



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Städtereinigung

Büsing, F. W.

Stuttgart, 1897

III. Abschn. Boden und Bodenverunreinigung

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83772](#)

III. Abschnitt.

Boden und Bodenverunreinigung.

1. Kapitel.

Reiner Boden.

§ 23. Sowohl die Art des Verlaufs von Zersetzung (Faulnis oder Verwesung) der in den Boden gelangten Verunreinigungen, als die Dauer des Vorgangs sind von einer ganzen Anzahl von Faktoren abhängig: chemische und physikalische Beschaffenheit des Bodens, Oberflächengestalt, Feuchtigkeit und Temperatur desselben. Von denselben Eigenschaften hängt auch die Fähigkeit der sogen. Selbtreinigung des Bodens ab. Teils wirken die genannten Faktoren direkt, teils üben sie indirekt Wirkungen, indem sie das Mikrobenleben des Bodens beeinflussen.

Kalkarmut des Bodens verzögert die Zersetzung, Kalkreichtum befördert dieselbe. In humusreichem Boden pflegt Zersetzung rasch zu verlaufen; im sauren Torfboden schreitet dieselbe nur sehr langsam vor und unterbleibt zuweilen ganz, wogegen Verseifung (S. 43) eintritt. In Kiesboden verwesen Kinderleichen schon in vier Jahren und noch kürzerer Zeit, Leichen Erwachsener in höchstens sieben Jahren, während in schwerem Lehmboden mindestens fünf bzw. neun Jahre notwendig sind.

Mit der chemischen Beschaffenheit des Bodens steht die Färbung desselben in Zusammenhang, die aber auch an sich von Bedeutung für Zersetzungsvorgänge ist, da mit der Färbung die leichte oder schwierige Erwärmung des Bodens zusammenhängt. Dunkelfarbiger Quarz-, Kalk- und Thonboden speichert die Wärme mehr auf als hellfarbiger Boden gleicher Art, und wird, entsprechend, bei Sonnenbestrahlung um etwa 20 % höher erwärmt, als dieser. Aber die höhere Erwärmung kann auf die zersetzende Thätigkeit von Bodenmikroben sowohl fördernd als hemmend wirken, während sie chemische Umbildungen allgemein begünstigt. Bei Sonnenbestrahlung gehen aber manche Mikrobenarten rasch zu Grunde, oder werden doch in ihrer Entwicklung gehemmt. Bei gleicher Beschaffenheit der Struktur und Färbung wird eine Bodenfläche um so höher erwärmt, je mehr senkrecht dieselbe von den Sonnenstrahlen getroffen wird, und umgekehrt. Der Boden an steilen, nach Süden gewendeten Hängen hat daher im allgemeinen erheblich höhere Temperaturen als flache Hänge oder ebene Flächen. Nach Norden gerichtete Hänge sind kalt, während westlich und östlich gerichtete mittlere Temperaturen besitzen.

Den Einfluß der chemischen Beschaffenheit des Bodens auf dessen Temperatur erweisen folgende Zahlen über die spezifische Wärme, die auf die spezifische Wärme des Wassers = 1 bezogen sind und für trockenen Zustand gelten:

Granitboden	0,380	Schwerer Thonboden	0,274
Kalkboden	0,339	Leichter Thonboden	0,254
Heideboden	0,312	Luft	0,238
Humoser Lehmboden	0,310	Quarzsand	0,196
Reiner Thon	0,293	Kalksand	0,150
Thonige Erde und Mergelboden	0,284		

Danach erfordert Granitboden zur gleich hohen Erwärmung etwa die doppelte Wärmemenge als Sandboden, und im allgemeinen beträgt die spezifische Wärme von Boden etwa 0,3 derjenigen des Wassers. Doch würde der Schluss, daß feuchter Boden etwa in dem Verhältnis $\frac{1,0}{0,3}$ leichter erwärmt wird als Wasser, unzutreffend sein, weil dabei der Einfluß der Zeit außer acht gelassen ist. Wasser leitet Wärme etwa 20mal so rasch als Luft und es kann daher feuchter Boden etwa in dem Verhältnis von $\frac{20}{3,33} = 6$, d. h. in nur etwa $\frac{1}{6}$ der Zeit auf gleich hohe Temperatur mit trockenem Boden gelangen.

In dem Wärmeaufspeicherungsvermögen und in der Verschiedenheit der Wärmeleitung ist die Erscheinung begründet, daß von den Sonnenstrahlen getroffene Gegenstände, wie z. B. die Oberflächenschicht des Bodens, höhere Temperaturen annehmen können, als die Sonnenstrahlen selbst besitzen, daß aber die höhere Wärme nur wenige Centimeter tief in die Schicht eindringt. Dunkel gefärbter trockener Sandboden kann unter der Sonnenbestrahlung über 50° hinaus erwärmt werden. Entsprechend kann sich bei ihm auch eine stärkere Abkühlung durch Wärmeausstrahlung zeigen; doch hängt diese auch von der Wärmeleitung ab. Feuchter Boden wird wegen der größeren Leistungsfähigkeit rascher und stärker abkühlen als trockener.

Die durch den Wechsel in der Temperatur eines Tages erzeugten Wechsel in der Bodentemperatur pflanzen sich nur bis zu geringer Tiefe fort. Die so hervorgebrachten Wärmeschwankungen des Bodens werden schon in der Tiefe von 0,5 bis 1,0 m unmerkbar, wogegen die sogen. Monats- und die Jahresschwankungen sich in größerer Tiefe, wenn auch stark abgeschwächt, zeigen. Je nach der Bodenbeschaffenheit herrscht in Bodentiefen von 16—33 m vollkommene Beständigkeit der Temperatur.

§ 24. Indem Erwärmung und Entwärmung des Bodens besonders von der Bodenfeuchtigkeit und dem Luftgehalt abhängen, und diese in der Hauptsache eine Funktion der Bodenstruktur ist, kommt letzterer dabei eine Hauptrolle zu.

Einen annähernd richtigen Maßstab für die Bodenstruktur gewährt das Porenvolumen. Beim sogen. natürlichen, durch Verwitterung gebildeten Boden beträgt das Porenvolumen etwa 30 %. Genauere, von Flügge, Schwarz, Renk und Anderen ermittelte Zahlen sind folgende:

		Porenvolumen in Prozenten
Kies		38,3—40,1
Korn < 7 mm		36,7
< 4 ,		36,0
< 2 ,		36,0
Sand		35,6—40,8
Grobsand, Korn 1—2 mm		39,4
Gemenge aus gleichen Teilen Kies und Sand		23,1—28,8
Lehm		36,2—42,5
Thon mit Anteilen von organischen Stoffen		52,7
Humusarmer, sandig-lehmiger Boden		55,3
Humoser kalkiger Lehm-Sandboden		56,8

Es ist aus diesen Zahlen zu schließen, daß für das Porenvolumen die Korngröße bestimmd ist, noch mehr als diese jedoch die Mischung der verschiedenen Korngrößen. Boden aus Körnern von gleicher Größe hat, wenn das Korn „fein“ ist, das höchste Porenvolume; während Boden, in welchem möglichst alle Korngrößen in Mischung enthalten sind, das kleinste Porenvolume besitzt.

Die Durchlässigkeit des Bodens für Luft hängt hauptsächlich von Luftdruckunterschieden und von dem Porenvolume ab, wegen der von der Form der Poren abhängigen Größe des Reibungswiderstandes aber nicht nur von letzterem, sondern auch von Korngröße und Kornform; daß auch noch andre Umstände dabei mitwirken, ist aus dem, was vorangeschickt, leicht erkennbar. Ein allgemein gültiges Gesetz für die Luftpurchlässigkeit von Boden wird daher kaum aufstellbar sein; wenigstens nicht ein solches, das für Schichten von einiger Dicke Geltung beanspruchen kann; mit der Schichtdicke wird die Luftpurchlässigkeit abnehmen. Bezeichnet M die Menge der in der Zeiteinheit durchgegangenen Luftpumpe, h die wirksame Druckhöhe, d die Schichtdicke, p das Porenvolume und sind m und n Koeffizienten, in welchen die mitwirkenden Nebeneigenschaften zum Ausdruck kommen, so kann das Gesetz für den Luftpurchgang in folgender Form gegeben werden:

$$M = \frac{m p \sqrt{h}}{nd}.$$

Ueber die Koeffizienten m und n ist nichts weiteres bekannt, als daß sie etwa den Bedingungen entsprechen werden:

$$m \leq 1 \quad n < 1.$$

Wahrscheinlich werden m und n mit p und h , bzw. mit d wieder veränderlich sein.

Renk*) und Fleck haben aus Beobachtungen folgende Luftpurchangsmengen ermittelt, welche für die Bestimmung von m und n einigen näheren Anhalt gewähren können:

1. Beobachtungen von Renk:

Bodenart	Poren-volume %	Druck in Wassersäulenhöhe mm	In 1 Minute durch Schichten gleicher Dicke gegangene Luftmenge l	Genauere Definition der Bodenart
1. Feinsand	55,5	20	0,00233 = 1	Korngröße < 0,3 mm
2. Mittelsand	55,5	20	0,112 = 48	* 0,3—1,0 „
3. Grobsand	37,9	20	1,280 = 549	* 1,0—2,0 „
4. Feinkies	37,9	20	6,910 = 2966	* 2,0—4,0 „
5. Mittelkies	37,9	20	15,540 = 6670	* 4,0—7,0 „

2. Fleck fand bei lufttrockenem Boden:

- a) bei Mischungen von Kies und Sand, daß, wenn das Porenvolume von 49,7 % auf 41,3 % abnahm, sich die durchgegangene Luftmenge von 100 % auf 36,88 % verminderte, und
- b) bei Mischungen aus Sand und Thon, daß die Verminderung des Porenvolume von 56,4 % auf 54,8 %, die durchgegangene Luftmenge eine Verminderung von 100 % auf 35,6 % erlitt.

*) Prausnitz, Grundzüge der Hygiene. München 1892.

Die in den Versuchen Renks gefundenen Unterschiede sind sehr auffällige.

Uebrigens lassen beide Zahlenreihen keine Verallgemeinerung auf sogen. „gewachsenen“ Boden zu, weil bei diesem die Lagerungsverhältnisse der Bodenkörner völlig andre als bei künstlich hergestellten Bodenproben sind.

Je mehr leimende (Kolloid-)Substanzen und je mehr Feuchtigkeit im Boden vorhanden ist, um so geringer ist seine Luftdurchlässigkeit und umgekehrt. Feuchtigkeit kann aber im Boden in mehreren Formen vorhanden sein. In der Form von Eis kann es bei vorher nicht ganzer Ausfüllung der Poren letztere vollständig verschließen und den Luftdurchgang aufheben.

§ 25. Die durch Adhäsion an der Oberfläche der Körner festgehaltene Wassermenge drückt die sogen. „wasserbindende Kraft“ des Bodens aus, welche für verschiedene Bodenarten ungleich ist, und teils von der Form der Körner, teils von dem Oberflächenzustande, teils von der chemischen Beschaffenheit des Bodens abhängt.

Als Kapillarwasser wird Wasser bezeichnet, welches durch Wirkung der sogen. Haarröhrchen (kleiner unregelmäßiger Gänge zwischen den Bodenkörnern) aus der Tiefe angesaugt und festgehalten wird. Die Größe der Kapillarkraft gelangt sowohl durch die Höhe, zu der das Wasser gehoben, als durch die Menge, in der es festgehalten wird, zum Ausdruck. Letztere — gewissermaßen die Schichtdicke — hat aber, gleichwie die Höhe, ihr Maximum. In dem Augenblick, wo das Mengenmaximum überschritten wird, sinkt das Kapillarwasser wieder in die Tiefe, nur so viel zurücklassend, als an den Körnern vermöge Adhäsionswirkung festgehalten werden kann. Je größer die Bodenporen, um so geringer das Kapillarvermögen des betreffenden Bodens und umgekehrt. Im Boden aus feinstem Sand mit 0,1 mm Korngröße kann Wasser durch Kapillarwirkung bis etwa 1 m hoch gehoben werden; bei 0,5—1,0 mm Korngröße ermäßigt sich diese Höhe vielleicht bis auf 0,1 m; in Lehm- und Moorböden werden besonders große Höhen erreicht.

Speisung des Bodens mit Feuchtigkeit findet von unten aus durch Kapillarwirkung, von oben aus durch Kondensation und Einsickerung statt. Es wird der in den Boden eindringenden atmosphärischen Luft, wenn die Temperatur im Boden niedriger als über Bodenoberfläche ist, so lange Feuchtigkeit entzogen und im Boden niedergeschlagen, bis das der Bodentemperatur entsprechende Sättigungsmaximum erreicht ist; damit der Vorgang stattfinden kann, soll jedoch niedrige Temperatur unter Bodenoberfläche keine unerlässliche Bedingung sein.

Wie der Boden aus der Grundluft Feuchtigkeit aufnimmt, so gibt er dieselbe unter umgekehrten Verhältnissen auch wieder ab, d. h. er trocknet aus. Je luftreicher der Boden, je rascher die Austrocknung, und umgekehrt. Doch wirken dabei auch chemische Faktoren mit; es scheint aber zu diesem Punkte bisher noch wenig Genaueres festgestellt zu sein. Man beobachtet, daß die sogen. kompakten Bodenarten, wie Lehm, Humus u. s. w. Feuchtigkeit viel schwerer abgeben, als lockerer Boden.

Die große gesundheitliche Bedeutung, welche Kapillar- und Kondensationswirkung, sowie Austrocknung des Bodens besitzen, bedarf der besonderen Hervorhebung kaum.

Sehr verwickelte Erscheinungen zeigt das Verhalten des in den Boden eindringenden Tagwassers, des sogen. „Sickerwassers“, das einen gewissen Anteil der Niederschlagsmenge bildet, da ein Teil der letzteren verdunstet, ein anderer Teil abfließt. Wie groß diese beiden Teile sind, hängt von Besonderheiten des Ortes (Sättigungsdefizit der Luft, Luftbewegung, Oberflächengestalt und -beschaffenheit) ab. Die Verdunstung ist aber mit dem Eintritt des Tagwassers in den Boden nicht zu Ende, sondern wird alsdann in der Regel größer sein, als wenn die Verdunstung

aus der geschlossenen Masse an der Oberfläche stattfindet, weil im Boden die Beührungsfläche mit der Luft gewöhnlich die größere sein wird. Diejenige Wassermenge, welche die Poren vollständig ausfüllt, also inhaltgleich dem Porenvolumen ist, nennt man die Wasserkapazität des Bodens.

§ 26. Was die Verdunstungsgröße an der Bodenoberfläche betrifft, so haben Beobachtungen an den bayerischen forstlichen Versuchsstationen *) folgendes ergeben:

1. Von nackten Bodenflächen und Flächen mit toter Bedeckung verdunstet weniger, von Flächen mit lebender Bedeckung (Pflanzenwuchs) mehr Wasser als von Wasserflächen.
2. Je dichter die Bodenstruktur, je größer ist die Verdunstung. Von lockeren Oberflächen verdunstet daher weniger Wasser als von dichten.
3. Dunkle Färbung des Bodens vermehrt die Verdunstung so lange, bis eine gewisse Wassermenge abgegeben ist.
4. Bei wellenförmiger Gestalt der Oberfläche wird mehr Wasser verdunstet als bei ebener.
5. An südlich gerichteten Abhängen ist die Verdunstung am größten; als dann folgen in der Reihe Ost-, West-, Nordabhänge.
6. Einer Neigung des Hanges von 20—30° entspricht die größte Verdunstung am Südabhang; dagegen findet an Nordabhängen das Umgekehrte statt.
7. Die Verdunstung ist um so geringer, je höher das Grundwasser liegt; doch spricht das Kapillarwasser des Bodens dabei mit; und zwar verdunstet letzteres am stärksten. Da aber die kapillare Hebung beschränkt ist, folgt, daß mit der größeren Höhenlage des Grundwassers auch die Verdunstung des Kapillarwassers geringer wird.

Die Verdunstungshöhen von geschlossenen Wasserflächen, auf welche im Vorstehenden häufig Bezug genommen ist, sind unerwartet hohe. Beobachtungen französischer Experimentatoren haben, auf das Jahr berechnet, Verdunstungshöhen ergeben, die zwischen 557 mm und 1231 mm liegen. Die Mittelzahlen bewegen sich etwa um 600 mm. 14jährige Beobachtungen in Augsburg **) lieferten folgende Verdunstungsgrößen an von der Sonne getroffenen Wasserflächen:

		772 mm	
Januar . . .	15 mm	Juli	221 "
Februar . . .	65 "	August	223 "
März	113 "	September	198 "
April	174 "	Oktober	115 "
Mai	200 "	November	76 "
Juni	205 "	Dezember	21 "
	<hr/> 772 mm	zusammen 1626 mm	

Diese Zahlen lassen mit besonderer Deutlichkeit den Einfluß, den die Jahreszeit übt, erkennen.

§ 27. Die Einsickerungsmenge richtet sich teils nach der Bodenstruktur, teils nach der Intensität, mit welcher der Regen fällt.

Bei grober Struktur findet das Wasser rasch und in relativ großen Mengen Zutritt zu den unteren Schichten, bzw. unmittelbar zum Grundwasser, und wird die obere Bodenschicht rasch wieder leer. Ein zeitweiliges Hindernis in dem Sinken kann sich aber ergeben, wenn der Regen mit besonderer Heftigkeit fällt, indem alsdann eine vollständige Ausfüllung der Poren stattfinden kann, welche das Entweichen der

*) Handbuch d. Ingen.-Wissensch. Bd. 3. 1. Abt., 1. Hälfte.

**) Becker, Die Wasserversorgung von Königsberg i. Pr. Königsberg.

Grundluft nach oben verhindert. Diese wird abwärts gedrückt und erleidet dabei vorübergehend vielleicht eine Kompression, welche selbst einer beträchtlichen Wassersäule das Gleichgewicht zu halten vermag.

Abweichend ist der Vorgang bei feiner Bodenstruktur, da hier Kapillarhebung, Adhäsion, Reibung, einen beträchtlichen Teil des Drucks der einzelnen fein verteilten Wassersäule aufheben. Die obere Bodenschicht füllt sich langsam, und der Widerstand, den die Bewegung der einzelnen Wassersäulen findet, wird unter der Gegenwirkung der genannten Faktoren mit der Tiefe immer größer. Schließlich, wenn nach Durchsickerung einer gewissen Tiefe die lebendige Kraft des einsickernden Wassers durch die Widerstände aufgezehrt ist, tritt Stillstand ein und das Wasser bleibt in feiner Verteilung hängen, so lange, bis durch Nachsickern einer andern Säule wiederum neues Arbeitsvermögen gewonnen wird, oder auch durch Erschütterungen des Bodens sich etwa eine Ursache zur weiteren Abwärtsbewegung ergibt. Der Zeitraum, bis das von einem bestimmten Regenfall herrührende Sickerwasser das — in größerer Tiefe liegend gedachte — Grundwasser erreicht, kann zu mehreren Jahren anwachsen.

Indem das beschriebene Spiel immer wieder von neuem eintritt, ergibt sich, daß die Speisung des Grundwassers von oben aus in Absätzen, nicht kontinuierlich, stattfindet, das Steigen desselben also „ruckweise“ erfolgt und zu Zeitpunkten, welche beträchtlich später als diejenigen Zeitpunkte fallen, zu welchen die Niederschläge erfolgten. Hierbei ist freilich vorausgesetzt, daß es sich um Gebiete mit stehendem Grundwasser handelt, welches keine Zuflüsse von außerhalb empfängt. Wo diese stattfinden, also bei allen fließenden Grundwässern — unter Umständen auch bei stehenden — vollzieht sich der Vorgang anders als beschrieben ist.

§ 28. Auf sonstige Besonderheiten des Grundwassers hier einzugehen, liegt keine Veranlassung vor; doch sind noch die allgemeinen Beziehungen desselben zur Bodenfeuchtigkeit kurz zu berühren. Ein Schluß vom Höhenstande des Grundwassers auf die Feuchtigkeit der oberen Bodenschichten, dergestalt: daß hohe Lage des Grundwassers große, dagegen tiefe Lage geringe Feuchtigkeit der oberhalb befindlichen Bodenschicht bedinge, ist nicht allgemein, sondern nur unter gewissen Voraussetzungen zutreffend. Der Schluß gilt für grobkörnigen Boden, und er gilt ferner für diejenige Hohenschicht über dem Grundwasser, welche von diesem aus mit Kapillarwasser erfüllt wird. Der Schluß ist jedoch unrichtig, wenn das Grundwasser von fernher Zuflüsse empfängt, durch die sein Stand bestimmt wird, oder wenn gewöhnlich „stehendes“ Grundwasser nach Erreichung eines gewissen Höhenstandes Veränderungen seines Höhenstandes durch Abfluß erleidet, fließend wird.

Demnach kann für die hier vorliegenden Zwecke der Sammlung und der Mitteilung von Grundwasserstandsbeobachtungen nur dann Bedeutung beigelegt werden, wenn die äußeren Umstände, aus denen Veränderungen hervorgehen, genau bekannt sind. Bei feinporigem Boden, in welchem das Grundwasser nur durch Einsickerung von oben Zufluß empfängt, ist Fallen oder zeitweilige unveränderte Lage des Grundwasserspiegels ein Beweis, daß von oben kein Zufluß erfolgt, und, entsprechend, daß in den oberen Schicht vorher eine mehr oder weniger lange Zeit hindurch Trockenheit bestanden hat. Doch kann der Trockenheitszustand hier längst wieder aufgehört haben und der Boden recht feucht sein zur Zeit, wo sich beim Grundwasser Fallen oder Stillstand zeigt. Diese Feuchtigkeit kann von minderen Regenfällen herrühren, die nicht so viel Sickerwasser liefern, daß die Poren vollständig gefüllt werden; es können aber auch Temperaturunterschiede, unten und oben, welche beträchtliche Kondensationen von Luftfeuchtigkeit mit sich bringen, dabei beteiligt sein.

Der Feuchtigkeitszustand der oberen Bodenschichten ist daher im allgemeinen aus Grundwasserstandsbeobachtungen nicht zu bestimmen, sondern mit Sicherheit nur aus direkten Ermittelungen. Dies gilt insbesondere für den Straßengrund in Städten, der von oben wenig Feuchtigkeit zugeführt erhält, dessen Grundwasserstand daher im allgemeinen große Beständigkeit besitzt und dessen Ergänzung zumeist auch durch von fernher — nach Gärtner'scher Bezeichnung, „von der Seite aus“ — zugeführtes Wasser geschieht*).

Die vorstehenden Thatsachen fordern zu besonderer Beachtung heraus, wenn es sich um die Ermittelung von Beziehungen zwischen Grundwasserstand und Bodenfeuchtigkeit zu gewissen Infektionskrankheiten handelt. Es kommt dabei aber auch wesentlich dasjenige in Betracht, was weiter oben über das zeitliche Verhältnis zwischen Niederschlägen und Grundwasserspeisung durch Sickerwasser dargelegt worden ist.

§ 29. Nachstehend werden einige Beobachtungsergebnisse über Sickerwassermengen mitgeteilt, die durch den aus Bodendrainagen erfolgten Abfluß ermittelt sind**). Aus den Zahlen ist der besondere Einfluß erkennbar, den sowohl das Sättigungsdefizit — d. h. die Jahreszeit — ausübt, als auch derjenige, welcher an die Oberflächenbeschaffenheit des Bodens — ob nackt oder mit Pflanzenbedeckung — anknüpft. Diejenigen Angaben, denen die Ziffer 1 vorangestellt ist, beziehen sich auf „nackten“ Boden, die mit der Ziffer 2 versehenen auf „bedeckten“ Boden. Die Angaben sind in Prozenten der gefallenen Regenhöhe zu verstehen.

Bodenart		Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Sand	2	80,8	72,3	85,9	94,7	83,2
Sand	2	—	—	—	—	43,0
Sand	2	—	—	—	—	67,2
Sandiger Lehm . .	{ 1	30,3	1,7	54,1	83,9	42,3
	{ 2	49,7	42,4	27,9	37,7	40,5
Lehmiger Sand . .	{ 1	—	—	—	—	26,6
	{ 2	—	—	—	—	64,2
Lehm	{ 1	89,7	36,0	32,9	92,0	58,7
	{ 2	43,3	41,0	24,4	32,0	32,8
Lehm	{ 2	52,4	45,6	28,6	29,9	41,0
	{ 2	—	—	—	—	26,5
Thon	{ 1	59,0	21,3	20,9	84,4	40,8
	{ 2	36,1	29,3	26,5	19,0	28,1
Strenger Lehm u. Thon	2	30,1	22,0	46,2	70,9	43,4
Humusreiche Gartenerde	{ 1	6,7	2,1	0,6	4,7	3,1
	{ 2	6,9	4,6	2,8	7,1	5,2
Dolomitischer Boden	1	24,9	7,7	22,8	30,3	19,6
Torfkörper	2	64,0	11,0	49,0	99,0	53,0
Durchschnittszahlen . . .		44,15	25,92	32,51	54,28	39,33

Einige der Zahlenreihen bestätigen durchaus die Seite 60 mitgeteilten Versuchsergebnisse der bayerischen forstlichen Versuchsanstalten über den Einfluß,

*) Gärtner, Leitfaden der Hygiene. Berlin 1896.

**) Handbuch der Ingen.-Wissensch. Bd. 3, 1. Abt., 1. Hälfte, auch Lueger, Wasserversorgung der Städte. Darmstadt.

den die Bodenbedeckung übt; andre stehen damit in Widerspruch, was sich wohl aus der unendlichen Mannigfaltigkeit der Bodenbeschaffenheiten genügend erklärt.

Der Jahresdurchschnitt liegt — ganz natürlich — etwas höher, als das bekannte Drittel, welches für größere Gebiete, freilich ohne ausreichende Begründung, angenommen zu werden pflegt.

Setzt man die Summe aus den vier Jahreszeiten = 100, so entfallen von der Jahresmenge der Wasserversickerung auf den

Frühling 28,15%, Sommer 16,52%, Herbst 20,73%, Winter 34,60%.

In der kältesten Jahreszeit ist die Menge des Sickerwassers am größten, in der wärmsten am geringsten. Dagegen verhalten sich die Niederschlagsmengen in Mitteleuropa, wenn man die Gebirgslagen ausnimmt, umgekehrt. Es kommt daher in den obigen Verhältniszahlen die oben erörterte, beim Einsickern des Wassers in den Boden stattfindende Verzögerung zum prägnanten Ausdruck. Der Beweis gewinnt durch die Thatsache an Sicherheit, daß im Winter der Bodenfrost für eine mehr oder weniger lange Reihe von Tagen die Einsickerung ganz unterbricht. Anderseits ist aber zu beachten, daß in der wärmeren Jahreszeit durch die Vegetation beträchtliche Wassermengen, sei es zum Aufbau der Pflanzen, sei es durch die Verdunstung von der Oberfläche der Blätter, Halme u. s. w., aufgezehrt werden.

§ 30. Den größten Wasserverbrauch haben Gras und andre Futterkräuter, doch nur etwas geringeren die sogen. Halmfrüchte. Nach Risler ist der Verbrauch an Wasser pro Tag:

Für Wiesen und Kleefelder	3,4—7,0 mm	= 5,2 mm im Mittel
„ Hafer	3,0—5,0 „	= 4,0 „ „ „
„ andre Halmfrüchte	2,8—4,0 „	= 3,4 „ „ „
„ Wald	0,5—1,1 „	= 0,8 „ „ „

Der Verbrauch ist aber, je nach der Verschiedenheit der Vegetationsperiode, sehr wechselnd; am größten wird der Wechsel bei den Halmfrüchten sein. Bei Wiesen hört der Verbrauch auch im Winter nicht auf, und es liegt bei diesen auch die längste Sommerwachstumsperiode vor. Rechnet man dem entsprechend bei Wiesen auf eine 200tägige Wachstumsperiode, so würde der für das Jahr durch den Pflanzenwuchs sich ergebende Wasserverbrauch eine $200 \cdot 5,2 = 1,040$ m hohe Wasserschicht sein.

Aehnliche, und wohl besser beweisende Zahlen erhält man, wenn der Wasserverbrauch auf das Ernteergebnis bezogen wird. Nach Versuchen von Lawes und Gilbert wurden erforderlich zu einer Ernte von je 1 kg:

bei den Halmfrüchten Weizen und Gerste . . .	269 bzw. 286 kg, im Mittel 277 kg
„ Klee	314 „

Nun ergeben sich auf Rieselfeldern Grasernten von 50 000—60 000 kg in einem Jahr und pro 1 ha, welche, wenn man Uebereinstimmung des Wasserbedarfs etwa mit Klee annehmen darf, einen Wasserbedarf von rund

$$300 \times 50\,000 \text{ kg} = 15\,000 \text{ cbm},$$

d. h. pro 1 qm Bodenfläche 1,5 cbm, die einer Schichthöhe von 1,5 m gleichkommt, erfordern würden.

Dies sind Zahlen, die nach v. Wolff kaum zu hoch erscheinen, da nach diesem Autor der Wasserverbrauch auf einem Getreidefeld von 1 ha Größe in vier- bis fünfmonatlicher Dauer vielleicht 4000 cbm betragen kann; dies entspricht einer Wasserschichthöhe von 0,4 m.

Zahlen wie die hier mitgeteilten beweisen eben nur im allgemeinen, daß durch Pflanzenwuchs dem Boden sehr bedeutende Wassermengen entzogen werden, derselbe also in hohem Maße trocknend auf den Boden, sogar absenkend und

regelnd auf den Stand des Grundwassers im Boden wirkt. Aber diese günstige Wirkung unterliegt in zeitlicher Hinsicht großen Wechseln und weist auch sonst große Unbestimmtheiten auf. Wollny*) fügt seiner Ansicht: „daß die verdunsteten Wassermengen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen den durch die Niederschläge ihnen zugeführten sehr nahe stehen“, entsprechend, die Bemerkung hinzu: „daß nach den Ergebnissen der sämtlichen Versuche nicht zu leugnen sei, daß die Wasserentnahme der Pflanzen für Ernährung und Transpiration unter sonst gleichen Verhältnissen in erheblicher Weise von der Dictheit des Pflanzestandes und dem Grade der Entwicklung der Organe abhängig sei. Berücksichtige man außerdem die übrigen Momente (Licht, Wärme, Bodentemperatur, Luftströmungen, Feuchtigkeitsgehalt der Luft und des Bodens, Verteilung und Größe der Niederschläge, Entwickelungsstadium u. dergl.), welche den Wasserhaushalt der Pflanzen zu verschiedenen Zeiten beherrschen, so könne von dem Bestreben, das absolute Wasserbedürfnis der Kulturgewächse ausfindig zu machen, Ueber-einstimmung selbst innerhalb weit gesteckter Grenzen nicht erwartet werden.“

§ 31. Ueber die wasserbindende Kraft des Bodens (S. 59) scheinen bisher nur wenige Feststellungen vorzuliegen. Dieselbe wird angegeben:

für Sand . . . zu 25 Gewichtsprozenten des Bodens.
Thon 70
Humus 180
Torf 800

Wegen der bloß allgemeinen Definition der Bodenart sind diese Zahlen nur als Relativzahlen verwendbar. Sie erweisen nur den Zusammenhang der wasserbindenden Kraft mit der Größe des Porenvolumens.

Im Anschluß hieran seien auch einige Zahlen über die Wasserkapazität verschiedener Bodenarten und Gesteine (S. 60) mitgeteilt.

Sandstein, nach dem Ursprung wechselnd,	von 6—400 l pro 1 cbm
Dolomit,	15—221 l
Kalkstein,	15—322 l
Kreide,	144—440 l
Mittelkies, < 7 mm Korn	367 l
Feinkies, < 4 "	360 l
Grobsand, < 2 "	360 l
Mittelsand, < 1 "	396 l
Feinsand, < 0,25—0,33 mm Korn	420 l
Stark thoniger Boden	464 l
Flammenmergel	475 l
Liasmergel	475 l
Humusarmer Boden mit hohem Anteil von Thon	481 l
Desgl. sehr feinkörniger, lehmig-sandiger Boden	553 l
Dunkelfarbiger, humoser, kalkiger Lehm-Sandboden	568 l

Um eine allgemeine Schlüssefolgerung aus alledem zu ziehen, was im vorstehenden über Boden mitgeteilt ist, kann gesagt werden, daß sowohl in direkter gesundheitlicher Beziehung als mit Rücksicht auf die Benutzung zur Wasserreinigung der stark poröse, tiefe, quarzreiche Sandboden vor den kompakteren Bodenarten, wie Lehm u. s. w., große Vorzüge besitzt, und daß die Vorzüge porösen Bodens um so mehr schwinden, je mehr die Porosität abnimmt.

*) Wollny, Untersuchungen über die Wasserverbrauchsmengen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen u. s. w. Forschungen aus dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. 4 (1881).

2. Kapitel.

Bodenverunreinigung.

§ 32. Gesundheitsschädigungen, welche von verunreinigtem Boden drohen, können sich in verschiedener Weise zeigen:

- a) Einige Infektionskrankheiten können vom Boden ihren Ausgang unmittelbar nehmen.
- b) Aus verunreinigtem Boden können Infektionserreger in offene Gewässer sowohl als in das Grundwasser geführt werden und so mittelbar Infektionen erzeugen.
- c) Aus anderweitens, dem Boden mitgeteilten Verunreinigungen können Stoffe der anorganischen Natur in offene und unterirdische Gewässer gelangen, welche den Genuss oder den anderweitigen Gebrauch des Wassers gesundheitsschädlich machen, oder auch seine Gebrauchsfähigkeit für sonstige Zwecke aufheben.
- d) In verunreinigtem Boden entstehen spezifische Gifte, welche den Weg zum Menschen unmittelbar oder mittelbar finden können.
- e) Bodenverunreinigung ist der allgemeinen Reinlichkeitspflege abträglich.

Zu a. Es sind einige Infektionserreger bekannt, deren mehr oder weniger beständiger Sitz der verunreinigte Boden ist; dies sind zunächst die Protozoen der Malaria. Die Protozoen rechnen einer Gattung von Kleinwesen zu, welche eine höhere Organisation als die eigentlichen Bakterien (ein zellige Gebilde) besitzt, die aber noch nicht genau umschrieben zu sein scheint. Zwar sind die Malaria-Protozoen bisher im Boden nicht aufgefunden worden; doch liegen Beweise in ausreichender Zahl vor, nach denen sie vom Boden ihren Ausgang nehmen müssen.

Der Bazillus des Wundstarrkrampfes (*Bac. tetani*) kommt in der oberen Schicht insbesondere von Gartenboden vor; ob er hier aber vermehrungsfähig ist, scheint noch nicht sicher festgestellt zu sein.

Gleichfalls in gedüngtem Boden hat der Bazillus der Wassergeschwulst (*Bac. Oedematis*) seinen Sitz.

Wenn gewisse Lebensbedingungen, die sich insbesondere auf Temperatur und Feuchtigkeit beziehen, im Boden erfüllt sind, können in demselben sich auch die Bazillen der Cholera und des Typhus eine Zeit lang halten und sich vielleicht dort auch vermehren.

Uebrigens ist das Vorkommen der vier hier genannten Bakterienarten auf die oberste Bodenschicht, eine nur dünne Lage an der Oberfläche, beschränkt, da schon in geringer Tiefe unter der Bodenoberfläche ihre Daseinsbedingungen nicht mehr erfüllt sind.

Vom Boden ausgehend können der Milzbrandbazillus und der Eingeweide-wurm (*Anchylostoma duodenale*) Infektionen bewirken.

Zu b genügt der Hinweis, daß die nahe an der Bodenoberfläche befindlichen Mikroben aller Art sowohl mit Staub, als durch den Abfluß des Oberflächenwassers in offene Rezipienten geführt werden, außerdem auch durch Gänge von Ungeziefer, Erdbrüche und Spalten zuweilen Gelegenheit finden können, in offenes Wasser zu gelangen, welches als Trinkwasser dient, oder zu andern Gebrauchszecken benutzt wird.

Zu c. In den Abfallstoffen des Hauses ist eine Reihe von Stoffen enthalten, welche, vermittelst des Bodens in Trink- und Brauchwasser gelangend, die Beschaffenheit desselben mehr oder weniger schädigen. Es gehören dahin Kalium-, Natrium-, Schwefel-, Chlor- und Kohlenstoffverbindungen, welche zwar, in geringen Mengen

zugeführt, das Wasser nicht nachteilig verändern, in größeren Mengen dagegen als schädlich gelten. Auch kann durch Zuführung einiger dieser Stoffe die Härte des Wassers vermehrt werden; in diesem Sinne können z. B. Schwefel- und Kohlenstoffverbindungen wirken, wenn zur Härtebildung geeignete Stoffe im Boden oder im Wasser vorhanden sind. Kohlensäure kann das Wasser eisenhaltig machen. Uebrigens ist die Thatsache anzumerken, daß Kochsalz und schwefelsaure Salze vom Boden mit einer gewissen Energie zurückgehalten werden, also jedenfalls erst nach längerer Zeit ins Grundwasser gelangen. Wenn daher solche Stoffe zu Zeiten in größeren Mengen in Grund- und Brunnenwassern angetroffen werden, so ist zu schließen, daß der Zeitpunkt, zu dem die Stoffe in den Boden gelangten, d. h. die Verunreinigung desselben stattfand, weit zurückliegt.

Zu den Punkten d und e kann im allgemeinen auf dasjenige verwiesen werden, was über Giftbildungen in Abfallstoffen, ihre Verbreitung und Gefährlichkeit auf S. 51 und dasjenige, was über Beeinträchtigung der allgemeinen Reinlichkeit auf S. 53 mitgeteilt ist. Doch bleiben über die besondere Rolle, welche der Kohlensäure des Bodens zukommt, einige Bemerkungen nachzutragen.

§ 33. Der CO_2 -Gehalt des Bodens wird häufig als Maßstab für die Größe der Zersetzungsvorgänge, welche in demselben vor sich gehen, angesehen, doch nicht ganz mit Recht. Denn es wird zwar im allgemeinen die Menge der CO_2 mit der Tätigkeit der Fäulnisbakterien bei der Zersetzung von Faulstoffen wachsen und abnehmen. Es ist jedoch zu beachten, daß die an einer gewissen Stelle erzeugte Menge von CO_2 nicht an dieser Stelle bleibt, sondern durch die Bewegung der Bodenluft mit dieser sowohl in größere Tiefen hinabgeführt, als auch in wagcrechtem Sinne zu andern Stellen verbreitet werden kann. Ebenfalls wird durch Einsickern von Wasser CO_2 zu größeren Tiefen hinabgerissen. Demnach sehen wir regelmäßig, daß der CO_2 -Gehalt der Grundluft mit der Tiefe in starkem Verhältnis zunimmt und übrigens in der Grundluft nahe der Oberfläche in weiten Grenzen wechseln kann; selbst an sehr nahe zusammenliegenden Stellen werden große Verschiedenheiten in dem CO_2 -Gehalt angetroffen. Zum Teil wirken dabei auch chemische Umbildungen, die im Boden stattfinden, mit, und zwar können dieselben sowohl Vermehrung als Verminderung der CO_2 zur Folge haben.

Hierzu ein Beispiel, welches von Smolensky in der Zeitschr. für Biologie Bd. IX mitgeteilt ist. Es wurden in den drei Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von nur 4 m Seitenlänge, und an einem 60 m davon entfernten Punkte in gleichen Tiefen folgende CO_2 -Mengen in der Grundluft angetroffen (Liter auf 1000):

	1.	2.	3.	4. Punkt
I. Versuchsreihe	41,63	62,98	39,28	70,42
II. Versuchsreihe	54,07	62,16	49,48	77,73

Dem Wechsel des CO_2 -Gehalts der Grundluft entsprechen große Verschiedenheiten in der Zusammensetzung derselben. Während die Grundluft nahe unter der Oberfläche die Bestandteile der atmosphärischen Luft in gleichem Verhältnis wie diese aufweist, nimmt mit der Tiefe der Sauerstoffanteil immer mehr ab, und der Kohlensäuregehalt zu. Wenn auch dieser Ursache keine andern hinzuträten, würde die Erscheinung erklärt sein, daß die Luft in tief eintauchenden Kellerräumen einen höheren Gehalt an CO_2 aufweist, als die der über Tage liegenden Räume. In größerer Tiefe des Bodens kann der Sauerstoffgehalt der Grundluft bis auf Null herabgehen. Daraus finden Erstickungsfälle ihre Erklärung, welche bei in tiefe Brunnen hinabsteigenden Arbeitern mehrfach vorgekommen sind. In größeren Bodentiefen kann der CO_2 -Gehalt der Grundluft auf 50 % und noch darüber steigen. In der Grundluft von Ackerböden werden (nach Gärtner, a. a. O.) bis zu 15 %, in

solcher sterilen Wüstenbodens bis etwa 0,09 % Kohlensäure angetroffen. Von derartigen Veränderungen in der Zusammensetzung der Grundluft wird auch das Grundwasser beeinflußt; in dem im Grundwasser enthaltenen Gasgemenge wird ebenfalls ein geringerer Anteil von Sauerstoff als in der atmosphärischen Luft angetroffen.

§ 34. Eine Schädigung der Bodenbeschaffenheit durch Schmutzstoffe, die nach mehreren Richtungen hin ungünstige Folgen äußert, liegt schon darin, daß als Wirkung der leimenden Substanzen, welche in Abfallstoffen enthalten sind, die Poren der oberen Bodenschicht verstopft werden. Diese Schicht wird dadurch für den Durchgang von Luft und Wasser unzugänglicher, für die Aufnahme von Wärme dagegen empfänglicher. Durch alle drei Änderungen wird Entstehung und Verlauf von Fäulnis im Boden begünstigt.

Indem mit der Menge der Abfallstoffe, die dem Boden zugeführt werden, die Menge der Bakterien zunimmt und fällt, könnte die in einer Bodenprobe angetroffene Zahl der Bakterien einen Maßstab für die stattgefundene Verunreinigung abgeben. Dieser Maßstab ist jedoch zu ungenau. Es finden sich in jedem Boden — wenigstens in jedem Boden, der Kulturen trägt — Bakterien, und es ist die Existenzmöglichkeit der Bakterien, sowie ihre Vermehrung, außer von der Gegenwart von organischen Stoffen an die Erfüllung verschiedener Bedingungen, besonders physikalischer Natur (Licht, Wärme, Feuchtigkeit u. s. w.) geknüpft. Deshalb können, selbst bei voller Uebereinstimmung in dem Verunreinigungszustande zweier, an verschiedenen Stellen entnommenen Bodenproben sich große Ungleichheiten in dem Bakteriengehalt derselben ergeben.

§ 35. Ein ziemlich klares Bild von dem Verunreinigungszustande einer Bodenprobe liefert dagegen der chemische Befund.

Um Bodenproben verschiedener Herkunft auf ihre Verunreinigung sicher beurteilen zu können, müssen dieselben, übereinstimmend, entweder unmittelbar an der Oberfläche, oder aus gleichen Tiefen unter der Oberfläche entnommen sein, da die Erfahrung lehrt, daß Abfallstoffe im allgemeinen nicht tief in den Boden eindringen und daß vermöge der Zurückhaltung, welche der Boden infolge seiner Filterkraft ausübt, die Verunreinigung mit der Tiefe abnimmt. Die Eindringungstiefe hängt teils von der Bodenstruktur, teils von der Form der Abfallstoffe ab. Was den Einfluß des erstgenannten Faktors betrifft, so beobachtet man, daß die Eindringungstiefe, wenn diejenige bei Thonboden = 1 gesetzt wird, bei:

Lehm Boden = 2, lehmigem Sand = 3, grobem, reinem Sand = 7 ist.

Da nun auch der Boden auf einige organische sowohl als anorganische Stoffe, die in Abfallstoffen vorkommen — wie z. B. Ammoniak, Kali, Magnesia, Phosphorsäure und eiweißhaltige organische Stoffe — stark bindend (zurückhaltend) wirkt, während andere Stoffe gleichen Ursprungs, wie Natron, Kalk, Chlor, salpetrige und Salpetersäure, Fette u. s. w., weniger zurückgehalten werden, so reicht die Bodenverunreinigung durch Abfallstoffe, die von oben zugeführt sind, meist nur in geringe Tiefen hinab, und werden davon in 5—6 m Tiefe gewöhnlich nur noch schwache Spuren, und zwar in Umbildungen, nur als Reste „vorhergegangener“ Verunreinigungen, angetroffen.

Die Größe der Verunreinigung wird beurteilt aus den angetroffenen Mengen a) der sogen. organischen Substanz, die ein Gemisch verschiedener Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen ist; b) des Ammoniaks, des Stickstoffs, des Chlors, der salpetrigen Säure und der Salpetersäure. Ein ungefähres Bild liefert der sogen. Glühverlust, d. h. derjenige Teil der Gesamtmenge der Fremdstoffe, welcher beim Glühen verflüchtigt wird. Das Bild ist jedoch unscharf, weil beim Glühen auch einige mineralische Stoffe flüchtig werden.

Aehnlich unbestimmt ist das Ergebnis der Untersuchung auf den Anteil an organischer Substanz, die mittels der sogen. Chamäleonprobe ausgeführt wird, indem man bestimmt, wie viel Gewichtsteilen übermangansaurem Kali (Kaliumpermanganat = $KMnO_4$) durch die in einer bestimmten Bodenmenge enthaltene organische Substanz, vermöge der Oxydation derselben, der Sauerstoff entzogen wird. Anstatt der Angabe der Menge des verbrauchten $KMnO_4$ erfolgt zuweilen auch die Angabe des in der Menge desselben enthaltenen Sauerstoffs, welche aus der Relation ermittelt wird:

$$O = \frac{KMnO_4}{3,95}, \text{ woraus umgekehrt } KMnO_4 = 3,95 \cdot O.$$

Betreffende Angaben in Analysen sind entweder auf Milligramm pro 1 l = Gramm pro 1 cbm oder auf 100 000 Gewichtsteile des untersuchten Körpers bezogen. Es besteht, wie leicht erkennbar, unter diesen Angaben das Verhältnis:

$$x \text{ Gewichtsteile pro } 100\,000 = 10 \cdot x \text{ mg pro } 1 \text{ l} = 10 \cdot x \text{ g pro } 1 \text{ cbm.}$$

Während die Angabe in Milligramm für 1 l für Wasser die fast allgemeine ist, werden Angaben für Boden gewöhnlich auf 1 kg oder auch 1 cbm, bzw. 1 ccm oder 1 g bezogen. Angaben von Bakterienzahlen und Keimen in Wasser gelten fast immer für 1 ccm.

Eine zuweilen vorkommende gesonderte Angabe der in der organischen Substanz enthaltenen organischen Stickstoff- und organischen Kohlenstoff-Menge ist wenig scharf und wird auch nur selten ausgeführt.

Angaben der Analyse über die vorgefundene Ammoniakmenge werden neuerdings zuweilen gesondert in flüchtiges Ammoniak (NH_3) und Albumenoid-Ammoniak; letzteres ist an Eiweißkörper gebundenes Ammoniak, welches neben dem in flüchtiger Form nachgewiesenen in der Probe vorhanden ist.

Das schärfste Bild einer von Abfallstoffen tierischer Herkunft herrührenden Bodenverunreinigung ergibt die angetroffene Menge von organischen Stickstoff. Derselbe kann in mehreren Formen vorhanden sein: in der organischen Substanz, im Ammoniak, in der salpetrigen Säure (den Nitriten) und in der Salpetersäure (den Nitraten). —

Was zunächst die Abnahme der Verunreinigung mit der Bodentiefe anbetrifft, so werden darüber hier folgende drei Zahlenreihen mitgeteilt:

Fodor fand bei mehreren hundert Aufgrabungen in Budapester Boden, Milligramm in 1 kg:

Tiefe	Organ. N	Organ. C	Ammoniak (NH_3)	Salpetrigsäure (HNO_2)	Salpetersäure (HNO_3)
1 m	403	4670	12,8	0,98	140
2 "	321	4810	10,2	1,14	155
4 "	210	2900	7,3	1,14	177

In Rigaer Boden wurden noch viel stärkere Verunreinigungen ermittelt, wie folgende Zahlen ergeben:

Tiefe	Organ. N	Organ. C	Ammoniak (NH_3)	Salpetrigsäure (HNO_2)	Salpetersäure (HNO_3)
In der Peters- burger Vorstadt	1,0 m	584	19130	106	13,3
	2,5 "	177	6280	52	7,3
	4,5 "	113	8590	35	2,7
Im Innen- der Stadt	1,0 m	1016	27110	45	7,0
	2,5 "	1231	25520	110	3,0
	4,5 "	1164	39010	5	1,6

Sowohl die Budapester als die Rigaer Zahlen stellen sehr bedeutende Verunreinigungen dar, welche nur durch ungewöhnliche Verhältnisse erklärt werden können. Solche sind einerseits in mangelhafter Reinlichkeitspflege, anderseits in der Bodenbeschaffenheit beider Städte zu erkennen. Der Boden in Budapest ist grober, stark durchfeuchteter Kies, der Boden in Riga lockerer, etwas eisenschüssiger Sand, aus Feldspath, Glimmer und Hornblende (den Bestandteilen des Granits) bestehend.

Beide Beobachtungen zeigen, daß in durchlässigem Boden die Verunreinigungen in beträchtliche Tiefen eindringen können.

Die Zusammensetzung verunreinigten Bodens im Vergleich zu reinem (Normal-Boden) zeigen folgende Angaben.

Wolffhügel fand in Münchener Boden:

Herkunft der Bodenproben	In kaltem Wasser lösliche Stoffe					In kaltem Wasser unlösliche Stoffe	
	Ins-gesamt	Organ. Substanz	Glüh-verlust	Chlor	Salpeter-säure	Glüh-verlust	Stick-stoff (N)
	Gramm in 1 cbm					Gramm in 1 cbm	
1. Boden normaler Beschaffenheit aus der Nähe des Physiolog. Instituts, aus 3,7 m Tiefe entnommen	211	118	52	10	12	1504	14
2. Desgl. aus der Nähe von sechs Abtrittgruben aus 2,4 m Tiefe entnommen (Mittelzahlen) . . .	603	1257	185	110	19	5461	60
3. Desgl. aus der Nähe einer Düngergrube(4,5 m Entfernung) aus 2,3 m Tiefe entnommen . . .	4710	2330	1500	330	460	39772	956
4. Desgl. hinter Kanalwänden, an neun Stellen aus 3,6 m Tiefe entnommen	217	98	91	21	18	3356	55

Fodor ermittelte an Budapester reinem und verunreinigtem Boden, und zwar in 1 kg getrocknetem Boden, Milligramm:

	Reiner Boden			Verunreinigter Boden		
	Organ. N	Ammoniak (NH ₃)	Salpetersäure (HNO ₃)	Organ. N	Ammoniak (NH ₃)	Salpetersäure (HNO ₃)
Probe 1	17,0	2,1	32	2437	426,4	0
, 2	33,0	2,0	48	1098	204,7	0
, 3	72,0	4,1	216	1112	202,0	0
Eine große Reihe von Proben .	68,6	6,9	121	1132	33,5	217
Mittel aus den 67 reinsten Bodenproben.				Mittel aus den 40 am meisten verunreinigten Bodenproben.		

Fleck fand im Dresdener Straßengrunde bei 28 Proben in 1 kg zwischen 20 und 2180 mg organischen N und im Mittel 30—40 mg Ammoniak, Flügge desgleichen in drei Proben Berliner Straßengrundes 1040, 1220 und 1770 mg, und im Leipziger Straßengrund, gleichfalls ähnlich, bezw. 1040, 1210 und 2450 mg organischen N.

Die obigen Zahlen sind geeignet, die Größe der Einwirkung besonderer Faktoren, wie z. B. die Nähe von Dünger- und Abortsgruben, erkennen zu lassen. Sie erweisen ferner, daß der Boden unter städtischen Straßen allgemein stark verunreinigt ist, weil hier Anhäufung der Schmutzstoffe stattfindet, teils als Folge dauernden Eindringens sowohl in trockenem als feuchtem Zustande, teils weil infolge der geringen Zugänglichkeit für Luft die Mineralisierung der im Straßengrunde vorhandenen Schmutzstoffe besonders lange Zeit erfordert. Den höchsten Grad von Verunreinigung erweist der Straßengrund unter den Standplätzen des öffentlichen Fuhrwerks — weil die flüssigen Abgänge der Pferde ganz besonders ammoniakreich sind — wenn nicht Belegung dieser Plätze mit wasserundurchlässigem Pflaster erfolgt.

Die oben mitgeteilten Zahlen Wolffhügels — wie auch von andern Autoren ausgeführte Feststellungen — erweisen ferner die sehr bemerkenswerte Thatsache, daß unter gut gebauten Straßenkanälen eine Bodenverunreinigung kaum stattfindet, jedoch das Gegenteil bei Boden in der Umgebung von Abortsgruben der Fall ist. Die Gründe dieser Erscheinung werden an späteren Stellen klargelegt werden. Daß indes die günstigen Beobachtungsresultate Wolffhügels nicht auf mangelhaft gebaute Kanäle übertragen werden dürfen, zeigen Ermittelungen Feichtingers für Münchener Boden und Fodors an Budapester Kanälen*). Die Zahlen Fodors folgen hier; sie geben Milligramm für 1 kg Boden:

Bodenproben entnommen	Organischer N	Organischer C
Ueber Kanälen	47	1344
	73	4066
Unter Kanälen	5043	6882
	5182	51400

Boden in 1, 2 und 4 m Tiefe unmittelbar an Häusern entnommen mit verschiedener Bewohnungsdichte enthielt:

31 Häuser, Bewohnerzahl bis 50, organischer N	249 mg in 1 kg
47 , , 50—100, , ,	329 , , 1 ,
21 , , 100 u. mehr, , ,	426 , , 1 ,

Diese Zahlen bilden ein schlagendes Beispiel für die Thatsache, daß mit der Bewohnungsdichte auch die in den Boden gelangende Menge von verunreinigenden Stoffen zunimmt (vergl. die Erörterungen S. 27 ff.).

§ 36. Es liegt an dieser Stelle ein kurzer Vergleich nahe über die früher oft überschätzte Bodenverunreinigung durch Friedhöfe. Vielfache in der neueren Zeit ausgeführte Untersuchungen haben das Irrige dieser Ansicht ergeben, was sich im übrigen auch rechnungsmäßig leicht nachweisen läßt: Es scheidet eine Person täglich in den Dejekten 10—12 g Stickstoff aus; bei 12 g im Jahre 4,38 kg. Es kommt dieser Menge der in den Abfällen der Speisenbereitung vorhandene Stickstoff, ferner derjenige, der im Dünger der Haustiere, der Vögel, im Straßenschmutz u. s. w. enthalten ist, hinzu, welchen man nicht viel geringer als den in den Ausscheidungen des Menschen enthaltenen anzunehmen hat. Rechnet man 75 %, so würde die auf einen Kopf entfallende Jahres-Stickstoffmenge rd. 7,5 kg sein. Es werde angenommen, daß hiervon, sei es durch Abfuhr, sei es durch Abschwemmung, reichlich die

*) Pettenkofer, Das Kanal- u. Sielsystem in München. München, 1869.

Hälften entfernt wird, so hat der Boden in der Nähe der Wohnstätten pro Kopf und Jahr 3,5 kg aufzunehmen. Ist nun 1 ha des Stadtgebietes von 200 Menschen bewohnt, so ergibt dies 700 kg Stickstoff, der dem Stadtboden einverleibt wird.

Nimmt man anderseits die hohe Sterblichkeitsziffer von 30 pro Tausend an, so ergiebt dies für 200 Bewohner sechs Sterbefälle im Jahr; mit derselben werden je 1,5 kg Stickstoff dem Friedhofe zugeführt. Dieselben verteilen sich bei ordnungsmäßiger Begräbnisweise auf eine Grabstellenfläche, die man zu $6 \times 3,5$ oder 20 qm annehmen kann, und bei einem Begräbnisturnus von nur 15 Jahren auf 15 Jahre. In diesem Zeitraum empfängt der Friedhof von 200 Stadtbewohnern $15 \times 6 = 90$ Leichen und $90 \times 1,5 = 135$ kg Stickstoff, auf $\frac{90}{6} \cdot 20 =$

300 qm Fläche, also auf 1 ha Fläche $\frac{10\,000}{300} \cdot 135 = 4495,5$ kg. Die Zuführung beträgt daher in einem Jahr $4495,5 : 15 = 300$ kg.

Verglichen mit der Stickstoffmenge von 700 kg, die 1 ha in mittlerer Dichte bewohnten Stadtgebiet aufzunehmen hat, sind dies nur 43 %, und diese Zahl hat sich unter sehr ungünstigen Annahmen, was die Friedhofs-Ausnutzung betrifft, ergeben, unter im allgemeinen günstigen, was die Bewohndichte in der Stadt und die Sterblichkeit betrifft. Man kann daher annehmen, daß unter mittleren Verhältnissen die Verunreinigung, die der Friedhofsgrund erfährt, erheblich geringer als die des Stadtbodens ist.

§ 37. Es kann die Aufgabe gestellt sein, stark verunreinigten Boden in kurzer Frist wieder zu reinigen; dann bietet sich nur die Anwendung sogen. künstlicher Mittel, und handelt es sich um Maßregeln, die streng genommen, dem Gebiete der Desinfektion angehören. Ohne hier vorzugreifen, sollen doch die Verfahren kurz mitgeteilt werden, welche in ein paar besonderen Fällen — die sich aber leicht wiederholen können — angewendet worden sind. In dem einen Fall handelte es sich um die Reinigung einer beträchtlichen Menge von stark verunreinigtem Schlamm, der aus einem Kanal ausgehoben war. Im andern Fall war der schlammige Grund in dem Becken eines größeren Teiches zu reinigen.

Nach einer Mitteilung in der Revue hygiene 1894 war das Verfahren im ersten Falle folgendes: Der Schlamm wurde von der Kanalsohle mittels eines pneumatischen Baggers auf das Ufer gefördert, und es ward demselben schon während der Hebung Eisenvitriol in der Menge von 0,5 kg auf 1 cbm zugesetzt, wodurch Geruchlosigkeit erzielt ward. Man entleerte den Schlamm in große Bassins und setzte demselben dabei Aetzkalk in der Menge von 1 kg auf 1 cbm zu.

Anders war das bei der Reinigung des Teichgrundes zur Anwendung gebrachte Verfahren: Man schöpfte das Wasser bis auf eine 15 cm hohe Schicht aus, und schüttete alsdann in die etwa 2500 cbm ausmachende Schlammemenge zunächst 300 kg Eisenvitriol und kurz darauf 800 kg Kalkmilch. Nach zwei Tagen entfernte man das überstehende Wasser und schüttete alsdann auf den Schlamm so lange Eisenvitriol und Kalkmilch, bis der Geruch völlig aufgehört hatte. Alsdann ließ man den Schlamm an freier Luft trocknen, um ihn erst später zu entfernen.

Einen ausreichenden Erfolg beider Verfahrensweisen konnte man in der Thatssache erblicken, daß unter den bei beiden Ausführungen angestellten zahlreichen Arbeitern kein Erkrankungsfall vorkam.

Um der Bodenverunreinigung durch Leichenstoff zu steuern, werden die Leichen mit Aetzkalk beschüttet, der in doppelter Weise wirksam ist: er nimmt große Mengen Feuchtigkeit auf und vernichtet niederes mikroskopisches Leben.

Bei geringeren Bodenmassen, wie sie z. B. als Deckenfüllmaterial Verwendung finden, benutzt man zur Reinigung mit Vorteil Wärme. Handelt es sich nur um kleine Mengen, so genügt Erhitzen, welches aber bis zu reichlich 40° fortgesetzt werden muß, auf einer Eisenplatte, unter der ein Feuer brennt. — Für Reinigung größerer Mengen empfiehlt sich ein mehr vollkommener Apparat, der anstatt der Platte einen doppelwandigen Eisencylinder benutzt. Der Cylinder, dessen beide Wände einen Hohlraum einschließen, wird etwas geneigt gelagert und hat auf dem einen Ende der Achse einen Kurbel- oder Zahnrad-Antrieb und in dem inneren Cylinder eine Schraube, welche den am oberen Ende eingefüllten Boden nach unten schiebt, wenn die Schraube in Umdrehung versetzt wird. Am unteren Ende angelangt fällt der Boden auf eine Eisenplatte, unter der die — eingeschlossene — Feuerung liegt, deren Rauchgase durch den äußeren Hohlraum der beiden Cylinder geleitet werden. Eine genaue Beschreibung nebst Abbildungen dieses, von Kessler angegebenen Apparats ist im Centralblatt der Bauverwaltung 1889 mitgeteilt.

3. Kapitel.

Selbstreinigung des Bodens.

§ 38. Die durch die Thätigkeit physikalischer Faktoren und der Mikroben erfolgende Zersetzung der organischen Stoffe bildet, wenn deren Endprodukte mineralischer Natur (Wasser, Kohlensäure, Salpetersäure) sind, einen Vorgang, der als Selbstreinigung des Bodens bezeichnet wird, und der sich unter gewissen Voraussetzungen immer vollzieht, bald in kürzerer, bald erst in längerer Dauer, zum Teil in der oberen, zum Teil auch erst in der tieferen Schicht zu Ende gelangt. Die selbstreinigende Kraft des Bodens äußert sich aber, je nach der Natur der Stoffe, in verschiedenen Richtungen. Wenn organische Stoffe mit Flüssigkeiten in den Boden gelangen, so werden die in Suspension vorhandenen Fremdstoffe gewissermaßen abgesiebt, d. h. durch Adhäsions- und Kapillarwirkung schon in der oberen Schicht zurückgehalten. Daneben werden aber auch in Lösung befindliche organische Stoffe aus der Flüssigkeit abgeschieden, wie Farb- und Riechstoffe, sowie Gifte. Blut, Harn, Küchenabwässer u. s. w. werden durch Filtration im Boden entfärbt, bzw. geruchlos gemacht, Gifte organischen Ursprungs entgiftet. Selbst Jauche aus tierischem Dünger kann durch Filtration farblos und klar gemacht werden (wie schon 1836 durch Bronner experimentell erwiesen ist). Diese Fähigkeit des Bodens kann bei der Ackerdüngung u. s. w. täglich wahrgenommen werden und findet auch spezielle Anwendung in den sogen. Erdklosetts.

Mit einer gewissen Energie hält der Boden Ammoniak, Kali, Magnesium, Phosphorsäure, Kieselsäure, in viel geringeren Mengen Natron, Chlor, Calcium, salpetrige Säure und Salpetersäure zurück. Ackerkrume hat eine besondere Fähigkeit, Ammoniak und Kalisalze zu binden.

Den bestimmenden Einfluß, den bei diesem Vorgange die Boden-Beschaffenheit übt, den man sich im ganzen wohl mit der Flächenanziehung zu erklären hat, welche die relativ großen Bodenpartikel auf die in feinster Verteilung befindlichen Fremdstoffe ausüben, mag man aus der Angabe erkennen, daß, wenn die Ammoniakmenge, welche von einem Gewichtsteil Sandboden gebunden wird, = 1 gesetzt wird, alsdann die von andern Bodenarten gebundenen Ammoniakmengen folgende sind:

Bei Lehm und lehmigem Sandboden	4,3
" Torfboden	5,6
" Thonboden	6,7

Außer durch Flächenanziehung wirkt der Boden zurückhaltend auf Fremdstoffe, die ihm nicht in Lösungen, sondern in der Form von Schwebestoffen zugeführt werden. Diese Filterwirkung des Bodens ist um so größer, entweder je feinkörniger der Boden, oder je inniger derselbe aus groben und feinen Körnern gemischt ist. Die abgefilterten Fremdstoffe verbleiben je nach der Kornbeschaffenheit nahe an der Bodenoberfläche, oder werden zu etwas größeren Tiefen hinabgeführt.

Was den endlichen Verbleib der gebundenen, sowohl als der abgefilterten Stoffe betrifft, so unterliegen dieselben der Umbildung durch Zersetzung, vermöge biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse; Teile davon werden vom Pflanzenwuchs aufgenommen. Die aufgenommenen Stoffe bilden die sogen. Aschenbestandteile der Pflanzen, zu welchen Phosphor, Schwefel, Kali, Calcium, Magnesium u. s. w. Beiträge liefern. Die Aufnahme geschieht entweder unmittelbar, oder erst nachdem durch das Zusammenwirken verschiedener Ursachen die genannten Stoffe in die geeigneten Formen übergeführt — präformiert — worden sind. Ein anderer Teil der Fremdstoffe des Bodens wird flüchtig und noch ein anderer, beständigerer, mit dem Sickerwasser in größere Tiefen geführt und geht eventuell in das Grundwasser über. Aus letzterer Ursache kann auch die chemische Beschaffenheit des Grundwassers als Maßstab für die Bodenverunreinigung dienen. Doch ist dabei zu bemerken, daß es nur bestimmte Stoffe sind, die in das Grundwasser hinabgelangen (besonders Chlor, Schwefelsäure, Kali, Ammoniak, salpetrige Säure, Salpetersäure), und daß die Grundwasseruntersuchung auch keinen sicheren Maßstab für den gegenwärtigen Grad der Bodenverunreinigung bietet, vielmehr nur auf eine mehr oder weniger weit zurückliegende einen mehr oder weniger sicheren Schluß erlaubt.

Verläuft der Zersetzungsvorgang im Sinne der Oxydation (Verwesung), so verschwinden die organische Substanz und das Ammoniak, an deren Statt salpetrige Säure und Salpetersäure treten. Wenn dagegen Reduktion (Fäulnis) eintritt, schwindet die organische Substanz nicht, oder doch nur unmerklich und findet beim Ammoniak Vermehrung statt. Die Bildung von salpetriger Säure und Salpetersäure unterbleibt ebenfalls, oder erfolgt nur minimal; wenigstens gilt das von der Salpetersäure.

§ 39. Sowohl die Art des Zersetzungsvorganges, als dessen Intensität hängen, außer von den in der Bodenbeschaffenheit gegebenen Bedingungen, von der Menge (und Konzentration) ab, in welcher die Zuführung der Schmutzstoffe erfolgt; bei Uebereinstimmung in den ersten also einzig von der Menge. Doch ist nicht die absolute Menge bestimmend, sondern mehr die auf die Zeiteinheit entfallende.

Die hier dargelegten Thatsachen werden durch die Beobachtungen bestätigt, welche man am Ackerboden, auf Friedhöfen und, gegenteiligerseits, auf Rieselfeldern machen kann.

Bei Ackerboden findet die Zuführung großer Mengen organischer Stoffe im Dünger auf längere Zeiträume verteilt statt, und es wird mit einer starken Düngung gewöhnlicher Art 1 ha Acker — neben andern Stoffen — die Menge von 200 kg, mit einer Düngung mittlerer Stärke von 140 kg Stickstoff zugeführt.

Von Frankland angestellte Untersuchungen über die Beschaffenheit der aus dem Grunde von Ackerboden in 1 m Tiefe abfließenden Drainwässer lieferten nun folgende deutlich sprechenden Zahlen:

Düngungsweise des Bodens	Verdampfungs-Rückstand	Organischer		Gesamte Stickstoffmenge
		Kohlenstoff	Stickstoff	
Milligramm in 1 l = Gramm in 1 cbm				
1. Ackerboden, der seit 30 Jahren nur mineralischen, stickstoffreien Dünger erhalten hatte	238—482	1,0—3,1	0,2—0,7	0,6—14,1
2. Ackerboden, der seit 30 Jahren alljährlich mit stickstoffreichem Dünger gedüngt ward	140—512	1,8—12,4	0,3—3,3	1,3—27,5
3. Ackerboden, der seit 3 Jahren ungedüngt gelassen war und in Brache gelegen hatte	180—326	0,9—2,7	0,2—1,16	6,5—26,8

Der in diesen Zahlen dargelegte allgemein günstige Zustand wird teils dem Umstände verdankt, daß bei dem relativ trockenen Zustande des Düngers und der geringen Schichtdicke der Ackerkrume die organischen Stoffe für die beständige Einwirkung des Luftsauerstoffs offen liegen. Daher verläuft der Zersetzungsvorgang des Düngers im Ackerboden im allgemeinen als eine Oxydation und es wird, entsprechend, in gewöhnlicher Weise behandelter Ackerboden im engeren Sinne des Worts auch nicht als „verunreinigter“ Boden angesehen.

Bei Rieselfeldern liegen die Verhältnisse ganz allgemein viel ungünstiger. Werden als Beispiel die Berliner Rieselfelder herangezogen, so enthalten die denselben zugeführten Abwässer in 1 cbm 60—100 g Stickstoff; durchschnittlich mögen 80 g gesetzt werden. 1 ha Rieselland erhält jährlich von 10 000—15 000 cbm Abwasser zugeführt, darin also durchschnittlich $12\,500 \cdot 80 \text{ g} = 1000 \text{ kg}$ Stickstoff, die das Siebenfache einer mittleren und das Fünffache einer starken landwirtschaftlichen Düngung ist. Der Boden der Rieselfelder vermag diese Mengen in leidlicher Weise nur zu „verarbeiten“, wenn entweder die Erntemengen desselben in ähnlichem Verhältnis zu den Erntemengen des gewöhnlichen Ackerbodens stehen, oder wenn die Felderfläche in ähnlichem Verhältnis vergrößert wird.

Ueber die Bestandteile von Drainswasser von Berliner Rieselfeldern (Rieselgut Malchow) sprechen folgende, dem Jahre 1893 angehörende Zahlen. Des Vergleichs wegen sind die Analysen der Abwässer hinzugefügt; bei beiden Zahlenreihen ist zu bemerken, daß sie sich auf Wasserproben beziehen, welche durch Filtration zuvor von den Schwebestoffen befreit waren.

Zeitpunkt bezw. Ort der Untersuchung	Ver- dampfungs- Rückstand	Glühverlust	Verbrauch von KMnO ₄	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Phosphor- säure	Schwefel- säure	Chlor	Kali	Natron											
Milligramm in 1 l = Gramm in 1 cbm																						
1. Rieselwasser.																						
18. Juni	995,6	296,8	350,8	97,8	0	0	17,9	47,2	199,5	63,9	218,5											
15. November	1129,6	267,2	420,3	123,3	0	0	18,4	123,5	213,0	62,4	194,3											

Zeitpunkt bezw. Ort der Untersuchung	Ver- dampfungs- Rückstand	Glühverlust	Verbran- chen von KMnO ₄	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpetersäure	Phosphor- säure	Schwefel- säure	Chlor	Kali	Natron
	Milligramm in 1 l = Gramm in 1 cbm										
2. Drainswasser.											
von Beetanlagen											
15. Juni . . .	1063,2	76,8	42,7	13,6	0	54,0	1,0	—	254,2	—	—
von Wiesen											
17. November .	884,4	102,4	32,5	0,7	0	144,6	2,6	—	191,2	—	—
von Einstaubassins											
11. November .	1241,6	110,0	17,1	0,1	3,6	223,8	1,7	—	54,6	—	—

Zwar tritt als durchschlagender Beweis für die große Oxydationswirkung der Felder eine bedeutende Verminderung der zur Oxydation erforderlichen Menge von Kaliumpermanganat, eine sehr erhebliche Verminderung des Ammoniaks und eine dem entsprechende Vermehrung der salpetrigen und Salpetersäure ein; doch ist beim Verbleib von nicht unbedeutenden Mengen Ammoniak in den Drainswassern die Reinigung immerhin keine vollständige. Die im Ammoniak, der salpetrigen und Salpetersäure enthaltene Gesamtmenge von Stickstoff berechnet sich:

in den Rieselwässern	zu 80,5 bzw. 101,5 mg
" Drainwassern von Beetanlagen	zu 12,4 ,
" " Wiesen	32,7 ,
" " Einstaubassins	50,96 ,

liegt also in den Drainwassern von Beetanlagen und Wiesen denjenigen Mengen wenigstens einigermaßen nahe, welche in gewöhnlich gedüngtem Ackerboden angetroffen werden, während sie in den Drainwassern der Bassins etwa das Doppelte derselben ist.

§ 40. Für die große Selbsterneinfähigkeit des Bodens sprechen die Ermittlungen, welche bei Friedhöfen angestellt worden sind. Wenn zu letzteren nur geeigneter Boden in passender Lage ausgewählt wird, und wenn eine ordnungsmäßige Bewirtschaftung — Belegung mit Leichen — stattfindet, ist die früher oft befürchtete Gesundheitsschädlichkeit von Friedhöfen nicht vorhanden. Vielfach auf Friedhöfen selbst oder in unmittelbarer Nähe derselben angelegte Brunnen liefern, wenn dieselben das Wasser erst in größerer Tiefe fassen, ein Wasser, das, wie die Erfahrung lehrt, unbedenklich genossen werden kann. Auch haben ausgedehnte, besondere Feststellungen, die schon früher in Elsass-Lothringen und in Sachsen ausgeführt sind*), erwiesen, daß die Friedhofs-Nähe weder die Gefahr größerer Häufigkeit von Infektionskrankheiten, noch der gewöhnlichen Krankheiten mit sich bringt, und daher die Anwohner gesundheitlich nicht ungünstiger gestellt sind, als die fernab wohnenden Einwohner des betreffenden Orts.

Ein besonders schlagendes Beispiel für die große Selbsterneinfähigkeit von Friedhöfen ist von Kratter beigebracht worden. Der 0,312 ha große Friedhof in Donawetz bei Leoben hatte 600 Jahre hindurch bestanden und während der letzten Jahre im Durchschnitt je 155 Leichen aufzunehmen gehabt, d. h. beinahe

*) Hofmann in der Deutsch. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege. Bd. 14 (1882).

das Doppelte derjenigen Zahl, die nach landesgesetzlicher Vorschrift erlaubt war. Der Boden bestand zu oberst aus einer Humusschicht, unter welcher eine dünne Lehmschicht folgte, und zu unterst aus grobem Kies (Schotter), in welchen die Gräber noch hinabreichten. In der nahen Umgebung des Friedhofs liegen sieben Brunnen, deren Wasser von Kratter untersucht ward und folgende, sehr günstige Ergebnisse lieferte:

Nr.	Entfernung der Brunnen von der Friedhofsgrenze m	Brunnentiefe m	Organische Substanz	Ammoniak	Salpetrige Säure	Salpeter- säure	Chlor
					Milligramm in 1 l = Gramm in 1 cbm		
1	34	14	0	0	0	4	8
2	13	13	0	0	0	6	9
3	29	13	0	0	0	5	8
4	50	7	0	Spur	0	4	9
5	63	10	0	0	0	9	11
6	134	10	0	0	0	7	10
7	25	9	0	0	0	6	8

Die Wege, welche das Drainswasser des Friedhofs bis zu den Brunnen zurückzulegen hat, betragen zwischen 15 und 135 m, sind daher nur kurz; doch vollzieht sich die Oxydation des Leichenstoffs bis dahin vollständig. Die in den Brunnenwässern angetroffenen (in der Salpetersäure enthaltenen) Stickstoffmengen liegen zwischen den engen Grenzen von 0,9 und 2,0 mg.

Um einen Vergleich zwischen verunreinigtem und reinem Wasser, d. h. solchem, das als „Trinkwasser“ dienen soll, zu ermöglichen, sei hier eine der sogen. Grenzzahlenreihen mitgeteilt, welche angibt, welche Höchstmengen gewisser Fremdstoffe in einem Wasser enthalten sein können, das als Trinkwasser in Aussicht genommen wird.

Organische Substanz	6—10 mg in 1 l
Freies Ammoniak und salpetrige Säure	0 " " 1 "
Albumenoid-Ammoniak	0,2 " " 1 "
Salpetersäure	5—15 " " 1 "
Chlor	20—30 " " 1 "
Schwefelsäure	80—100 " " 1 "
Verdampfungsrückstand	500 " " 1 "

Diese Grenzzahlenreihe ist neueren Ursprungs und von Kubel und Tiemann angegeben worden. Neben derselben gibt es andre Reihen, welche teils höhere, teils geringere Zahlen enthalten, nicht nur allgemein, sondern auch für einzelne unter den aufgeführten Fremdstoffen.

§ 41. Nach den oben mitgeteilten Beispielen ist die selbstreinigende Kraft des Bodens eine unerwartet große. Es kann angenommen werden, daß vermöge ihrer Wirkung selbst stark verunreinigter Boden innerhalb 1—2 Jahren wieder rein wird; doch kann der Zeitpunkt, zu welchem dieser Zustand wieder erreicht ist, auch viel weiter hinaus liegen. Daher darf jene Fähigkeit nicht überschätzt, der Boden nicht überladen werden. Letzteres findet aber leicht statt, wenn die Zuführung von Schmutzstoffen in dauernder Weise erfolgt. Alsdann kann die Fähigkeit des Bodens versagen; doch erwirbt er dieselbe früher oder später wieder zurück, wenn man demselben eine längere Periode der Ruhe gönnt. Längere Ruheperioden sind ebenfalls notwendig, wenn die Zuführung der Fremdstoffe zwar nur zeitweilig, dann aber „massenhaft“ geschieht.

Aus diesen Darlegungen ist zu folgern, daß der Boden selbst nur einigermaßen dicht bevölkerter Städte in der Regel beständig verunreinigt sein wird, und daß bei seiner Abgeschlossenheit gegen die Atmosphäre es gewöhnlich einer langen Reihe von Jahren bedarf, bevor, nach dem Aufhören der Verunreinigung, Reinheitszustand desselben von neuem erreicht wird. Erhält der Straßengrund eine Abdeckung mit wasserdichter Pflasterung, wie sie neuerdings häufig angewendet wird, so verlängert sich die Periode; doch bleibt alsdann der Reinheitszustand des Bodens auch dauernd.

Verminderte Zuführung von Schmutzstoffen zum Boden, etwa durch Verbesserung der Abfuhrreinrichtungen und der Straßenreinigung, macht den Boden gesunder als er bisher war, wenn auch vielleicht kein völliger Reinheitszustand wieder erreicht wird. Je seltener Feuchtigkeit in solchen Mengen auf die Straßen gelangt, daß Einsickerungen erfolgen, desto gesunder bleibt der Boden darunter, und umgekehrt. Daher hat das überreichliche Besprengen der Straßen, besonders wenn dabei nicht reines Wasser benutzt wird, auch seine Kehrseiten. Ueberhaupt kommt jede Maßregel der Straßenpflege, die darauf hinausgeht, den Straßengrund trocken zu erhalten, der Reinheit des Bodens zu statthen.

Während der Periode, in der sich die Selbstreinigung des Bodens vollzieht, vermögen sich die günstigen gesundheitlichen Wirkungen von Verbesserungen im Städtereinigungswesen noch nicht im vollen Umfange geltend zu machen, sondern treten erst nach Beendigung dieser Periode ganz hervor. Auf diese Verhältnisse ist bereits oben, S. 30 ff., an der Hand einiger Beispiele besonders hingewiesen worden.

§ 42. Der Boden ist Sitz unendlicher Mengen von Mikroben, die in zwei große Gruppen zerfallen: Parasiten, die sich vom „Lebenden“, und Saprophyten, die sich vom „Toten“ nähren; erstere bilden die große Ueberzahl und es gehen unter ihrer Konkurrenz — Ueberwucherung — die mehr empfindlichen Parasiten oft zu Grunde.

Zwischen den beiden Arten gibt es Uebergangsformen, die als fakultative Parasiten, bzw. fakultative Saprophyten bezeichnet werden; doch sind diese Zwischenformen noch wenig genau bekannt; jedenfalls scheint ihre Zahl nur gering zu sein.

Im allgemeinen gilt von den Saprophyten, daß sie gesundheitlich harmlos sind, wenigstens was direkte Wirkungen auf die Gesundheit betrifft, daß ihnen aber Bedeutung insofern zukommt, als sie Konkurrenten der Parasiten um die Nahrung sind. Letzteren sind sie auch im allgemeinen in ihrer Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse überlegen; doch gibt es auch unter den Parasiten Arten besonders hoher Widerstandsfähigkeit, die sich bei einigen pathogenen Arten an vorübergehende besondere Formen knüpft. Die als „Werdeform“ zu bezeichnende Sporenform mancher Bakterien zeigt eine viel höher liegende Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse (Temperatur, Feuchtigkeit, Licht, Abtötungsmittel u. s. w.) als die Endform.

Die Bakterien sind entweder dauernde Bewohner des Bodens — wovon ein paar Arten bereits S. 65 genannt sind —, oder die Möglichkeit ihres Bestehens im Boden ist nur eine vorübergehende. Je nach der Länge des Zeitraums, mit dem man rechnet, wird die Grenze zwischen den beiden Arten sich verschieben. Die dauernden Bewohner des Bodens bilden aber die große Ueberzahl (vergl. S. 46).

Je mehr steril ein Boden, um so geringer ist die Bakterienzahl. Zuführung von Schmutzstoffen vermehrt daher die Zahl der Bodenbakterien; doch braucht die Vermehrung damit nicht im geraden Verhältnis oder einem ähnlichen andern zu erfolgen, weil selbst eine minimale Menge von tierischer Substanz ausreichende

Nahrungsmenge für viele Millionen Bakterien bietet. Es könnte als ein günstiger Umstand betrachtet werden, daß mit der Vermehrung der Schmutzstoffe im Boden eine große Vermehrung der Saprophyten stattfindet, da letztere wegen der Ueberwucherung im allgemeinen als Feinde der dort vorhandenen Parasiten gelten; doch muß beachtet werden, daß mit der Zuführung von Abfallstoffen zum Boden die Gefahr verbunden ist, daß mit den letzteren auch pathogene Bakterien zum Boden gelangen.

Der Aufenthalt von Bakterien im Boden ist im allgemeinen auf die oberste Schicht beschränkt, d. h. spezieller auf eine Schichtstärke von vielleicht 0,25 m. Diese Erscheinung erklärt sich aus den Ansprüchen, welche die Bakterien an Temperatur, Feuchtigkeit u. s. w. machen, und aus der Ungunst der Verhältnisse, welche in den tieferen Bodenschichten allgemein vorliegen. Starke Belichtung — durch die Sonne — wirkt auf viele Bakterienarten hemmend oder auch vernichtend; es scheinen aber Feuchtigkeit und Wärme, sowie Kohlensäuregehalt des Bodens Faktoren zu sein, von welchen die Existenz derselben in ebenso hohem Maße wie von der Belichtung abhängt. Ein dunkelfarbiger, poröser, etwas feuchter, mit organischen Stoffen beladener Boden bietet nahe der Oberfläche den Bakterien die zusagendsten Lebensbedingungen; selbstverständlich spricht die besondere — chemische und minera-logische — Artung des Bodens dabei mit.

Es ist erklärlich, daß die Angaben über Bakterienbefunde des Bodens weit auseinander gehen. Nachstehende Zahlen, die auf 1 ccm Boden bezogen sind, lassen dies sowohl, als den Einfluß, den Bodentiefe und -Beschaffenheit auf die Verminde-rung der Zahl der Bakterien üben, erkennen.

In der Oberflächenschicht eines nicht gedüngten, und auch nicht mit irgend-welchen andern Abfallstoffen verunreinigten Bodens fand Fränkel in der Regel etwa 100 000 Keime, jedoch auch bis zu 350 000, in Kulturboden aber viel höhere Zahlen.

Im Berliner Boden ermittelte Fränkel:

an der Oberfläche	45 000 bis ∞	Keime
in 1 m Tiefe	200—150 000	"
" 2 "	100—200 000	"
" 3 "	0—34 000	"
" 4 "	0—8000	"

Wollny fand:

a) in sandigem Humusboden:		
in 3 m Tiefe	44 000 000—45 000 000	"
" 4 "	10 000 000	"
" 5 "	8 000 000	"
" 6 "	5 000 000	"
b) in gelbem Lehmboden:		
in 1,85 m Tiefe	260 000	"
c) in Friedhofs-boden:		
in 1,25 m Tiefe	1152 000	"
" 1,85 "	438 000	"

Maggiora ermittelte an der Oberfläche:

von sandigem, vegetationslosem Boden	1 600	"
" Ackerboden	11 000 000	"
" Straßengrund	78 000 000	"
auf einem Friedhof	6 000 000	"
" " " in 1,5 m Tiefe	18 000	"

Von gewöhnlichem Boden enthält Ackerboden die meisten, Wiesen-boden weniger und Waldboden die wenigsten Keime.

Von großem Einfluß auf die Keimzahl des Bodens erweist sich der Umstand, ob der Boden sogen. gewachsener oder berührter, in Bearbeitung befindlicher, ist; letzterer enthält die größere Anzahl von Keimen.

Wenn auch nach den obigen Zahlen selbst in 6 m Tiefe vereinzelt noch große Keimzahlen angetroffen wurden, so ist doch als erwiesen anzunehmen, daß in etwa 2 m Tiefe dem Gedeihen der Mikroben enge Grenzen gezogen sind; eine Vermehrung scheint dort kaum noch stattzufinden; mindestens gilt dies für pathogene Keime, die auch nur ganz ausnahmsweise in solche Tiefen gelangen können.

Der Erörterung der Bodentiefe, bis zu welcher Bakterien hinabgelangen, wohnt mit Bezug auf zwei Punkte besondere Bedeutung bei, und zwar:

- a) die Gewinnung von Grund oder Quellwasser;
- b) die etwaige Möglichkeit, daß mit den Leichen von an Infektionskrankheiten Verstorbenen pathogene Bakterien von der Begräbnisstätte aus mit dem Grundwasser, oder sonstwie im Boden verbreitet werden könnten.

Nach bisherigen Erfahrungen gilt es als sicher, daß die Tiefe von 8—10 m in unberührtem Boden überall genügt, um Bakterienfreiheit des dort angetroffenen Grundwassers erwarten zu können, Wasserfassungen in geringerer Tiefe aber keine ausreichende Sicherheit gewähren, und um so weniger, in je geringerer Tiefe sie stattfinden.

Zum Punkt b sind vom Reichs-Gesundheitsamt in den letzten Jahren ausgedehnte Untersuchungen angestellt worden, die ergeben haben, daß die ordnungsmäßige Erdbestattung der Leichen von an Infektionskrankheiten Verstorbenen keine gesundheitlichen Gefahren mit sich bringt. Besitzen, wie es der Fall ist, die Infektionserreger außerhalb des Körpers fast allgemein nur beschränkte Existenzfähigkeit, so wird bei ordnungsmäßigem Begräbnis in der Regel die Zeit, bis dieselben von der Leiche aus ins Grundwasser des umgebenden Bodens gelangen und in einiger Entfernung davon belegene Brunnen erreichen können, schon genügend zum Zugrundegehen derselben sein. Entsprechend hat man selbst Schädlichkeiten von zeitweiligen massenhaften Bestattungen von Leichen an Infektionskrankheiten Verstorbener bisher nicht beobachtet. Was dazu etwa die übliche Desinfektion mit Kalk gethan hat und was auf Rechnung anderer Faktoren kommt, läßt sich nicht feststellen.

Von der Regel, daß Mikroben nur bis zu beschränkten Tiefen im Boden vorkommen, scheinen einzelne Algenarten — den Spaltpilzen nahe verwandte Lebewesen — eine Ausnahme zu machen. Die sogen. Brunnenalge, auch Brunnenfaden genannt (*Crenothrix polyspora* oder *C. Kuehniana*), scheint sogar gerade in größeren Bodentiefen ihren Sitz zu haben.

§ 43. Die Art und Weise, wie Mikroben in die Tiefe des Bodens gelangen, kann sehr verschieden sein. Der einfachste Weg ergibt sich bei Freilegung tieferer Schichten, sei es auf künstliche Weise, z. B. bei der Bodenkultur, sei es auf natürliche Weise, indem durch Wasserablauf tiefere Schichten offen gelegt werden. Oft werden auch Gänge von Tieren oder Erdrissen den Mikroben Wege zu größeren Tiefen eröffnen. Sodann kommt das Einsickern mit Meteorwasser und Schmutzwasser in Betracht. Verwandt damit ist das tiefere Eindringen mit sinkendem Grundwasser und den Bewegungen des Kapillarwassers. Weiter ist ein Hineinwachsen von Mikroben in die Bodenporen in Betracht zu ziehen, wie es analog bei Sandfiltern beobachtet worden; doch mag dieser Weg, soweit es sich um Erreichung größerer Tiefen handelt, von nur wenig Bedeutung sein. Endlich ist als Transportmittel von Mikroben in und aus dem Boden auch an den Luftaustausch zwischen Boden und freier Atmosphäre zu denken; es kann aber dieser Möglichkeit nur eine relativ recht geringe Bedeutung beigemessen werden.

Wichtiger noch als die Frage nach dem Hineingelangen der Mikroben in den Boden, besonders in die Bodentiefe ist die andre, nach den Mitteln und Wegen, auf welchen sie den Boden wieder verlassen, und Zutritt zum Menschen gewinnen können.

Von der Bodenoberfläche aus können solche Bakterienarten, die Trockenheit vertragen, den Weg mit Luftströmungen und Staub nehmen. Zu dieser Art gehören auch zwei Schädlinge besonders schlimmer Art, die Typhusbacillen und die Bacillen der Tuberkulose; neben diesen beiden gefährlichen Arten, deren Uebertragung durch Luftbewegung sicher erwiesen ist, kommen wahrscheinlich noch andre Arten vor. (Vergl. hierzu Mitteilungen von Röchling über das Vorkommen von Keimen in Kanalluft in der Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege Bd. 27, 1895, H. 1.)

Als weitere Wege kommen in Betracht das Hängenbleiben an Geräten und Werkzeugen des Acker- und Gartenbaues, an der Fußbekleidung des Menschen, an Händen, die den Boden berühren, an Erzeugnissen des Acker- und Gartenbaues selbst, Verschleppen mit Tieren u. s. w. Was letztere Möglichkeit anbetrifft, so muß sowohl an Haustiere, als an Ungeziefer aller Art gedacht werden: Ratten, Mäuse, Käfer, Regenwürmer. Namentlich der Thätigkeit der Regenwürmer kommt in dieser Hinsicht eine größere Bedeutung zu, da sie in Krummenform beträchtliche Mengen von Erde selbst aus größeren Tiefen an die Oberfläche zu bringen vermögen.

Durch Verdunstung der Bodenfeuchtigkeit kann keine Beförderung von Bakterien an die Oberfläche stattfinden, und ebenso wenig ist dem Transport der Bakterien mit aufsteigender Grundluft eine größere Bedeutung zuzusprechen; auch dem Transport mit aufsteigendem Kapillarwasser kann eine besondere Wichtigkeit nicht beigelegt werden.

Es ist aber daran zu denken, daß mit Bodenfeuchtigkeit oder durch Aufgraben hinter Gebäudemauern u. s. w. Bakterien mit Gebäudeteilen, unbelegten Kellerfußböden, Mauern u. s. w. in unmittelbare Berührung treten und so Zutritt zum Innern eines Gebäudes finden können.

Daß dies in noch viel höherem Maße von der verunreinigten Grundluft gilt, die um so leichter ihren Weg in Gebäude hinein findet, als die höhere Temperatur derselben aspirierend wirkt, braucht nur angedeutet zu werden. Es ist der Reinhaltung des Bodens gerade von diesem speziellen Gesichtspunkte aus eine ganz besondere Bedeutung beizumessen, auf die ein näheres Eingehen sich jedoch erübrigt.

Noch größere Bedeutung als der Grundluft ist mit Bezug auf die Gesundnerhaltung der Wohnhausluft (auch die Fernhaltung von Bakterien) der Bodenfeuchtigkeit beizulegen, insofern diese die Gebäudemauern mit Feuchtigkeit durchdringt. Trockenhaltung oder Trockenlegung des Bodens, bezw. Senkung des hoch liegenden Grundwasserspiegels sind daher hoch berechtigte Forderungen der Gesundheitspflege, denen in den technischen Vorkehrungen des Städtereinigungswesens die umfassendste Berücksichtigung gebührt. (Vergl. S. 28 ff.)