.

Bei der Luft gilt natürlich dasselbe: Je höher wir in der Atmosphäre aufsteigen, umso weniger wird die Luft von der Luft darüber zusammengedrückt. Aber bei der Luft kommt etwas Entscheidendes dazu: Je weniger die Luft zusammengedrückt wird, umso mehr kann sie sich strecken. Mit zunehmender Höhe werden also sowohl der Druck wie auch die Dichte der Luft kleiner. Es bedarf also weiterer Messungen in verschiedenen Höhen, um den Druckverlauf der Atmosphäre zu ermitteln. Und dann zeigt sich ein Gesetz, welches die Mathematiker Exponentialfunktion nennen, das aber sehr einfach zu verstehen ist:

In einer Höhe von 5500 m beträgt der Luftdruck nur noch die Hälfte vom Druck auf Meereshöhe. Auf 11 km Höhe ist der Druck ... Nein! nicht Null, sondern wieder auf die Hälfte gesunken, also ein Viertel vom Druck auf Meereshöhe. Und so weiter.

Zusammenfassend und verallgemeinernd:

Immer, wenn wir um 5500 m aufsteigen, sinkt der Luftdruck jeweils auf die Hälfte.

<sup>8</sup> z.B. ein wasserdichter Plastik-Papierkorb

Man nennt die kritische Höhe, nämlich 5.5 km, die *Halbwertshöhe* der Atmosphäre.

Genaugenommen ist auch dieses Gesetz eine relativ grobe Näherung, denn die Dichte der Luft hängt nicht nur vom Druck ab sondern auch von der Temperatur. Bekanntlich wird es mit zunehmender Höhe immer kälter. Und auf der doppelten Halbwertshöhe, also da, wo die Jets fliegen, ist es auch über heißen Wüsten – 50°C kalt. Das hat natürlich schon einen Einfluss auf den Druckverlauf, aber für unsere Vorstellung von der Atmosphäre genügt unser Gesetz.

Damit sind Reinhold Messner und die Interkontinentalflüge gerettet. Aber dieses Gesetz führt zu einer bestürzenden Erkenntnis: Die Atmosphäre hört nirgends auf, sie hat keine obere Grenze. Allerdings verdünnt sie sich dramatisch: Auf 55 km Höhe, das entspricht gerademal der Distanz von Krimml nach Zell am See, beträgt der Luftdruck nur noch ein Tausendstel des Drucks auf Meereshöhe. Und auf 110 km Höhe nur noch ein Millionstel. Die Atmosphäre ist zwar unbegrenzt hoch, aber dennoch ein zartes Häutchen um die Erde.

### Wieviel Luft enthält die Atmosphäre?

Kann man die Menge der Luft in der Atmosphäre ausrechnen? Wohl kaum, wenn wir ihre Höhe nicht angeben können.

Doch da hilft ein Trick, den Physiker dann und wann anwenden. Wir wissen, und einige von uns wissen es aus eigener Erfahrung, dass die Atmosphäre ebenso stark drückt wie eine 10 m hohe Wassersäule. Nun kann man sich an Stelle der Atmosphäre einen 10 m hohen Wasserfilm um die ganze Erde denken. Dieser Wasserfilm würde gleich viel Wasser enthalten wie die Atmosphäre Luft.

Höhe mal Oberfläche der Erde ergibt das Volumen dieses Wasserfilms. Wenn man dann noch weiss, dass ein Kubikmeter Wasser eine Tonne wiegt, kann man die Masse dieses gedachten Wassers, und damit die Masse der wirklichen Atmosphäre leicht ausrechnen. Das ergibt aber eine riesige Zahl, unter der man sich nichts vorstellen kann<sup>9</sup>.

Aber stellen wir uns diesen Wasserfilm als Modell der Atmosphäre einmal bildlich vor. Umfang: 40'000 km, Höhe 10 Meter! Stellen wir uns einen Globus im Masstab 1 zu 10 Millionen vor, dann hätte dieser einen Durchmesser von fast 1.3 Meter. Und das Wasserhäutchen hätte im gleichen Masstab eine Dicke von einem Tausendstel-Millimeter. Das entspricht etwa zwei Lichtwellenlängen: Das Häutchen würde also farbig schimmern wie eine Seifenblase oder eine Ölschicht auf Wasser. Aber das ist eine andere Geschichte... .

Und mit diesem Bild, das die Zartheit der Atmosphäre ahnen lässt, wäre ich beim Motto dieser Krimmler-Tage: Verantwortung für die Atmosphäre ist entscheidend für die Verantwortung unserer Welt.

### Nochmals: Wagenschein und Montessori

Das allmähliche Vertrautwerden mit einer bedeutsamen Sache nannte WAGENSCHN das genetische Verfahren<sup>10</sup>:

*„Pädagogik hat mit dem Werdenden zu tun: mit dem werdenden Menschen und – im Unterricht, als Didaktik – mit dem Werden des Wissens in ihm.“*

Und das genetische Vertrautwerden mit der Atmosphäre der Erde würde ich als Beitrag zur *kosmischen Erziehung* MARIA MONTESSORI zählen. So denke ich, dass sich MARTIN WAGENSCHN und MARIA MONTESSORI tatsächlich einiges zu sagen gehabt hätten. Darum wollen wir Nachgeborenen es an ihrer Stelle tun.

<sup>9</sup> Masse der Atmosphäre:  $5.1 \cdot 10^{15}$  Tonnen.

<sup>10</sup> MARTIN WAGENSCHN: *Zum Problem des Genetischen Lehrens*, in: M.W.: *Verstehen lehren*, Weinheim 1989, Beltz, 8. Auflage, S. 75.