

Die
natürliche Reinigung des Wassers.

Von

Prof. Dr. Max Gruber.

Vortrag, gehalten den 30. November 1892.



Alles Wasser, das uns Binnenländern zur Verfügung steht, stammt aus den Niederschlägen. Auf seinem Wege aus den Wolken bis zu den Stellen, wo wir es schöpfen, kommt es mit gar mancherlei in Berührung; schon auf dem Wege durch die Luft! Da schwebt allerlei Staub, kleinste Trümmer oft der unappetitlichsten Sachen, Mikrobenkeime, darunter Fäulnis-, Gährungs-, vielleicht auch Krankheitserreger. Die Niederschläge waschen die Luft und führen all den Staub, den sie auf ihrem Wege in ihr finden, mit sich fort.

Noch schlimmer steht's, wenn das Wasser auf die Erdoberfläche gelangt ist. Ganz abgesehen vom Menschen und seiner Thätigkeit findet sich hier überall Gelegenheit zur Verunreinigung und gerade zu solcher, welche wir instinctiv am meisten verabscheuen. Überall steht neben dem Leben der Tod, wenn uns das auch die große Betrügerin Natur nach Kräften zu verbergen sucht; das Grauensvolle, das uns umgibt, mit dem Schleier der Maja verhüllt. Überall trifft das Wasser, das auf den Boden gelangt ist, auf Leichen, pflanzliche und thierische, auf die Abfälle des Leben-

digen, und nimmt ihre Trümmer und die Erzeugnisse ihrer Zersetzung auf, indem es sie löst oder mit sich fortspült.

Bedenkt man all dies, dann kommt man wohl zur Frage: Ja, findet sich denn irgendwo in der Natur Wasser von genügender Reinheit, so dass wir es ohne Ekel, ohne Schaden für unsere Gesundheit trinken, verwenden können, wie es ist?

Wir wissen, mit wie großem Behagen Viele diese Frage verneinen und damit rechtfertigen, dass sie ganz andere Dinge als Wasser trinken! Nach der Vorstellung, die Andere von der Sache haben, müssten wir eigentlich zum Himalaya gehen und von dort das ideale Wasser holen, wenn wir zu Jahren kommen wollen.

Nun so schlimm kann's mit der Sache nicht stehen! Dies muss dem nüchternen Beobachter sofort einleuchten. Das Menschengeschlecht hat sich doch vom Himalaya, von Rax und Schneeberg recht weit entfernt ausgebreitet, ohne zu verderben.

Es müssen also der Verunreinigung des Wassers reinigende Vorgänge entgegenwirken. Man kennt Derartiges auch von altersher und spricht von einer „Selbstreinigung der Flüsse“, von einer „Selbstreinigung des Wassers im Boden“. Diese Vorgänge — in den letzten Jahrzehnten methodisch studiert — sind's, die wir heute näher betrachten wollen. Hoffentlich werden Sie finden, dass man dabei auf allerlei Interessantes stößt.

Sehen wir uns zunächst die offenen Wasserläufe ein wenig an. Ein altes Sprichwort sagt: „Wenn das Wasser läuft über sieben Stein, dann ist es wieder rein.“ Ein großartiges Beispiel dafür scheint sich in unserer nächsten Nähe darzubieten: die Donau! Gehen Sie im Gedanken zurück bis zu den Quellen und dann hinab den ganzen Lauf, den der Donau selbst, den des Inn und all der anderen Nebenflüsse: wieviel Unrath wandert auf dem weiten Wege aus all den Dörfern und Städten da hinein! Und doch! Schöpfen Sie, wie Wolfbauer bei Greifenstein und mein Assistent Dr. Adolf Heider bei Nussdorf gethan hat, Wasser aus dem Strome oberhalb Wien, und Sie werden nicht viel Schlimmes in ihm nachweisen können.

Milligramme im Liter

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Gesamttrockenrückstand	162·6	173·9	177·5	190·0	206·0	214·2
Verbrauch an Kaliumpermanganat	5·83	8·96	11·42	8·06	5·64	10·43
Ammoniak	0·125	—	—	—	—	0·15
Chlor	3·37	3·41	2·48	2·84	—	3·55

In chemischer Hinsicht muss das Wasser als rein bezeichnet werden. Nur die Spuren Ammoniak, die es manchmal enthält, verrathen etwas von stattgehabter Verunreinigung. Das Wasser ist allerdings trübe und führt oft recht viel Schlamm mit sich. Mikroskopieren

Sie aber das Sediment, so finden Sie fast nur mineralischen Detritus, daneben Kieselalgen, grüne Algen: harmlose Geschöpfe; nichts von allen Trümmern des menschlichen Haushaltes, die Sie vielleicht zu finden erwartet haben. Auch der bakteriologische Befund bleibt wohl weit hinter dem zurück, was Ihre Phantasie Ihnen vormalte. Das Wasser der Donau oberhalb Wien bei Nussdorf enthält in 1 cm^3 zwischen 500 und 4000 Keime, also nicht viel mehr als manches scheinbar reine Gebirgsflüsschen auch.

Was ist aus all den Unreinigkeiten im Wasser geworden?

Noch überraschender wirkt, was wir von Dr. Heider über die Veränderung der Beschaffenheit des Donauwassers durch den Zufluss der Schmutzwässer Wiens erfahren.

Wir können annehmen, dass die gewaltige Stadt in jeder Secunde 1400 ℓ Schmutzwasser abgibt. Jeder Liter führt im Mittel 1.8 g Schwebestoffe und enthält im Mittel circa 2 g Gelöstes. In jeder Secunde werden also circa 2.5 kg aufgeschwemmté und bis zu circa 3 kg gelöste Stoffe entfernt, also pro Minute 150 kg Aufgeschwemmtes und 180 kg Gelöstes, pro Stunde 9000 kg Aufgeschwemmtes und 10.800 kg Gelöstes, pro Tag 216.000 kg Aufgeschwemmtes und 259.200 kg Gelöstes. Mit all dem wird der Strom verschmutzt, und dies bleibt denn allerdings auch nicht ganz verborgen. Betrachten wir zunächst die gelösten chemischen Verbindungen. Ich greife einen Versuchstag heraus, an dem die Wir-

kung mit am stärksten hervortrat, weil der Wasserstand der Donau niedrig war. Diese kleine Tabelle zeigt Ihnen in den obersten Reihen die Verschiedenheiten der Zusammensetzung des filtrirten Wassers am Beginne und am Ende des Donaucanals, also vor und nach Beimischung des Wiener Schmutzes.

Milligramme im Liter.

Ort der Entnahme	Entfernungen Kilometer		Gesamt-Trockenrückstand	Kalium-Permanganat-Verbrauch	Ammoniak	Chlor
Donaustrom } b. Nussdorf }	—	—	206	5·64	—	2 84
Donaucanal } am Ende }	16·8	—	221	11·45	1·4	5·33
Albern	18·3	1·5	—	8·71	0·42	4·62
Mannswörth .	21·3	4·5	—	7·42	0·15	—
Fischamend .	29·7	12·9	—	6·77	0·15	—
Hainburg . . .	56·2	39·4	204	5·80	—	3·71

Sie sehen: die Menge des Gesammtrückstandes nach Verdunsten des Wassers ist vermehrt, ebenso die Menge des Kochsalzes, die Menge der organischen Substanzen, wie wir aus dem gesteigerten Verbrauche des übermangansauren Kaliums erkennen können, welches zur Oxydation der organischen Stoffe in Wasser dient. Wir finden Ammoniak im verunreinigten Wasser. Es wird Ihnen aber schon aufgefallen sein, dass die

Zunahme aller dieser Stoffe nur wenige Milligramme im Liter ausmacht.

Verfolgen wir jetzt die Veränderung der Zusammensetzung des Wassers im Hauptstrome abwärts. Eine kurze Betrachtung dieser Zahlen lehrt Ihnen, dass das Wasser rasch wieder reiner wird, und dass bereits bei Hainburg, d. h. circa 40 *km* unterhalb des Endes des Donaucanals, die im Wasser gelösten Stoffe beim Vergleiche mit dem Donauwasser bei Nussdorf nichts mehr davon verrathen, dass auf der dazwischen liegenden Strecke der ganze Unrath einer Stadt von vielen Hunderttausenden in den Strom gelangt ist!

Hat inzwischen also wirklich ein grossartiger Reinigungsprocess, eine wirkliche Zerstörung oder Absorption der fremden Verbindungen, besonders der organischen, stattgefunden?

Wir wissen, dass eine derartige Zerstörung von organischer Substanz im fließenden Wasser wirklich erfolgt. Das Wasser absorbiert Sauerstoff aus der Luft, und dieser absorbierte Sauerstoff wirkt oxydierend auf die organischen Stoffe. Nach neueren Versuchen soll der Gehalt der Wässer an den Bicarbonaten der alkalischen Erden dieser Oxydation besonders förderlich sein (O. Löw). Man darf sich dieselbe nicht als einen rein chemischen Vorgang vorstellen. Der Hauptsache nach ist dieser Verbrennungsprocess durch die Mikroben im Wasser vermittelt. Die Versuche haben nämlich gelehrt, dass die Oxydation in einem Wasser, dessen Keime abgetödtet worden sind, ausbleibt. Be-

sonders kräftig wirkt voraussichtlich jener Sauerstoff, der von den grünen Wasserpflanzen im Sonnenlichte abgespalten wird und im sogenannten status nascendi auf die oxydierbaren Stoffe im Wasser einwirkt. Man schreibt daher diesen grünen Vegetationen, besonders den grünen Algen, einen wesentlichen Antheil an der Entfernung der organischen Verunreinigungen aus dem Wasser zu. Sie haben nicht allein Einfluss auf den Oxydationsprocess, sondern sie absorbieren auch organische Stoffe aus dem Wasser und verwenden sie als Nahrung. So hat vor kurzem erst Bokorny gezeigt, dass 10 g der grünen Alge *Spirogyra nitida* in 10 Tagen 168 mg Glycerin, beziehungsweise 115 mg Formaldehyd verbrauchen können.

Man darf jedoch die quantitative Bedeutung dieser Oxydations- und Absorptionsvorgänge im Wasser nicht überschätzen. Soweit unsere Experimente reichen, zeigt sich, dass jene nur in bescheidenem Umfange und sehr langsam verlaufen. So vergiengen in den Versuchen von F. Emich Wochen und Monate, bis in einem beständig mit Luft geschüttelten Wasser der Gehalt an organischen Stoffen auf ein Drittel, beziehungsweise die Hälfte des Ursprünglichen herabgesunken war.

Sehr häufig wird jener Factor nicht hinreichend gewürdigt, der ohne Zweifel der wichtigste bei diesem scheinbaren Verschwinden der gelösten Verunreinigungen ist: die Verdünnung der Schmutzwässer. Sie findet sofort bei ihrem Eintritte in den Fluss und

im weiteren Laufe nach abwärts statt und kann endlich so hochgradig werden, dass unsere chemischen Methoden, so fein sie sind, den Nachweis der Verunreinigung nicht mehr gestatten. Bei unserer Donau spielt jedenfalls die Verdünnung die größte Rolle. Ihr Einfluss ist bei dem wasserreichen Strome so mächtig, dass sich kaum erkennen lässt, ob daneben dem Oxydationsprocesse irgend ein Antheil an der Reinigung auf der kurzen Strecke bis Hainburg zukommt oder nicht. Es klingt erschreckend, wenn man hört, dass in jeder Secunde 3 *kg* gelöste Schmutzstoffe der Donau überliefert werden. Aber was bedeutet diese Menge gegenüber den ungeheuren Wassermassen, welche secundlich im Strome vorüberrauschen, gegenüber den 400—450 *kg* gelöster Stoffe, die sie secundlich an Wien vorüberführen? Schon im Donaucanale findet bei niederstem Wasserstande eine etwa dreißigfache Verdünnung der Schmutzwässer statt. Im Hauptstrome ist sie dreihundertfach und darüber! Heider hat berechnet, wie groß die Mengen der gelösten Stoffe sind, welche nach der vollständigen Mischung der Schmutzwässer mit dem Stromwasser aus jedem Liter Wasser verschwinden müssen, damit das Wasser wieder dieselbe Zusammensetzung aufweise wie bei Nussdorf. Sie finden seine Berechnungen aus den Befunden der einzelnen Beobachtungstage in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Milligramme im Liter.

Datum	24. VI. 1891	8. X. 1891	22. X. 1891	2. III. 1892	25. III. 1892	23. IX. 1892	28. IX. 1892
Permanganat	0·079	0·581	1·092	0·239	0·549	0·703	0·426
Chlor	0·102	0·248	0·719	0·061	0·284	0·177	0·165
Ammoniak	0·13	0·14	0·413	0·024	0·15	0·25	0·11
Rückstand.	0·38	1·48	—	—	—	—	3·36

Wie winzig sind also diese Mengen, welche auf dem Wege bis Hainburg zum Verschwinden gebracht werden müssen! Reichliche Massen von Grundwasser treten auf diesem Wege, besonders vom rechten Ufer her, in die Donau aus. Ihre Beimischung allein dürfte fast völlig hinreichen, um den, auf den ersten Blick so erstaunlichen Befund bei Hainburg zu erklären. Keinesfalls wäre die Oxydationsleistung groß zu nennen, wenn durch sie die Spuren von Ammoniak und organischer Substanz entfernt würden, deren Nachweis schon fast innerhalb der Fehlergrenzen unserer Methoden geführt werden muss.

In unserem Falle ist es natürlich gleichgiltig, ob und inwieferne die gelösten Verunreinigungen durch wirkliche Zerstörung oder durch Verdünnung verschwinden. Im einen wie im anderen Falle ist es sicher, dass es in der Donau nie zu hochgradiger Wasserfäulnis kommen wird, dass es in ihr nie zu einer Vergiftung des Wassers im eigentlichen Sinne, nämlich durch giftige chemische Verbindungen kommen kann. Nicht so gleichgiltig aber ist die Entscheidung der Frage für Wasserläufe, in denen wenig Wasser

träge fließt. Fände eigentliche Selbstreinigung in dem Umfange statt, wie sich's Manche vorstellen, dann könnte man auch solchen kleinen Wasserläufen viel Schmutz überantworten und nach kurzem Laufe das Wasser wieder verwenden. Ganz anders aber, wenn die Verdünnung das Entscheidende ist. Dann wird es bedenklich sein, kleine Bäche und Flüsse zu verunreinigen, ihr Wasser wird auf weite Strecken, vielleicht auf die ganze Länge ihres Laufes verdorben, unbrauchbar werden. Und dies wird durch die Erfahrung bestätigt. In England z. B. ist kein Wasserlauf wasserreich genug, um die Schmutzwässer einer Mittelstadt ohne merkliche Verunreinigung aufnehmen zu können, und keiner lang genug, um dem Selbstreinigungsprocesse Zeit zu nennenswerter Wirkung zu lassen.

Dass die Selbstreinigung der Flüsse kein Vorgang von solch zauberhafter Gründlichkeit und Raschheit ist, wie's Manchem die Phantasie vormalt, zeigt auch die Beobachtung der Schwebestoffe. Die größeren und schwereren Partikel setzen sich allerdings ziemlich rasch ab, besonders an Stellen, wo die Strömungsgeschwindigkeit abnimmt, und diese größeren Theilchen reißen wohl auch einen Theil der feinsten Partikelchen, z. B. auch Mikrobenkeime mit sich. Aber trotzdem konnte Heider bei Fischamend, circa 13 *km* unterhalb der Mündung des Donaucanals, mit Leichtigkeit Muskelstückchen, gequollene Stärkekörner und andere Dinge von unzweifelhafter Herkunft in den Wassersedimenten nachweisen, während bei Hainburg

allerdings auch jede mikroskopische Spur der Besudlung des Stromes fehlte.¹⁾

Am weitaus Empfindlichsten erwies sich die bakteriologische Untersuchungsmethode. Mit ihr erhält man die stärksten Ausschläge, sie lässt die Verunreinigung am längsten erkennen. Sie ist darin den chemischen Methoden unendlich überlegen. Die folgende Tabelle enthält einige der von Heider ermittelten Daten.

Anzahl der Keime in 1 *cm*³ Wasser.

Nussdorf	1865	3615	1387	486	
Donaucanal am Ende	—	25460	62280	107000	
Fischamend	{ rechts Mitte links	—	—	—	12925
		—	—	—	2519
		—	—	—	2165
Hainburg	{ rechts Mitte links	5560	i. M.	i. M.	4295 i. M.
		5426	3190	5137	5485 4638
		4196			4135
(Hainburg berechnet)	—	5736	7615	11280)	

¹⁾ Dass sich die Schlammablagerungen im Strome nicht bemerkbar machen, rührt davon her, dass die Menge des zersetzungs-fähigen organischen Schlammes äußerst gering ist im Vergleiche zu den mineralischen Geröllablagerungen des Stromes selbst; ferner davon, dass die Donau auch noch bei Wien den Charakter eines alpinen Wildwassers hat und beständig, besonders bei Hochwässern, ihr Bett aufwühlt, ihre Geröllbänke weiterschiebt, so dass keine langdauernden und mächtigen Ablagerungen organischer Sinkstoffe entstehen können. (Vergl. die treffliche Monographie A. Pencks „Die Donau“, Vorträge unseres Vereins, XXXI. Jahrgang, 1891.)

Sie finden auch hier Verminderung der Keimzahl im Laufe des Stromes. Auch sie ist zum Theile auf Sedimentierung, zum Theile aber gewiss auf Abtödtung der Keime durch das Sonnenlicht, durch Nahrungsmangel u. s. w. zurückzuführen. Aber Sie sehen, bakteriologisch betrachtet, ist das Wasser der Donau auch bei Hainburg in der Regel noch nicht gereinigt. Sein Keimgehalt kann hier selbst noch das Zehnfache desjenigen bei Nussdorf betragen. Berechnet man aus dem mittleren Keimgehalte des Wassers im Donau-canale bei seiner Mündung, aus der Verdünnung, welche das Donaucanalwasser durch das Wasser des Hauptstromes erfährt, und aus dem Keimgehalte des letzteren den Keimgehalt des gemischten Wassers, so findet man, dass das Wasser bei Hainburg noch ein bis zwei Drittel der berechneten Keimzahl enthalten kann.

Ich denke, dass eine derartige Thatsache nicht übersehen werden darf, wenn es sich um die Einleitung der städtischen Abfallwässer in die offenen Wasserläufe und um die häusliche Verwendung des Wassers aus solchen offenen Gerinnen in bewohnten Gegenden handelt. Es darf zwar nicht übersehen werden, dass die Keime, von denen hier die Rede war, zum weit-aus größten Theile harmloser Art sein werden, die uns keinen Schaden brächten, wenn wir sie tranken. Die Krankheitskeime werden immer nur in verhältnissmäßig spärlicher Menge in das Wasser hineingelangen und sterben im allgemeinen im Wasser

rasch ab. Durchaus nicht jeder Infectionskeim, den wir in unseren Körper aufnehmen, gelangt hier zur Ansiedelung und Vermehrung, nicht jeder ruft somit Erkrankung hervor. Bei manchen Infectionskrankheiten ist vielleicht die gleichzeitige Aufnahme sehr vieler Keime nothwendig, damit es zur Erkrankung komme. Wir werden daher die Infectionsgefahr, die aus der Verwendung derartig verunreinigten Wassers entsteht, gewiss nicht überschätzen dürfen. Aber die Möglichkeit der Infection durch ein derartiges Wasser, selbst wenn es, wie das der Donau bei Hainburg, die stattgehabte Verunreinigung nicht mehr erkennen lässt, ist nicht in Abrede zu stellen, und wie groß die Gefahr ist, die da droht, das vermag niemand präzise anzugeben. Auf das rasche Absterben der Krankheitskeime ist jedenfalls nicht so sicher zu rechnen. Dr. Fritz von Kerner hat soeben in meinem Laboratorium einige Versuche angestellt, welche beweisen, dass die Choleravibrionen in unserem nicht sterilisierten Leitungswasser bei der Temperatur desselben, gegenwärtig $9 - 11^{\circ}$ C., bis zu 4 und 5 Tagen lang lebend bleiben. Es wäre also z. B. in dieser Beziehung nicht ausgeschlossen, dass Choleravibrionen im Donauwasser von Regensburg lebend bis Wien gelangen. Andere Krankheitskeime, wie beispielsweise die Typhusbakterien, erhalten sich im Wasser viel länger lebendig. Der Hygieniker kann also nur davor warnen, allzusehr auf die Selbstreinigung der Flüsse zu vertrauen und Wasser aus offenen Gerinnen bewohnter Gegenden in

nicht oder nicht hinreichend künstlich gereinigtem Zustande zur städtischen Versorgung zu verwenden.

In wissenschaftlicher Beziehung scheint das Problem der Selbstreinigung der Flüsse bei näherer Betrachtung weniger interessant, da sie im wesentlichen auf Verdünnung hinausläuft, ein Moment, das allerdings in seiner allgemeinen biologischen Bedeutung in der Natur gar nicht überschätzt werden kann.

Viel interessanter und praktisch wichtiger ist die Reinigung, welche das Wasser im Boden erfährt. Wenn das Wasser in die Erde einsickert und im durchlässigen Boden in die Tiefe fließt, wird es auf diesem Wege nur ausnahmsweise stärker verunreinigt. Im Gegentheil wird es in der Regel gereinigt; wenigstens gilt dies im hygienischen Sinne. Rein chemisch betrachtet wird das Wasser allerdings zumeist unreiner, nämlich reicher an gelösten Stoffen. Aber der Zuwachs besteht fast immer lediglich aus Mineralstoffen, besonders aus Calciumbicarbonat (doppeltkohlensaurem Kalke), welches das Wasser sogar wohlschmeckender macht, wenn es nicht in allzu großen Mengen vorhanden ist. Dagegen werden die ekelhaften und schädlichen oder gefährlichen Verunreinigungen immer vollständiger aus dem Wasser abgeschieden, je weiter es im Boden vordringt.

Zum Verständniss der Vorgänge, die dies zustande bringen, ist es nothwendig, ein wenig über die Structur des Bodens und sein Verhalten zu Luft und Wasser zu wissen. Die Structur der obersten Bodenschichten

ist außerordentlich mannigfaltig je nach ihrer Entstehung. Wir wollen uns hier nur mit jenen Böden beschäftigen, die für uns die wichtigsten sind, weil die meisten und größten menschlichen Ansiedlungen auf ihnen liegen, mit den Diluvial- und Alluvialschichten, dem Schwemmlande.

Die Gesteinstrümmer, fein oder grob, aus denen diese Schichten bestehen, erfüllen den Bodenraum durchaus nicht vollständig. Überall bleiben zwischen ihnen Hohlräume, die zusammengenommen einen sehr ansehnlichen Bruchtheil des Gesamtvolumens des Bodens ausmachen. Man nennt diesen Bruchtheil das Porenvolumen. Dasselbe kann in natürlichen, sogenannten gewachsenen Böden 30 und 40 Procente des gesammten Bodenraumes ausmachen.

Ganz außerordentlich verschieden bei verschiedenen Schwemmböden ist die Größe der einzelnen Hohlräume oder Poren und deren Zahl. Beides ist abhängig von der mittleren Größe der einzelnen Trümmer, aus denen der Boden besteht, von der sogenannten Korngröße. Je kleiner das Korn des Bodens, um so größer die Zahl der Poren, um so kleiner und enger jede einzelne. In feinkörnigen Böden ist die Zahl der einzelnen Körner eine erstaunlich große, und ebenso erstaunlich groß ist die Oberfläche, welche diese Körner der Luft oder dem Wasser darbieten, das zwischen sie eindringt. Man hat berechnet, dass 1 m^3 „feiner Sand“ 50.000 Millionen Körner enthält und eine Oberfläche von 10.000 m^2 darbietet! Es ist

verständlich, dass so große Oberflächen mächtige Anziehungen, mächtige Adhäsionswirkungen äußern können.

In den Hohlräumen des Bodens hat also ein großes Quantum Luft oder Wasser Platz. Mehrere starke Niederschläge können bereits in der oberflächlichsten Bodenschichte Raum finden. Das einmal aufgenommene Wasser wird von manchen Böden sehr vollständig und hartnäckig zurückgehalten, so dass es aus den obersten Schichten nur dann weiter in die Tiefe abfließt, wenn es von neu von oben dazukommendem Wasser verdrängt wird. Man nennt die Wassermengen, welche von einem Boden dauernd zurückgehalten und am Abfluss verhindert werden, seine kleinste Wassercapacität. Sie ist um so größer, je feinkörniger der Boden ist. 1 m^3 Boden kann so 40 und 50 bis 300 l Wasser festhalten. In den feinstkörnigen Böden bleiben alle Hohlräume mit dem eingedrungenen Wasser dauernd erfüllt, insoferne dieses nicht verdunstet. Da in jedem Boden kleinere und gröbere Körner und damit engere und weitere Poren nebeneinander vorkommen, so ist es die Regel, dass in einem Boden, der vollständig mit Wasser erfüllt war (z. B. nach reichlichem Niederschlage), wenn Gelegenheit zum Abflusse des Wassers gegeben ist, ein Theil der Poren sich entleert (die Weiten), während in den engeren die Wassertheilchen durch Adhäsion zurückgehalten werden. Dann findet sich also gleichzeitig Luft und Wasser in enger Nachbarschaft im Boden. Wir werden bald

sehen, dass dies ein für die Reinigung von Boden und Wasser sehr wichtiger Umstand ist.

Da in den durchlässigen Bodenschichten so große Räume vorhanden sind, da feinkörnigere Böden so große Mengen Wasser am Abflusse hindern, da — wie Sie sich denken können — der Bewegung des Wassers in den engen Porencanälen beträchtliche Reibungswiderstände entgegenstehen, so bewegen sich die Niederschlagswässer in feinkörnigerem Boden überaus langsam nach abwärts. Fr. Hofmann hat berechnet, dass es im Leipziger Lehmboden und bei den Leipziger Niederschlagsmengen länger als ein Jahr dauert, bis ein Wassertheilchen von der Bodenoberfläche bis zur Tiefe von 3 *m*, wo sich das Grundwasser befindet, hinabgelangt! Auch das Grundwasser, also das freie bewegliche Wasser, das sich auf den undurchlässigen Schichten im Boden ansammelt, fließt außerordentlich langsam im Vergleiche mit den Wasserläufen an der Oberfläche. Auch bei starken Gefällen hat man die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers nicht höher als zu 3 und 8, im Maximum zu 35 *m* pro 24 Stunden gefunden! Nur wenn man sich diese Langsamkeit der Wasserbewegung im Boden gegenwärtig hält, kann man die Reinigungsvorgänge begreifen.

Dass der Boden die Fähigkeit besitze, das Wasser zu reinigen, z. B. Färbung, Geruch des Wassers zu beseitigen, weiß man seit Urzeiten. Es ist auch schon lange her, dass man sich diese seine Fähigkeit künstlich zunutze zu machen suchte. So führte man z. B.

in Venedig schon im Jahre 1685 die Sandfiltercisternen ein. Liebig und die Agriculturchemiker haben uns die Bedeutung dieser Vorgänge für das Pflanzenleben enthüllt. Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben dann Falk, Lissauer, Soyka u. a. die Sache vom hygienischen Gesichtspunkte aus experimentell genauer untersucht. Sie fanden, dass feinkörnige Böden in erstaunlichem Maße die Fähigkeit besitzen, gewisse gelöste organische Verbindungen aus dem Wasser zu entfernen. Vorzüglich die großen, atomenreichen Molecüle sind es, die abgeschieden werden: viele Farbstoffe, die Alkaloide, die Enzyme, die Eiweißkörper u. s. w. Auf 400 cm^3 Boden, der eine 60 cm hohe Filterschicht in einer Glasröhre bildet, kann man z. B. wochenlang täglich 10 cm^3 einer 1 $\frac{0}{0}$ igen Strychninlösung aufgießen, ohne dass eine Spur des Giftes im filtrirten Wasser zu finden wäre. Die Giftlösung ist also durch den Boden entgiftet worden. Gerade die ekelhaftesten und gefährlichsten Verbindungen aus den Abfallstoffen, die fäulnisfähigen Verbindungen und ihre stickstoffhaltigen organischen Zersetzungsproducte, darunter die giftigen Toxine und Toxalbumine, werden vom Boden beseitigt. Selbstverständlich hat diese Fähigkeit des Bodens ihre Grenzen. Muthet man ihm zuviel zu, überantwortet man ihm zu große Massen von Schmutzwässern, zu concentrirte Lösungen, führt man ihm die zu filtrierenden Wässer ununterbrochen zu, dann versagt er mehr und mehr, so dass die gelösten Verbindungen schließlich in unveränderter Con-

centration durchfiltrieren. Man sagt dann, der Boden sei mit den Schmutzstoffen gesättigt. Solche Verhältnisse kommen im Boden mancher menschlichen Ansiedelungen vor, wo man seit altersher ohne viel Überlegung allen Unrath dem Boden überliefert, um ihn nur aus den Augen zu bekommen.

Was ist nun mit den Stoffen geschehen, die aus der wässerigen Lösung verschwunden sind?

Der Boden hat sie absorbiert. Durch die sogenannte Flächenattraction zurückgehalten, sind sie an der Oberfläche der Bodenpartikelchen hängen geblieben. Man kann sie, zunächst wenigstens, hier nachweisen. Trocknet man z. B. den Boden, durch den man mehrere Tage lang die Strychninlösung filtriert hat, und zieht man ihn mit passenden Lösungsmitteln aus, so erhält man den größten Theil des aufgegossenen Strychnins wieder.

Aber doch nie die ganze Menge! Denn die organischen Stoffe, und zwar gerade die stickstoffhaltigen Abfälle und Überreste der Organismen werden in den Böden nicht allein absorbiert, sondern auch zersetzt, zerstört. Die organische Substanz wird im Boden mineralisiert. Es ist im wesentlichen ein großartiger Oxydations-, Verbrennungsprocess, der überall in den obersten Bodenschichten verläuft, wenn ihre Poren in genügendem Maße mit Luft erfüllt sind. Der Kohlenstoff und Wasserstoff der organischen Stoffe wird zu den Endproducten der Oxydation, Kohlensäure und Wasser verbrannt, der organische Stickstoff und

das aus den stickstoffhaltigen organischen Verbindungen abgeschiedene Ammoniak zu salpetriger Säure und Salpetersäure.

Auch auf diesen Process üben wieder zahlreiche Umstände Einfluss. Nur wenn genug Luft, beziehungsweise Sauerstoff im Boden vorhanden ist, erfolgt die Oxydation rasch und vollständig. Im anderen Falle tritt zunächst stinkende Fäulnis der genannten Abfälle ein, und es kann unter Umständen eines weiten Weges im Boden bedürfen, bis ihre Producte aus den abfließenden Wässern völlig beseitigt sind. Für den Luftgehalt des Bodens ist seine Structur bestimmend, die Weite seiner Poren und damit seine Wassercapacität, die wieder von seiner Korngröße abhängen. Er wird übrigens im selben Boden wechseln mit den Witterungsverhältnissen, mit der Menge der Niederschläge.

Abgesehen vom Luftgehalte des Bodens ändert sich dann die Intensität des Verbrennungsprocesses mit der Bodentemperatur, mit der Concentration der Lösungen u. s. w. Es würde uns zu weit führen, wollten wir all das näher betrachten. Trotz aller der Einflüsse, die örtlich diesen Vorgang stören und einschränken können, verläuft er im allgemeinen stets in großartigem Maßstabe. Ungeheure Massen von organischer Substanz werden durch ihn beständig zerstört, in ihre anorganischen Endproducte übergeführt, die wieder neues Leben nähren. Er ist ein unentbehrliches Glied im Kreislaufe des Stoffes durch die organisierte und unorganisierte Welt!

Über diesen Selbstreinigungsprocess und seinen Umfang besteht kein Zweifel. Wir finden seine Endproducte und können ihre Mengen messen; wir können diese Reinigung des Wassers schrittweise verfolgen. Ihm ist es zu danken, dass wir in der Regel im hygienischen Sinne reines Wasser in den tieferen Bodenschichten finden, dass der Boden dauernd seine Absorptionsfähigkeit behauptet, da die absorbierten Verbindungen immer wieder zerstört werden und so immer wieder Platz für neue Molecüle gemacht wird.

Eine entscheidende Rolle bei diesen Vorgängen spielen die Mikrobien im Boden. Nur durch ihre Vermittlung erfolgt die Bildung der Salpetersäure aus dem organischen Stickstoff und die der Hauptmasse der Kohlensäure aus dem organischen Kohlenstoff. In sterilisiertem Boden stehen beide Vorgänge still.

Das Verhalten dieser Mikrobien im Boden und zum Wasser im Boden ist nun höchst merkwürdig, in Bezug auf die Hygiene des Wassers geradezu das Allerwichtigste.

In den obersten Schichten des Bodens, etwa bis zu 1 und $1\frac{1}{2}$ m Tiefe ist die Zahl der Mikrobien eine ganz ungeheure. In jedem Cubikcentimeter Boden kann man viele Millionen Keime finden. Auch die Zahl der Mikrobienarten des Erdbodens ist eine außerordentlich große, und man kann diese oberflächlichsten Schichten des Bodens geradezu als den Hauptsitz der Mikrobienvegetation auf Erden bezeichnen.

Je weiter man aber in die Tiefe des Bodens ein-

dringt, um so niedriger wird die Zahl der Keime, die man in den Bodenproben findet. Die Zahl der Keime im Boden nimmt so reißend ab, dass der Boden in der Regel schon in der Tiefe von 3 *m* völlig keimfrei ist! Die Vegetationsbedingungen in diesen tieferen Bodenschichten sind nicht mehr günstig. Es fehlt meist an organischen Nährstoffen, an dem für die Mehrzahl der Mikroben unentbehrlichen Sauerstoff, der schon in den obersten Schichten mehr oder weniger vollständig aus der eingedrungenen Luft hinweggenommen wird. Dagegen ist die Bodenluft in diesen Tiefen meist reich an der beim Verwesungsprocesse erzeugten Kohlensäure, welche die Entwicklung der Mikroben schädigt. Die Temperatur ist in unseren Breiten schon in geringen Tiefen zu niedrig, um irgend einer Art reichlicheres Wachstum, um vielen Arten überhaupt Wachstum zu gestatten.

Aber es handelt sich nicht allein darum, dass die Mikroben in den größeren Bodentiefen nicht mehr wuchern können. Ihre Keime gelangen überhaupt nicht in größere Tiefen hinab, weil die Böden, wenn wir von Spalten und Klüften und von ganz grobem Geröllboden absehen, keimdichte Wasserfilter darstellen. Die obersten Bodenschichten mögen noch so keimreich sein, die versickernden Schmutzwässer mögen noch so sehr mit ihnen beladen sein: keiner von allen diesen Keimen wird in die Tiefe hinabgeführt. Das Grundwasser in Tiefen von 3 *m* und darüber ist in der Regel keimfrei. Ausnahmen davon

scheinen außerordentlich selten zu sein. Pasteur und Joubert entdeckten als die Ersten 1877 die Keimfreiheit der aus größeren Tiefen stammenden Quellen. C. Fränkel zeigte, dass das Grundwasser in 3 m Tiefe selbst im ältesten Theile von Berlin völlig frei von Keimen ist. Nehmen wir also das Wasser aus größeren Tiefen solcher dichter Böden, so sind wir sicher, dass Infektionskeime, die auf die Bodenoberfläche oder in die obersten Bodenschichten gebracht werden, nicht durch den Boden durch an uns herankommen können, so lange nur das natürliche keimdichte Filter in seinem Zusammenhange erhalten bleibt, nicht durch unsere Eingriffe oder natürliche Ereignisse durchbrochen wird. Solches Wasser bringt keine Infektionsgefahr.

Sie haben also gehört, verehrte Anwesende, dass eine genügend hohe Schichte feinkörnigerer Böden das Wasser in zweifacher Hinsicht reinigt: chemisch, indem sie die organischen Verbindungen, die uns schädlich werden könnten, zurückhält und zerstört; physikalisch, indem sie die im Wasser schwebenden Partikelchen, selbst solche von so minimaler Kleinheit wie die Mikrobenkeime, abfiltriert.

Ich brauche Sie auf die praktische Wichtigkeit dieser Erkenntnisse nicht erst aufmerksam zu machen. Während man früher meinte, man müsse zu Quellen in unbewohnten Gegenden, im Hochgebirge gehen, um ungefährliches Wasser für einheitliche Versorgung zu bekommen, oder dort, wo dies ein Ding der Unmöglichkeit war, zu einer oft höchst mangelhaften künst-

lichen Filtration offener Gewässer lieber seine Zuflucht nahm, als das für höchst gefährlich gehaltene Grundwasser zu verwenden, stellt sich jetzt heraus, dass viele Orte in ihrer Nähe ausreichende Vorräthe unterirdischen Wassers haben, das ohne jede Gefahr für die Gesundheit verwendet werden kann und auch seinen äußeren Eigenschaften nach appetitlich ist. Und dies sind doch die entscheidenden Punkte. Auch noch romantische Herkunft des Wassers zu verlangen, ist ein Luxus, den sich nicht jedes Gemeinwesen erlauben kann. Denn es gibt neben der Wasserversorgung noch so viele andere Dinge in unseren Städten und Märkten zu assanieren, dass kaum zuviel Geld dafür vorhanden sein dürfte. Und denken wir uns selbst ein ideales Gemeinwesen, in dem wirklich von allen öffentlichen Gesundheitswerken nur mehr die Verbesserung der Wasserversorgung zu schaffen übrig bliebe, so wäre erst noch die Frage erlaubt, was wichtiger sei, ob das Wasser einige Härtegrade mehr oder weniger aufweist, um ein oder zwei Grade kälter oder wärmer ist, oder ob die Umlagen um so und so viele Gulden höher oder niedriger bleiben und der von ihrer Arbeit lebenden Bevölkerung mehr oder weniger Geld für Brot und Fleisch übrig bleibt.
