IX.

Die Herkunft der Mikroorganismen im Wasser.

Den offenen Wässern, Seen, Flüssen, Teichen und offenen Brunnen, können in der mannigfaltigsten Weise Organismen zugeführt werden. Die oberen Bodenschichten sind sehr bakterienreich. Bespült das Wasser die Ufer, so werden mit den Erdpartikelchen ungezählte Mengen von Spaltpilzen in das Wasser gelangen. Noch grössere Massen werden durch das Tagewasser zugeführt. Wenn der Regen auf die Erde fällt und das Wasser, welches nicht versickert, als Schmutzwasser dem nächsten Fluss, Bach, Teich oder See sich zuwälzt, so bringt es viele Tausende, ja Millionen von Mikroorganismen im Cubikcentimeter aus den obersten Schichten der Erde mit.

Ueber die Mengen von Bakterien, welche den offenen Wässern durch die Abwässer der menschlichen Industrie und Oekonomie übergeben werden, macht Miquel eine Angabe; er hat ausgerechnet, dass die täglichen Abwässer von 100 schwimmenden Waschanstalten genügen, um 10 Milliarden Cubikmeter keimfreien Wassers auf einen Gehalt von 3000 Bakterien pro Cubikcentimeter zu bringen, den mittleren Gehalt der Seine an Mikroorganismen. In dem Departement der Seine befinden sich 60 solcher Waschanstalten. Die Grösse der Verschmutzung des Flusswassers der französischen Hauptstadt durch diese eine Industrie ergiebt sich danach von selbst.

Der hohe Gehalt der Canalwässer an Bakterien ist bekannt, es werden bei Aufnahme dieser Wässer ungeheure Massen von Mikroorganismen in die Flüsse eingeführt.

Gegen die Anzahl von Keimen, welche auf den eben angedeuteten Wegen den offenen Wässern zugetragen werden, sind die Mengen, welche aus der Atmosphäre hineinfallen oder durch Zufälligkeiten hineingelangen, verschwindend klein.

Die Uebertragung der Mikroorganismen in offene oder schlecht bedeckte, schlecht gemauerte Brunnen findet in analoger Weise statt wie bei den Flüssen und Seen; den Brunnen kann durch Regen und Abwässer eine grosse Zahl von Bakterien zugeführt werden. Das Schmutzwasser fliesst entweder von oben her direct durch die Spalten und Löcher einer mangelhaften Eindeckung in den Brunnen oder es dringt in kleinen Rinnsalen von der Oberfläche her durch die Erde und von da durch offene Fugen der Brunnenwand in den Brunnenkessel. Dicht an den Brunnen, wo das Ausgusswasser aufschlägt, bilden sich derartige Rinnen am häufigsten, sie sind um so gefährlicher, als gerade an diesem Orte auch das Waschwasser ausgegossen zu werden pflegt, welches immer sehr bakterienreich ist und nicht gerade selten Krankheitserreger enthält.

Diese Verunreinigungen fallen fort bei denjenigen Wässern, welche nicht in directer Verbindung mit der Erdoberfläche stehen, d. h. also bei Quellen und gut geschlossenen, bis unten hin wasserdichten Brunnen.

Wie aber ist das Vorkommen von Mikroorganismen in diesen Wässern zu erklären? Wie kommt es, dass in dem einen Falle derartiges Brunnen- oder Quellwasser keimfrei ist und in einem anderen Falle nicht?

Die Brunnen und Quellen werden von dem in der Erde befindlichen Wasser gespeist; sie sind Sammel- bezw. Abflussstätten für das Wasser im Boden. Kämen die Spaltpilze in den Schichten des Bodens in grösserer Menge vor, in welchen das Wasser steht oder fliesst, so müssten sie sich im Grund- und Quellwasser ebenfalls in erheblicher Zahl finden.

Nun wissen wir aus den Arbeiten R. Koch's[1]), dass die obersten Bodenschichten zwar ausserordentlich reich an Bakterien sind, dass aber der Reichthum an Mikroorganismen im Erdboden nach der Tiefe zu sehr schnell abnimmt und dass kaum einen bis zwei Meter unter der Oberfläche der nicht umgewühlte Boden fast frei von Bakterien ist. Selbst mitten in Berlin enthielt eine in 1 m Tiefe entnommene Erdprobe keine Bacillen, sondern nur ganz vereinzelt kleine Mikrokokken. In diesem Falle stammte die Erde von einem Neubau, welcher unmittelbar neben der schmutzigen Panke aufgeführt wurde. Eine andere Erdprobe, welche aus 2 m Tiefe im Niveau des Pankewassers und nur 2 m davon entfernt entnommen war, zeigte sich ebenfalls ausserordentlich arm an Mikroorganismen.

[1]) Mittheilungen aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt 1, 35.

R. Koch betont, dass die zuletzt erwähnte Schlussfolgerung sich bislang auf nur wenige Untersuchungen stütze, hält es nach diesen jedoch für unwahrscheinlich, dass in den tieferen Bodenschichten häufig Mikroorganismen in grösserer Anzahl existiren.

In ähnlicher Weise hatte sich bereits Pasteur[1]) ausgesprochen, indem er sagte:

„Les eaux prises aux sources mêmes qui sortent de l'intérieur de la terre, que ni les poussières de l'atmosphère ou de la surface du sol, ni les eaux circulant à découvert, n'ont encore souillées, ne renferment pas de trace de germes de bactéries."

Aufgegrabener oder umgewühlter und verunreinigter Boden kann jedoch anscheinend viel Bakterien enthalten. Beumer[2]) fand in dem Boden des Greifswalder Krankenhausterrains, welches theilweise aufgeschüttet ist, theilweise früher als Kirchhof gedient hat und welches in der Tiefe durch sogenannte Stadtlauge verunreinigtes Wasser führt, noch bei 6 m Tiefe von 200000 bis zu 6 Millionen Bakterien. Zwischen den Gräbern eines Friedhofes fand der Autor in 2 m Tiefe bis zu 400000 Keime.

Ob diese in eine sehr frühe Periode der Bodenuntersuchungen fallenden Versuche ganz correcte Zahlen bringen, darf zweifelhaft erscheinen.

Zu anderen mit den Annahmen Koch's übereinstimmenden Resultaten gelangte C. Fränkel[3]). Um das bereits gebrachte Zahlenmaterial nicht zu sehr zu vermehren, lassen wir ungeachtet der Wichtigkeit des Gegenstandes nur wenige Angaben Fränkel's folgen; wir können das um so eher, weil die übrigen Befunde des Autors mit den von uns und anderen vorgelegten übereinstimmen.

Auf dem Terrain des Pfingstberges bei Potsdam und des Grunewaldes bei Berlin, wo der Boden aus diluvialem Sand besteht, welcher nur bis zu $^3/_4$ m Tiefe humöse Beimischungen enthält und niemals mit Baulichkeiten besetzt oder sonst erheblich verändert war, ergaben sich folgende Resultate:

---

[1]) Pasteur et Joubert, Comptes rendus, Tome 84, 1877. Sur les germes des bactéries en suspension dans l'atmosphère et dans les eaux.

[2]) Deutsche med. Wochenschr. Nr. 27, 1886. Zur Bakteriologie des Bodens.

[3]) Untersuchungen über das Vorkommen von Mikroorganismen in verschiedenen Bodenschichten. Zeitschrift für Hygiene 2, 521.

24. April 1886 Pfingstberg Tiefe in Metern	Menge der in 1 ccm Boden etwa vorhandenen Keime	24. Mai 1886 Pfingstberg Tiefe in Metern	Menge der in 1 ccm Boden etwa enthaltenen Keime	18. Juli 1886 Grunewald Tiefe in Metern	Menge der in 1 ccm Boden etwa enthaltenen Keime
Oberfläche	— [1])	Oberfläche	150 000	Oberfläche	200 000
0,25	— [1])	0,5	200 000	0,5	220 000
0,50	70 000	1	2 000	1	3 000
0,75	25 000	1,5	15 000	1,5	600
1	1 000	2	2 000	2	0
1,5	200	2,5	500	2,5	0
2	0	3	3 000	3	200
2,5	250	3,5	0	3,5	0
3	0	4	0	4	300
3,5	0	4,5	100		
4	0	Grundwasser			
4,5	100	5	600		
in 5 m	0				
Grundwasser		Grundwasser			

[1]) Die gewachsenen Colonien waren nicht zu zählen, da durch die leimzerlegenden Bakterien die Gelatine vollständig verflüssigt worden war.

Die angeführten Beispiele beanspruchen insofern ein erhöhtes Interesse, als zweimal das Grundwasser erreicht wurde. In dem einen Falle war dasselbe keimfrei, in dem anderen keimarm. Einen Einfluss der Jahreszeit, der verschiedenen Bedeckung des Bodens etc. konnte Fränkel nicht finden, trotzdem die Bodentemperatur beispielsweise in 1,5 m Tiefe zwischen 3,5° im März und 14° im August und September, oder in 3 m Tiefe zwischen 8° im März und 13° im September und October schwankte. Auffallend war der constante rapide Abfall im Bakteriengehalt; in etwa 1,25 m Tiefe verminderte sich die Keimzahl oft plötzlich und unvermittelt auf den hundertsten Theil, und schon bei $1^1/_2$ m war der Boden in einzelnen Fällen völlig keimfrei.

Anaërobiotische, d. h. bei Luftabschluss wachsende Bakterien waren in den tieferen Schichten so gut wie gar nicht vorhanden.

Aehnliche Verhältnisse ergaben sich bei der Untersuchung des Untergrundes der Stadt Berlin. Selbst da, wo das Erdreich schon mehr als 250 Jahre bebaut gewesen war, fanden sich Bakterien in den tieferen Bodenschichten nur relativ selten.

7. August 1885[1]) Tiefe in Metern	Colonien pro Cubikcentimeter	6. April 1886[2]) Tiefe in Metern	Colonien pro Cubikcentimeter
Oberfläche	160 000	1	100 000
0,5	40 000	1,5	180 000
1	10 000	2	65 000
2	6 000	2,5	470 000
3	600	3	34 000
		3,5	0

[1]) Centrum der Stadt. Bis zu 0,5 m sehr stark verunreinigte schwarze Erde, bis 1,5 m grauer, mit Bauschutt durchsetzter Mischboden, in 2 m der gewachsene, weisse, feinkörnige Sand.

[2]) Ecke der Friedrich- und Charlottenstrasse. Bis zu 1,75 m alter Bauschutt, von 1,75 bis 2,50 m grauer Sand, von 2,50 m an reiner, weisser Sand.

In dem hygienischen Institut zu Jena sind unter unserer Leitung von Dr. Reimers[1]) eine Anzahl Untersuchungen über die Bakterienzahl des kalk- und lehmhaltigen Bodens von Jena angestellt, von welchen wir hier einige zum Abdruck bringen:

Versuch VIII: Hofraum. Direct unter der Oberfläche eine ungefähr 10 cm dicke, schwarze, übel riechende Schicht (grösstentheils Kaffeesatz), darunter fester Lehm.		Versuch X: Ackerland. Bis zu 20 cm Humus: bis 1 m grober Kies mit Kalk; bis 3 m fester Lehm; bei 4 bis 4,2 m sandiger feuchter Lehm.		Versuch XVIII: Strasse. Bis 0,5 m Strassenschmutz und Schutt, dann (fast chemisch reiner) feuchter Kalktuff.	
Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.	Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.	Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.
Schwarze Schicht	1 232 000	Oberfläche	Gelatine verflüssigt	Oberfläche	432 400
1	158 000	1	81 900	1	760
1,6	360	2	400	2	14 000
		3	120	3	100
		4	0		

[1]) Zeitschr. f. Hygiene 9, 307.

Versuch XIX: Strasse. Bis 0,5 m Schutt, Scherben, Holz, Kohlen u. s. w.; bis 2 m bräunlich-lehmige Schicht mit Steinen; von da ab grüner, fester Mergel.		Versuch XV: Grab-Jena. In 35jährigem Wechsel bereits fünfmal benutztes Gräber-Terrain. Festes, lehmiges Erdreich mit Holzstücken, kl. Knochenstücken u. Steinen untermischt.		Vers. XII: Grab Wenigenjena. In 25jähr. Wechsel fünfmal zur Beerdigung benutztes Terrain. Bis 1,5 m schwarze Erde; bis 2,5 m feiner Sand, dann grober Kies, Grabtiefe 1,5 m; hohes Grundwasser steigt bis über die Grabsohle.	
Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.	Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.	Tiefe in Metern	Keime im Cubikcent.
Oberfläche	319 000	Oberfläche	1 890 000	Oberfläche	1 080 000
1,5	681 000	1	460 000	1	549 000
2,5	410	1,6 (Sargboden)	170 300	1,5 (Sargboden)	170 000
3,5	0	2	50 000	2	11 000
				2,5 (Grundwasser)	27 000

Auf dem alten Charitékirchhofe in Berlin, auf welchem seit 31 Jahren Beerdigungen nicht mehr stattgefunden hatten, fanden Proskauer, Wernicke und Schneider[1]) ein dem unserigen fast gleiches Resultat:

Bohrloch	Oberfläche	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m	3,5 m
C. I.	über 100 000	2160	1080	200	110	31	5	8
C. II.	verflüssigt	3200	1390	216	130	14	16	5
C. III.	ca. 140 000, dann verflüssigt	1680	1400	480	90	40	13	0

Das Grundwasser wurde anscheinend bei diesen Versuchen nicht erreicht.

Auf dem Charitégrundstück gingen die Bohrungen durch Torf und Sand mit Torf hindurch; auch aus diesem Material entnommene Proben waren bakterienfrei:

[1]) Zeitschr. f. Hygiene 11, 90.

Bohrloch	Oberfläche	1 m	2 m	3 m	3,50 m	4 m
			aufgeschütteter Boden	Sand mit Torf	reiner Torf	
C. 5	unzählig	1900	40	0	2	—
		aufgeschütteter Boden	feiner Sand mit Schlamm			Torf
C. 4	„	1000	2	0	—	1

Es zeigt sich hiernach für den lockeren, sandigen oder schlammigen und Torf enthaltenden Boden Berlins und den festen, lehm- und kalkhaltigen Boden Jenas dasselbe Resultat: grosser Keimreichthum der oberen Schichten, rapider Abfall in den mittleren Lagen und schon in wenigen Metern Tiefe Keimfreiheit. Dabei ist es für die unteren Schichten belanglos, ob eine starke Verschmutzung der oberen Bodenschichten stattgefunden hat oder nicht. Die Kirchhofsversuche zeigen, dass entgegen den Beobachtungen in Greifswald die Bakterienzahl auf der Grabsohle keine hohe ist.

Auffällig ist das Ansteigen der Keimzahl in dem Grundwasser des Friedhofes zu Wenigenjena; diese Erscheinung war bei den vier dort angestellten Versuchen constant und dürfte mit dem zeitweiligen hohen, bis fast zur Oberfläche reichenden Stande des Grundwassers zusammenhängen, welches bei seinem Niedergehen grosse Bakterienmengen mit zurücknimmt.

Kümmel[1]) sagte in einem in Kiel gehaltenen Vortrage: „Wenn wir in unserer Sandgrube so tief als wir können, also etwa 1 m tief von der Seite, 8 m unter der Oberfläche des mit Haide bewachsenen Terrains in den unberührten Boden hineingraben und den Sand herausnehmen, so finden wir in 1 ccm dieses Sandes, der noch nie an die Luft gekommen, 8000 Keime“. Dieser Ausspruch des bekannten, sehr vorsichtigen Wassertechnikers konnte zu Missdeutungen Veranlassung geben, und der Eine von uns bat, die Versuche unter entsprechenden Vorsichtsmaassregeln wiederholen zu lassen. Am 12. Juni 1893, dem Tage vor seiner Abreise nach Chicago, von wo der treffliche Mann nicht mehr zurückkehren sollte, theilte er uns brieflich mit, dass Herr Dr. Reinsch als derzeitiger Bakteriologe des Altonaer Wasserwerks mit aller Vorsicht Proben entnommen habe. Hiernach enthielt „der Sand in der Sandgrube, unberührt, an der Arbeitsstätte gewonnen“:

[1]) Schilling's Journ. f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1893, Nr. 9.

in Tiefe von m:	0,25	0,50	2,00	3,50	4,50	6,50
im ccm Bakterien:	6442	7060	50	0	0	0

Kümmel fügt bezüglich seines früheren Ausspruches noch hinzu, dass „vielleicht die Wand, aus welcher sich bei 90 bis 100 cm seitlicher Tiefe 8000 Keime ergeben hatten, länger gestanden hat als jetzt“.

Wenn bei so verschiedenen Bodenarten, wie Sand, Sand mit Torf und Thon mit Kalk an verschiedenen Orten schon in geringer Tiefe die Bakterien fehlen, so darf man annehmen, dass im Allgemeinen der Boden in seinen tieferen Schichten ebenso wie das dort stehende Wasser keimfrei ist.

Den directen Beweis für die Keimfreiheit des Berliner Grundwassers lieferte C. Fränkel[1]). Er schüttete in das Rohr eines im Ganzen etwa 8 m langen, 4 cm weiten, 4,5 m tief im Grundwasser stehenden Rohrbrunnens etwa 10 Liter einer 4procentigen Schwefelsäurecarbollösung und fand am folgenden Tage keimfreies Wasser. Die Carbolsäure, nachgewiesen durch Eisenchlorid, verschwand schon, nachdem 100 Liter Wasser ausgepumpt waren. Der Brunnen blieb sechs Tage völlig keimfrei; von oben her drangen dann wieder Bakterien ein. Der mehrere Male wiederholte Versuch gab stets dasselbe Resultat. Um zu erweisen, dass nicht das desinficirte Erdreich in der Umgebung des Pumpensaugers die im Grundwasser befindlichen Bakterien abfiltrire, sondern dass das Pumpenrohr die Quelle für das Wiederauftreten der Bakterien sei, wurde zunächst das Pumpenrohr in der vorher angegebenen Weise sterilisirt; als dann nach einigen Tagen wieder Bakterien in dem abgepumpten Wasser auftraten, wurde das Rohr und die Pumpe nur mit einer Bürste eine halbe Stunde lang kräftig gesäubert. Das nun ausgepumpte erste Liter Wasser enthielt in 1 ccm unzählige, das hundertste Liter 780, das fünfhundertste keine Bakterien mehr; für die nächsten vier Tage blieb das Wasser keimfrei. Die mechanische Reinigung des Rohres hatte also genügt, um den Bakteriengehalt wieder auf 0 herabzudrücken, ein Beweis, dass nicht die Bodenfiltration ungenügend geworden war, sondern dass die Communication des Rohres mit der Aussenwelt das Eindringen von Mikroorganismen veranlasst hatte. Das keimfreie Wasser aus dem desinficirten Brunnen gestattete das Bakterienwachsthum, was durch Einsaat bewiesen werden konnte; ebenso wurde constatirt, dass die Spur Carbolsäure, welche viel-

[1]) Zeitschr. f. Hygiene 6, 23.

leicht noch vorhanden war, das Wachsthum auf den Culturplatten nicht hinderte. Die Versuche sind also völlig einwandsfrei.

Ein gleiches Resultat erhielten Fränkel[1]) und Proskauer bei Untersuchung des Grundwassers des Charitékrankenhauses in Berlin. Der Boden besteht dort in seinen oberen Schichten aus schlammigem Sand mit Torfeinlagerungen. Das Wasser war chemisch schlecht, enthielt Ammoniak u. s. w.

Bohrloch C. V. 6 m tief:
(C.-D. = Carboldesinfection, C.-R. = Carbolreaction.)

Die Probe entstammt dem:	8./9. 1889	9./9. 1889	10./9. 1889	11./9. 1889	12. bis 17./9. 1889
1. Liter	unzählig	0 C.-R.	0 C.-R.	0 C.-R.	in dieser Zeit keine C.-R.
100. „	600	0 C.-R.	0 C.-R.	0 keine C.-R.	und
500. „	108 C.-D.	0 C.-R.	0 C.-R.	0 keine C.-R.	niemals Bakterien

Auch auf dem sogen. alten Charitékirchhofe trat das Grundwasser keimfrei in die 6 m tief eingetriebenen Rohrbrunnen hinein.

In einer Streitsache wurde ein Brunnen beschuldigt, für eine Stadtversorgung schlecht filtrirtes Flusswasser zu liefern. Wir schlugen dicht neben dem Brunnen 11 m vom Flusse entfernt ein Rohr ein, bis zu 7,5 m Tiefe, der Brunnensohle, desinficirten und fanden völlig keimfreies Wasser.

Die Desinfection einer Pumpe und eines in grobem Kies stehenden Rohres ist übrigens nicht immer leicht. Aeltere Pumpen werden am besten aus einander genommen, gründlichst mechanisch gereinigt, mit neuen Lederventilen versehen, und dann desinficirt. Steht das Rohr in grobem Kies, so sinkt die Desinfectionsflüssigkeit sofort weg. Das Rohr ist dann durch Ausbürsten (Lampencylinderreiniger) mit starker Carbolsäure zu desinficiren. Neu eingeschlagene Brunnen werden auch desshalb öfter kein ganz keimfreies Wasser geben, weil man nicht alle Löcher des Saugers sicher desinficiren kann. Als Reagens auf Carbolsäure sei das Bromwasser (*aq. bromata* der Pharmakopöe) empfohlen, welches noch 1 Theil Carbol auf 50 000 Theile Wasser angiebt.

Für diese Versuche, wo es darauf ankommt, möglichst jeden zufälligen Keim abzuhalten, eignet sich die Rollröhrchenmethode v. Esmarch's besser als die Platten- oder Schalenmethode.

Als Grund der Pilzfreiheit muss die Filtration durch den Boden angesehen werden. Was diese zu leisten vermag,

[1]) Zeitschr. f. Hygiene 11, 1 u. 79.

zeigen die Ergebnisse der Sandfiltration, wie solche bei den modernen See- oder Flusswasserversorgungsanlagen angewendet zu werden pflegt.

Ehe wir auf die Theorie der Filtration eingehen, wollen wir einige Resultate gut angelegter und sorgfältig in Betrieb gehaltener Filteranlagen vorführen, um zu zeigen, wie das auf die Filter gebrachte Wasser in seinem Keimgehalt von dem das Filter verlassenden Wasser abweicht.

Lehrreich sind in dieser Beziehung die Reihen von Werthen, welche Wolffhügel bei einer systematischen Untersuchung des Wassers der Berliner Wasserwerke ermittelt hat:

Wirkung des Tegeler Filters Nr. IX.

Datum	Keimzahl im		Datum	Keimzahl im	
	unfiltrirten Wasser	filtrirten Wasser		unfiltrirten Wasser	filtrirten Wasser
Septbr. 30.	5760	168	October 15.	728	26
October 1.	1344	82	„ 16.	301	23
„ 2.	1336	76	„ 17.	742	28
„ 3.	1925	60	„ 18.	3728	24
„ 4.	1799	41	„ 19.	595	13
„ 5.	3508	21	„ 20.	638	62
„ 6.	2163	15	„ 21.	8113	141
„ 7.	696	12	„ 22.	344	13
„ 8.	910	19	„ 23.	346	70
„ 9.	976	19	„ 24.	235	22
„ 10.	1048	26	„ 25.	1272	35
„ 11.	1656	19	„ 26.	304	22
„ 12.	1064	12	„ 27.	378	?
„ 13.	1530	18	„ 28.	82	15
„ 14.	1533	9	„ 29.	280	34

Siehe auch die Resultate der Filtration S. 486, sowie S. 548; das dort angegebene Wasser des Hauses Wilhelmstrasse Nr. 75 stammt von dem Wasserwerk Tegel.

Bertschinger[1]) giebt für die gut construirten, sehr reines Seewasser als Rohmaterial verwendenden Filter Zürichs folgende Zahlen:

[1]) Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1889, 24. Jahrg., Heft 2.

Datum	Betriebs-dauer in Tagen	Unfiltrirt	Filtrirt	Datum	Betriebs-dauer in Tagen	Unfiltrirt	Filtrirt
27. Juni	31	146	1	1. Aug.	27	151	16
5. Juli	1	140	16	4. „	30	274	12
7. „	3	99	22	18. „	44	154	19
11. „	7	72	12	25. „	3	80	39
21. „	17	41	5	15. Sept.	24	277	16

Kümmel[1]) berichtet aus Altona, dass in den Jahren 1891 und 1892 die Keimzahl im Rohwasser der Elbe durchschnittlich zwischen etwa 2000 und 20 000 mit Steigerungen bis auf 246 000 geschwankt habe; bei den wöchentlich ausgeführten Untersuchungen des Reinwassers sei die Zahl 100 niemals erreicht worden, sehr häufig sei die Menge der Bakterien im Cubikcentimeter unter 10 geblieben, Zahlen unter 20 seien die Regel gewesen, 50 bis 70 Bakterien im Cubikcentimeter hätten zu den Seltenheiten gehört.

Im Jahre 1887 wurden die neuen Sandfilter in Warschau vollendet. Ihre Leistungsfähigkeit ergiebt sich aus den folgenden Zahlen:

1888	Unfiltrirtes Wasser	Filtrirtes Wasser	1888	Unfiltrirtes Wasser	Filtrirtes Wasser
Januar	480	25	Juli	360	38
Februar	2200	32	August	1300	270
März	1500	50	September	150	39
April	1250	57	October	7700	17
Mai	165	60	November	320	30
Juni	66	12	December	2900	241

Die hier erwähnten Sandfilter bestehen in ihren unteren Partien aus etwa faustdicken Steinen, dann folgt nach oben hin eine Lage kleinerer Steine, dann grober Kies und feiner Kies, darauf liegt grober Sand in 5 cm dicker Lage, und auf diesem als oberste Schicht eine 60 bis 120 cm starke Lage feineren, scharfen Sandes. Das zu filtrirende Wasser durchdringt die Schichten von oben nach unten. Soll ein Filter in Benutzung gezogen werden, so wird es zuerst von unten her bis zu der obersten Sandschicht mit reinem Wasser gefüllt, sodann lässt man von oben her langsam das unreine Wasser zufliessen.

[1]) Schilling's Journ. f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1893, Nr. 9.

Letzteres bleibt je nach der Art des Rohwassers 6 bis 24 Stunden auf dem Filter stehen, damit sich die Sinkstoffe auf der obersten Lage des Sandes als dünne, sehr feinporige Schicht niederlassen. Erst nach Bildung dieser Schicht lässt man das Wasser mit einer Schnelligkeit, die gewöhnlich 100 mm pro Stunde nicht übersteigt, durch das Filter dringen. Hierbei nimmt allmählich die Schlammschicht an Stärke und Dichtigkeit zu; sie wird zuweilen schon nach wenigen Tagen so undurchlässig, dass die Menge des filtrirten Wassers sehr erheblich abnimmt. Man muss dann die Schlammlage entfernen, da man nicht gern über einen Druck von 75 mm Wasser hinausgeht, um nicht die Filterschichten an einer nachgiebigen Stelle zu durchbrechen.

Die hauptsächliche Filtrationsarbeit wird von der Schlammschicht geleistet. Gerade so, wie die Steine als Unterlage für den Kies, und dieser für den Sand dient, so bildet der Sand ein Substrat für jene Schlammdecke, in welcher die Bakterien abgefangen werden.

Wenn auch diese Ansicht sich im Allgemeinen als richtig erwiesen hat, so muss dieselbe doch nach den Untersuchungen Piefke's etwas modificirt werden. Piefke[1]) construirte sich ein kleines Filter, füllte es mit sterilisirtem Sand und setzte es in der gewöhnlichen Weise in Betrieb; es zeigte sich, dass die Filterwirkung, was die Keimdichtigkeit anging, unter Null war, dass sich im Filtrat oft mehr Bakterien als in dem zu filtrirenden Wasser vorfanden.

Datum	Colonien vor der Filtration	Colonien nach der Filtration
am 2. Tage	13 500	97 900
„ 4. „	11 700	35 300
„ 6. „	13 860	205 000
„ 8. „	5 110	37 820
„ 10. „	3 120	17 825
„ 12. „	1 320	29 900
„ 16. „	1 803	4 928
„ 18. „	3 154	2 555
„ 22. „	1 120	2 356

Ist ein Filter längere Zeit im Gebrauch gewesen, so liegen die eigentlichen Schmutzstoffe auf der obersten Schicht. Der Sand hat in 1, höchstens 2 cm Tiefe seine ursprüngliche Farbe behalten,

[1]) Die Principien der Reinwassergewinnung vermittelst Filtration. Berlin, Springer, 1887.

jedoch an „Schärfe“ verloren und fühlt sich bis unten hin „schleimig“ an. Das Mikroskop erweist, dass dieser Schleim zum grössten Theil aus Bakterien besteht, und die Cultur zeigt, dass Mikroorganismen in grosser Zahl die sämmtlichen Schichten des Filters bevölkern. In einem Kilo Sand der Stralauer Filter befanden sich an der Filteroberfläche 5028 Millionen Bakterien, etwa 2 cm tiefer 734 Millionen, in 10 cm 190 Millionen, in 20 cm 150 Millionen, in 30 cm 92 Millionen und in dem feinen Kies unter der Sandschicht noch 68 Millionen.

Kümmel[1]-Altona fand an der Oberfläche des Filtersandes 4 Millionen, in 10 mm Tiefe 1 Million, in 50 mm Tiefe 756 000, in 250 mm 98 500, in 500 mm 56 000 Mikroorganismen in je einem Cubikcentimeter des Sandes, der Kies enthielt im Cubikcentimeter 24 800 Mikroben.

Diese von Piefke und Kümmel erbrachten Zahlen im Verein mit den Ergebnissen der mit sterilisirtem Sand angestellten Versuche beweisen, dass zwar die oberste Schlammschicht den grössten Einfluss hat, dass aber zu einer guten Filtration auch die Anwesenheit von Mikroorganismen im Sand selbst erforderlich ist.

Wird ein Filter in Betrieb gesetzt, so finden sich darin bereits Bakterien oder sie gelangen mit dem Filterwasser hinein. Ein Theil derselben wird durchgerissen, ein anderer Theil bleibt im Sand und vermehrt sich dort, wie aus dem Versuch mit dem sterilisirten Filter folgt. Die Bakterien legen sich den Sandkörnchen an und bewirken die erwähnte Verschleimung des Filters. Die festhaftenden Bakterien, welche besonders in den oberflächlichsten Schichten sich befinden, dienen dann als ebenso viele „Aufhängepunkte“ für diejenigen Mikroorganismen, welche nicht in der „Schlammschicht“ liegen geblieben sind. Man darf aber nicht annehmen, dass die Bakterien, welche sich im Sand finden, so zahlreich seien, dass sie die einzelnen Poren mit „Bakterienhäuten“ auszukleiden vermöchten, dazu sind ihrer viel zu wenig vorhanden. Piefke fand in 1 kg des oberflächlichsten Sandes einschliesslich der Schleimschicht 5026 Millionen Mikroorganismen. Rechnet man das Kilo Sand nach den Bestimmungen von Renk, Hofmann und Anderen zu etwa 666 ccm, so finden sich im Cubikcentimeter gegen $7^1/_2$ Millionen Keime. Die Körnchen eines Cubikmeters Sand von der Korngrösse, welche für die Filteranlagen verwendet wird, haben nach Hofmann eine Oberfläche von 6000 bis 9000, im Durchschnitt von 7500 qm. 1 ccm Sand bietet daher eine

[1]) Schilling's Journ. f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1893, Nr. 9.

Oberfläche von 75 qcm dar. Rechnen wir ferner die Hälfte dieser Flächen als Berührungsflächen, so bleiben immerhin noch $37^1/_2$ qcm übrig, für welche $7^1/_2$ Millionen Bakterien disponibel sind; das heisst, es kommen auf 1 qcm Fläche in den obersten Schichten 200 000 Bakterien. Wenn jeder Mikroorganismus ein Mikron lang und ein Mikron breit ist, so würden die 200 000 Bakterien, sofern eine neben der anderen, keine über der anderen liegt, eine Fläche von $^2/_{10}$ qmm ausfüllen, d. h. es würde von dem ganzen zur Verfügung stehenden Raume nur $^1/_{500}$ mit Bakterien bedeckt sein. In den unteren Sandschichten ist der Keimgehalt und dem entsprechend die von den Bakterien bedeckte Fläche viel geringer. Von einer Auskleidung der Poren mit lebenden normalen Mikroorganismen kann daher keine Rede sein.

Trotz der geringen Fläche, welche die normalen Bakterien in den untersten Sand- und auch in den Kiesschichten bedecken, ist die „Verschleimung" sogar durch den Tastsinn wahrnehmbar. Möglicherweise wird die Erscheinung dadurch bewirkt, dass der obere Theil der Zellhaut der Bakterien unter der Einwirkung des stets von Neuem andrängenden Wassers in eine Schleimhülle von relativ grossem Umfange verwandelt wird. Auch kann man sich vorstellen, dass die Mikroorganismen im Filter nicht lange lebendig bleiben, dass sie sich zwar vermehren, aber nach der Vermehrung bald absterben und nach dem Tode nicht direct fortgerissen werden, sondern zu schleimigen Massen aufquellen.

Die Schleimbildung, welche hier erwähnt wird, ist von Schottelius[1]) für den lebenden und abgestorbenen *Mikrokokkus prodigiosus* nachgewiesen worden.

Ob eine dieser Annahmen, event. welche die richtige ist, muss die Zukunft lehren. Jedenfalls ist die „Verschleimung" des Filters insofern günstig, als sie bewirkt, dass viele Bakterien, welche die oberste Schlammschicht passirt haben, im Filter selbst abgefangen werden.

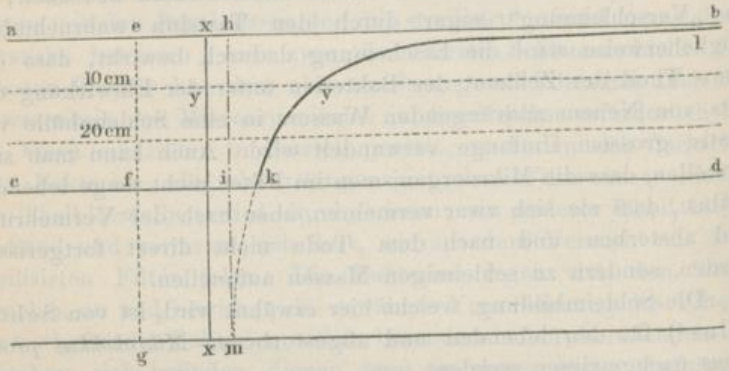
Bezüglich der Vertheilung der Organismen in dem Sande giebt Piefke folgendes Diagramm (Fig. 30).

„In dieser Figur bedeuten die Linien *ab* und *cd* die obere und die untere Begrenzung einer im Filterbassin liegenden Sandschicht von der Dicke *ef* (= 300 mm). Denkt man sich über einer mit *ef* parallelen Linie *xx* als Abscissenaxe die allen Zonen innewohnenden Mengen niederer Organismen entsprechend den vorstehend

[1]) Biologische Untersuchungen über den *Mikrokokkus prodigiosus*. Festschrift für A. v. Kölliker, Leipzig 1887.

angeführten Ermittelungen durch die Ordinaten *y y* ausgedrückt, so erhält man bei Verbindung von deren Endpunkten für frisch eingefülltes, direct von der Sandwäsche zugeführtes Material, welches immer noch 60 Millionen Keime pro Kilo enthält, die gerade Linie *h i*, für längere Zeit schon gebrauchtes aber die Curve *k l*, welche, wenn die Schicht die Dicke *e g* (= 600 mm) hätte, nach unten die punktirte Fortsetzung *k m* erhalten würde. Angesichts dieses Bildes ist es nicht mehr befremdend, dass ein mit frischem Sande zubereitetes Filter zuerst sehr unvollkommen arbeitet. Es ist auch sofort einleuchtend, dass die particuläre Insufficienz nicht eher ihr Ende erreicht, als bis der Uebergang aus dem durch die Linie *h i* charakterisirten Anfangszustande in einen der Curve *k y l* annähernd entsprechenden Zustand stattgefunden hat."

Fig. 30.



„Aus[1]) der Abweichung der Curve *b y k m* von der geraden Linie *h m* regeln sich die in den einzelnen Zonen mit der Zeit eingetretenen Veränderungen des Bakteriengehaltes." Da es erwünscht ist, die unteren Schichten des Filters nicht zu keimhaltig zu bekommen, weil sonst aus ihnen zu viel Bakterien in das Filtrat übergehen, so muss die Curve *b y k m* in ihrem Endpunkte der Linie *h m* nahe liegen, und desshalb darf die Schicht feinen Sandes nicht zu dünn genommen werden; man lässt dieselbe nicht schwächer als 30 cm werden.

Auch auf die Oxydation der organischen Substanz wirkt das Filter ein, und zwar durch die Zerlegungen, welche von den Bakterien ausgeübt werden. Piefke fand, dass in den Stralauer Filtern der Verbrauch an Kalipermanganat durch die Filtration

[1]) Piefke, Aphorismen über Wasserversorgung. Zeitschr. f. Hygiene 7, 115.

von 23,0 mgr für ein Liter auf 19,0 mgr sank. Die Zerlegung fand hauptsächlich in den oberen Filterpartien statt; eine Verstärkung der filtrirenden Sandschicht übte keinen wesentlichen Einfluss aus.

Bis vor Kurzem huldigte man fast allgemein der Ansicht, dass bei einem gut angelegten und gut verwalteten Sandfilter alle aufgebrachten Bakterien zurückgehalten würden, und dass die Mikroben, welche in dem Filtrat erschienen, aus den untersten Filterschichten ausgewaschen würden. Diese Auffassung hat sich als unberechtigt erwiesen.

Anlässlich einer Typhusepidemie, welche im Jahre 1889 die von dem Stralauer Wasserwerke versorgten Bezirke der Stadt Berlin betraf, prüften C. Fränkel und Piefke[1]), ob denn wirklich die Sandfilter — vielleicht mit Ausnahme des Beginnes der Filterperiode — alle Bakterien zurückhielten.

Zu dem Zwecke füllten sie zwei Holzfässer in der Weise, wie die grossen Sandfilter gefüllt werden, und filtrirten in gleichmässigem Strome das eine Mal mit 300 mm, das andere Mal mit 50 mm stündlicher Geschwindigkeit Wasser hindurch, welchem sie grosse Mengen des *Bac. violaceus* zugesetzt hatten, eines im Wasser vorkommenden, sich durch seine Farbe und somit leichte Kenntlichkeit auszeichnenden Mikroben.

In beiden Fällen waren während der ganzen Zeit des Versuches die eingesäeten Bacillen im Filtrate nachweisbar. Da aber möglicherweise sich die pathogenen Keime, Typhus und Cholera, anders verhalten konnten, so stellten die Forscher auch mit diesen Mikroorganismen Versuche an. Die erhaltenen Resultate eines derselben zeigt die Tabelle auf folgender Seite.

Aus der Gesammtzahl ihrer Versuche folgern die Autoren: „Die Sandfilter sind keine keimdicht arbeitenden Apparate; weder die gewöhnlichen Wasserbakterien, noch auch Typhus- und Cholerabacillen werden von denselben mit Sicherheit zurückgehalten. Die Menge der in das Filtrat übergehenden Mikroorganismen ist abhängig von der Anzahl der im unfiltrirten Wasser vorhandenen und von der Schnelligkeit der Filtration; Anfang und Ende einer jeden Periode sind besonders gefährliche Zeiten, weil im ersteren Falle die Filter noch nicht ihre volle Leistungsfähigkeit erlangt haben, im letzteren die Pressung der oberflächlichen Filterschichten, vielleicht auch das selbstständige Durchwachsen der Bakterien durch diese, ein Abwärtssteigen der Mikroorganismen begünstigen".

[1]) Zeitschrift für Hygiene 8, 1.

August 1889	Unfiltrirtes Wasser	Filtrirtes Wasser aus Filter *A* stündl. Filtrirgeschwindigkeit = 300 mm tägl. filtrirte Wassermenge = 2880 Liter					Filtrirtes Wasser aus Filter *B* stündl. Filtrirgeschwindigkeit = 50 mm tägl. filtrirte Wassermenge = 480 Liter				
		1 ccm enthielt entwickelungsfähige Keime von				verbrauchter Druck	1 ccm enthielt entwickelungsfähige Keime von				verbrauchter Druck
		insges.	viol.	typh.	chol.		insges.	viol.	typh.	chol.	
						mm					mm
13.	1 ccm enthielt 100 000 entwickelungsfähige Keime von violetten, Typhus-, Cholera-, Milzbrand- und saprophytischen Bacillen.	220	—	—	—	140	—	—	—	—	34
14.		3500	58	9	14	147	420	4	—	—	35
15.		1120	60	9	—	179	190	5	4	—	37
16.		430	8	3	1	210	92	10	1	—	42
17.		290	38	14	18	245	220	1	3	2	43
18.		480	50	15	9	300	43	6	—	—	47
19.		110	22	14	56	360	63	1	3	—	53
20.		120	20	14	12	425	42	0	4	—	68
21.		620	16	58	6	505	92	0	0	—	74
22.		290	8	10	2	638	102	0	1	—	79
23.		210	6	4	6	806	43	3	0	1	87
24.		1300	2	4	—	973	100	1	1	—	105

Die Ergebnisse der beiden Forscher wurden stark angezweifelt, vor Allem desshalb, weil die Versuche mit einer Holztonne gemacht waren, die im Verhältniss zur Oberfläche eine sehr grosse Umgrenzungsfläche hatte; dort, wo der Sand dem Holz sich anlehnt, sollten grössere Zwischenräume entstehen und die Bakterien hindurchrutschen. Piefke zerstreute alle Einwürfe dadurch, dass er ein *lege artis* gebautes und betriebenes Sandfilter von 37,5 qm Fläche mit einer solchen Anzahl von violetten Bacillen überschüttete, dass sie sich der Annahme nach in jedem Cubikcentimeter des Filtrates finden mussten, sofern überhaupt die an dem Fassfilter gewonnenen Resultate auf das regelrecht construirte Sandfilter übertragbar waren. Der Wichtigkeit dieser Versuche wegen möge einer hier ausführlich wiedergegeben werden. Piefke[1]) züchtete in 172 Litern Bouillon 16 873 200 Millionen violette Bacillen, setzte stündlich 1 Liter seiner Bouillon mit 98 100 Mill. dem Rohwasser zu und untersuchte dann dreistündlich Tag und Nacht hindurch das Filtrat durch Plattenculturen auf seinen Gehalt an Mikroorganismen und an violetten Bacillen. Am 13. November Nachts 3 Uhr war der Vorrath erschöpft, 5 Stunden später waren die letzten violetten Bacillen aus dem Wasser verschwunden. Die Filtrationsgeschwindigkeit betrug 49 mm, die gelieferte Reinwassermenge 1,837 cbm in der Stunde.

Violette Bacillen fanden sich im Cubikcentimeter des filtrirten Wassers

Uhrzeit:	3	6	9	12	3	6	9	12	Mittel
5. Novbr.	—	0	2	185	27	104	340	17	113
6. „	8	11	19	10	34	35	63	12	24
7. „	5	11	31	11	3	22	18	15	15
8. „	12	13	7	4	62	210	51	1	45
9. „	6	0	22	4	6	27	27	11	13
10. „	7	0	2	2	0	1	2	0	2
11. „	1	3	3	6	10	155	85	97	45
12. „	14	67	13	9	23	83	48	23	35
13. „	9*)	8	5	2	1	1	0	0	3
14. „	0	0	0	0	0	0	0	1	—

*) Letzte Auffüllung von Bacillen.

Ein Cubikcentimeter Rohwasser enthielt hiernach 43 700, ein Cubikcentimeter Filtratwasser 30 violette Bacillen, d. h. für die ganze Dauer des Versuches drang von 1457 Keimen einer durch

[1]) Piefke, Schilling's Journal 1891. Neuere Ermittelungen über die Sandfiltration.

das Filter hindurch. Dieses Reductionsverhältniss war indessen in den einzelnen Tagen sehr verschieden; es betrug am 1. Tage $^1/_{380}$, 2. Tage $^1/_{1825}$, 3. Tage $^1/_{2913}$, 4. Tage $^1/_{971}$, 5. Tage $^1/_{3361}$, 6. Tage $^1/_{21850}$, 7. Tage $^1/_{971}$, 8. Tage $^1/_{1250}$, 9. Tage $^1/_{14560}$. Die Schwankungen müssen mit Störungen im Filterbetriebe zusammenhängen, denn immer ging die Curve der durchgedrungenen violetten Bacillen parallel mit der Curve der überhaupt durchgedrungenen Bacillen.

Kabrhel[1]) in Prag prüfte die Versuche von Piefke und Fränkel nach und kam zu gleichen Resultaten; nur war sein Filtrationseffect, d. h. das Verhältniss der in das Rohwasser gebrachten rothen Bacillen zu den im Reinwasser gefundenen ein besseres. In seinen vier Filterperioden kam ein durchgegangener Bacillus auf 2542, 3125, 7500 und 7142 eingebrachte Bacillen; auch fand er noch 57 Stunden nach Aufhören des Versuches rothe Bacillen im Filtrat.

Nach solchen Resultaten darf man nicht mehr daran zweifeln, dass Bakterien durch ein Sandfilter hindurchzudringen vermögen. Man hat hiergegen geltend gemacht, dass nicht immer der Anstieg bezw. die Abnahme der Bacillen im Rohwasser eine Vermehrung bezw. Verminderung im Filtrat bedinge. Die Thatsache ist richtig für den Beginn und das Ende der Filtrationsperiode eines Filters und ferner dann, wenn die Zahl der Bakterien im Rohwasser überhaupt nicht sehr gross ist. Weiter ist zu berücksichtigen, dass immer eine grosse Zahl der im Filtrat vorkommenden Bakterien den unteren Theilen des Filters entstammt, wie Reinsch[2]) ziffernmässig nachgewiesen hat; auch ihre Zahl schwankt und verdeckt häufig den Einfluss der Verschiedenheit des Rohwassers.

Da man die Zahl der aus den untersten Filterschichten losgelösten Bakterien nicht kennt, ist es unrichtig, zu sagen: da 1000 Bakterien auf das Filter gebracht sind und im Filtrat 100 gefunden werden, so sind 900, d. h. 90 Proc. zurückgehalten; die Zahl 100 setzt sich aus zwei unbekannten Componenten zusammen, den durchgedrungenen und den aus den unteren Filterschichten losgespülten Bakterien.

Von Einfluss auf die Durchlässigkeit ist zunächst die Beschaffenheit der obersten Schlammschicht, der eigentlichen filtrirenden Decke. Wenn wegen ungenügender quantitativer Leistung diese Schlammschicht und die keimreichsten obersten Sandlagen bis etwa zu 2 cm Dicke entfernt sind, wird es erst einer kurzen

[1]) Experimentelle Studien über Sandfiltration. Archiv f. Hygiene 1895. 22, 323.

[2]) Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde. 1894. 2.

Ruhe des mit unreinem Wasser beschickten Filters und eines sehr vorsichtigen Beginnes der Filtration bedürfen, um die Schliessung der groben Poren durch den sich auflagernden feinen Schlamm zu erlangen; anderen Falles wird durch das „wunde" Filter eine grössere Anzahl Bakterien hindurchgerissen. Bei der grossen Menge der sich absetzenden Mikroben, der Dichtheit der feinen Schlammschicht und dem bereits bestehenden Keimreichthum der obersten Sandlagen genügt eine kurze Zeit — für die Berliner Anlagen 24 Stunden —, um das Filter wieder leistungsfähig zu machen, die erzeugte oberflächliche Wunde verheilen zu lassen; aber erst nach 48 bis 72 Stunden ist die Normalzahl, d. h. die gewöhnliche Durchschnittszahl der Bakterien im Cubikcentimeter des Filtrates wieder erreicht. In Altona lagert sich aus dem feinen Elbschlamm schon innerhalb eines Tages eine so gut filtrirende Haut ab, dass in 1 ccm des zuerst ablaufenden Wassers (d. h. 20 Stunden nach dem Anlassen des Filters) nach Kümmel's Angabe nur 8, 21 und 19 Bakterien gefunden wurden. Es bestehen also in dieser Beziehung bedeutende locale Verschiedenheiten.

Von Einfluss auf die Durchlässigkeit ist weiter die Schnelligkeit der Filtration; je rascher filtrirt wird, um so mehr Bakterien laufen durch, um so weniger bleiben unterwegs hängen. So selbstverständlich das zu sein scheint, so giebt es doch Ausnahmen von dieser Regel; wenn, wie in Zürich, das Wasser sehr rein ist — so rein wie anderswo oft das filtrirte Wasser nicht ist —, wenn, wie in Altona, eine sehr feinporige erdige Schlammschicht sich dem Sand auflagert, dann kann bis zu einer gewissen Grenze die gesteigerte Filtrationsschnelligkeit ohne Einfluss bleiben. Im Allgemeinen aber bleibt der Satz zu Recht bestehen: Je langsamer filtrirt wird, um so geringer ist die Zahl der unter sonst gleichen Umständen im Filtrat auftretenden Bakterien.

Ferner kommt die Art des Rohwassers in Betracht, je keimreicher dieses ist, um so keimreicher ist auch das Filtrat. Das Streben geht also dahin, mit möglichst reinem Wasser zu arbeiten. Man benutzt hier und da „Klärbassins", von welchen aus das Wasser auf die Filter gelassen wird. Die Wirkung der Bassins auf den Keimgehalt wird verschieden sein müssen je nach der Art der Sinkstoffe, der Jahreszeit und Temperatur, im Allgemeinen aber wird die Bakterienzahl durch die Bassins abgemindert.

Kabrhel (l. c. S. 330) liess bei seinen vorhin erwähnten Versuchen das zu filtrirende Wasser der Moldau 24 Stunden in cementirten Absitzbassins stehen und fand in 1 Cubikcentimeter Wasser Bakterien:

Sofort	Nach 24 Stunden	Sofort	Nach 24 Stunden	Sofort	Nach 24 Stunden
117	70	20 142	5244	10 597	5410
2382	2276	1 596	1168	10 370	5410
1030	990	1 785	1184	410	164
1105	998	1 134	743	98	97
1038	854	1 954	802	1 650	862
1080	1026	781	844	2 325	750
3007	2228	1 047	791	2 072	947
1183	8929	858	883		

Die Verminderung der Keimzahl war um so erheblicher, je unreiner, je getrübter das Rohwasser war. Mit der Sedimentirung der schwebenden Partikel nahm die Zahl der Bakterien ab.

Die Erfahrungen an Sandfiltern lassen sich auf die Bodenverhältnisse übertragen. Der Boden besteht aus kleinen Körnchen, in deren Zwischenräume anorganische und organische Trümmer hineingespült worden sind, welche die Poren ziemlich eng ausfüllen, gewissermaassen eine Schlammdecke darstellen. Ausserdem sind die oberen Lagen des Bodens von Bakterien durchsetzt, obschon auch in diesem Falle von einer Auskleidung der Capillaren mit Mikroorganismen nicht die Rede sein kann. Die höchste uns aus der Literatur bekannt gewordene Zahl (Beumer) von 45 Millionen auf den Cubikcentimeter bedeckt, wenn wir die gleichen Verhältnisse wie bei der Sandfiltration und eine Aneinanderlagerung, nicht Aufeinanderlagerung der einzelnen Keime annehmen, nicht mehr als $^1/_{83}$ des zur Verfügung stehenden Raumes.

Der Vermittler, der Ueberträger der Mikroorganismen im Boden, ist das Wasser, in ihm sind die Organismen suspendirt und mit ihm gehen sie in die Tiefe.

Es kommt also darauf an, zu wissen, wie tief, bezw. wie rasch das Wasser in den Boden einsinkt und in welcher Zeit das Aufschlagwasser die grösseren Bodentiefen oder das Grundwasser, also unser Wasserversorgungsgebiet erreicht. Die darüber bekannten Thatsachen verdanken wir Hofmann[1]).

[1]) Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv für Hygiene 1, 273. Ueber das Eindringen von Verunreinigungen in Boden und Grundwasser. Archiv für Hygiene 2, 145.

Man kann nach Hofmann's Vorgang den Boden in zwei Classen eintheilen, in den „grobporigen“ und den „feinporigen“.

In dem ersteren finden sich weite Hohlräume nicht capillarer Natur und feine Hohlräume, Capillaren. Das Wasser geht die Wege, welche ihm am bequemsten sind, es wird also die weiten Canäle vorziehen und dem entsprechend rasch in die Tiefe niederfliessen. Hofmann konnte schon nach einem Tage die Kochsalzlösung, welche auf reinen Sand von 0,5 bis 1 mm Korngrösse geschüttet war, in 1 m Tiefe nachweisen. Finden sich so weite Canäle, dann müssen die Mikroorganismen gleichfalls in die unteren Bodenschichten dringen. Dieser grobporige Boden scheint jedoch in dicht bewohnten Gegenden nicht sehr häufig zu sein. Die Grösse der Poren richtet sich einerseits nach der Korngrösse, andererseits nach der Art des Materials, welches die weiteren Canäle ausfüllt. Da, wo ursprünglich weite Poren vorhanden waren, ist das Wasser rasch in die Tiefe gesunken, es hat Stoffe aller Art mitgenommen und somit sich selbst allmählich den Weg verlegt. Je enger die Canäle werden, um so feineres Material wird abgefangen, bis zu den feinsten Thonpartikelchen herab, deren Durchmesser nicht einmal $^1/_{10}\,\mu$ gross ist, d. h. von denen 1000 nothwendig sind, um den Raum auszufüllen, welchen eine Bakterie einnimmt. Auf diese Weise wird ursprünglich grossporiger Boden in feinporigen umgewandelt, und für letzteren sind die Verhältnisse ganz andere, soweit das Eindringen des Wassers in Frage kommt.

Bei dem Boden unterscheidet man drei Zonen: 1) die Zone des capillaren Grundwassers, welche sich direct über dem Grundwasser befindet und deren capillare Hohlräume sämmtlich mit Wasser gefüllt sind; 2) die Durchgangszone, d. h. den Bezirk, welcher zwischen den eben erwähnten und dem folgenden liegt und welcher einen bestimmten, der Grösse der Bodencapillaren entsprechenden Wassergehalt hat; und 3) die Verdunstungszone, welche oberflächlich gelegen, bald fast wasserleer, bald mit Wasser gefüllt ist.

Gelangt Wasser auf den Boden, so kann dasselbe nicht eher in die Durchgangszone übertreten, als bis die Capillaren der Verdunstungszone mit Wasser gefüllt sind. Hat es längere Zeit nicht geregnet, so wird es sich häufig ereignen, dass das sämmtliche Wasser, welches die ersten Regen bringen, in der Verdunstungszone bleibt und nichts davon in die Durchgangszone übertritt. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass heftige Regengüsse nur wenige Centimeter tief in die ausgedörrte Erde eindringen. Einer der heftigsten bekannt gewordenen Platzregen ist der am 6. August

1858 in Breslau gefallene; die in $1^1/_2$ Stunden niedergegangene Wassermasse betrug 95 mm. Das Porenvolum des Bodens beträgt etwa 30 Proc., rechnen wir dasselbe auch nur zu 20 Proc., und nehmen wir ferner an, dass alles Wasser in den Boden gedrungen sei, so hätte danach dieser stärkste Regen nur etwa 45 cm tief eindringen können. Die gewöhnlichen Regen können die Mikroorganismen nur wenige Centimeter tief verschleppen.

Sinkt das Regenwasser in die Durchgangszone, so drückt es das unter sich befindliche Wasser vor sich her; hierbei tritt so viel Wasser unten aus der Durchgangszone in das Grundwasser über, als oben aus der Verdunstungszone zufliesst. Um das in der Durchgangszone vorhandene Wasser vollständig verdrängen zu können, muss genau so viel Wasser von oben eindringen, als in den Capillaren der ganzen Durchgangszone steht, als der Wassercapacität des Durchgangsterrains entspricht. Ist letztere 300 kg pro Cubikmeter, d. h. kann 1 cbm Erde 300 kg Wasser aufnehmen — was meistens der Fall ist —, so müssen ebenso viele Liter Wasser oder ebenso viele Millimeter Regenhöhe auf 1 qm Boden fallen, um 1 m tief einzudringen.

Beträgt in einer Gegend, z. B. in Mitteldeutschland, die jährliche Regenhöhe 600 mm, so fallen auf den Quadratmeter 600 Liter Wasser. Enthält der Boden an einer Stelle 30 Proc., an einer anderen 20 Proc. Porenvolum, so würde der zuerst gefallene Regen, wenn nichts abliefe, nichts verdunstete, höchstens 2 bezw. 3 m tief innerhalb eines Jahres eindringen. Rechnet man den Verlust durch Ablaufen und Verdunsten gering, zu $^1/_3$ des Ganzen, so würde das Regenwasser nur bis zu 1,3 bezw. 2 m in der angegebenen Zeit einsinken.

Diese Beispiele, welche sich auf die Hofmann'schen Beobachtungen stützen und Bedingungen voraussetzen, wie sie die Natur nur selten günstiger bieten dürfte, zeigen, wie wenig tief das Wasser und mit ihm die chemischen Verunreinigungen und die Mikroorganismen, selbst wenn wir bezüglich der letzteren von der Bodenfiltration ganz absehen, innerhalb langer Zeiträume in den Untergrund hinabsinken.

Der Werth der Bodenfiltration aber ist hoch anzuschlagen, denn die Bodenfiltration erfolgt unter günstigeren Bedingungen wie die Sandfiltration.

Die feinen und feinsten Erdpartikel verstopfen die Poren und lassen nur wenige Mikroorganismen hindurch. Die in dem Boden vertheilten Bakteriencolonien werden die nicht abgefangenen Mikro-

organismen zurückhalten. Ausserdem ermöglicht das sehr langsame Fliessen des Wassers, welches bei einer Jahresleistung von 2 m den $^1/_{438}$ Theil der Schnelligkeit im Filter (100 mm pro Stunde) beträgt, ein leichtes Niedersinken und Festhaften der Bakterien an den Wänden der Capillaren. Die sehr langsame Vorwärtsbewegung des Wassers in der Erde ist auch der Grund, wesshalb in den grösseren Tiefen unter 1 m, wo der Druck sich mehr ausgeglichen hat, Bakterien von ihrer Unterlage schwer losgerissen und fortgeführt werden.

In feinporigem Boden ist also der Transport von Bakterien durch das Wasser in grössere Tiefen ausgeschlossen.

Gelangen die Spaltpilze durch weitere Canäle in grössere Tiefen, so sind daselbst die Bedingungen für ihre Erhaltung und Vermehrung nicht günstig. Die Ernährungsverhältnisse werden mit zunehmender Tiefe schlechter, weil die organischen Substanzen sowohl die gelösten als auch die Reste organisirter Materie, seltener werden, vor Allem jedoch, weil die Temperatur in den tieferen Bodenschichten eine niedrige, das Wachsthum beschränkende ist, ferner, weil die Grundluft arm an Sauerstoff, reich an Kohlensäure ist, was um so mehr in Betracht kommt, als die anaërobiotischen Bakterien in der Tiefe des Bodens selten sind.

Ein Beweis dafür, dass die Organismen in den unteren Schichten thatsächlich schlechte Existenzbedingungen finden, ist zuerst von C. Fränkel erbracht. In frisch aus 3 bis 4 m Tiefe geholten Erdproben fanden sich nur wenige Mikroorganismen. Blieben die Proben einige Zeit an der Luft liegen, so trat sehr rasch eine starke Vermehrung der Bakterien ein. Diese Beobachtung ist von den verschiedensten Seiten bestätigt worden.

Die unter Umständen auf die Erhaltung der Art gerichtete Sporenbildung scheint im Boden, sofern die unteren Lagen in Betracht kommen, beinahe vollständig zu fehlen.

Tritt in den tiefen Bodenlagen eine ausgiebige Vermehrung der Spaltpilze nicht ein, findet auch eine Sporenbildung nicht statt, so sind die dorthin verschleppten Mikroorganismen, auch wenn sie im Strome des Grundwassers nicht schnell durch eine feinporige Schicht abfiltrirt und festgehalten werden, dem Untergange geweiht, ihr Leben ist ein beschränktes und sie sind nicht geeignet, den Grundsatz ins Wanken zu bringen:

„Die tieferen Bodenschichten und mit ihnen das tiefstehende Grundwasser sind mit wenigen Ausnahmen frei von Mikroorganismen.“

Mit diesem Satz steht scheinbar der Befund im Widerspruch, dass in den meisten Quellen und Brunnen Bakterien vorhanden sind.

Die Hauptquelle für Mikroorganismen der erwähnten Wässer sind die keimreichen oberen Schichten des Bodens und der Erdoberfläche; überall dort, wo diese mit dem Wasser in Berührung kommen, muss ein Uebergang von Spaltpilzen in das Wasser statthaben.

Die Berührung selbst kann zweierlei Art sein. Die erste ist die folgende: das Grund- und Quellwasser steht verhältnissmässig tief unter den oberen, keimführenden Erdschichten, erhält jedoch durch weite Canäle von oben her Zuflüsse in kurzer Zeit und in unfiltrirtem Zustande. Solche Canäle werden gebildet durch die die Capillarweite übersteigenden Zwischenräume zwischen den einzelnen Theilen des grobporigen Bodens, durch Spalten und Risse in den Schichten des Gesteins, durch die von Thieren gegrabenen Gänge und durch die mit undichten Wandungen versehenen Brunnenkessel und Quellstuben selbst.

Das Wasser fliesst naturgemäss dahin, wo es den geringsten Widerstand findet, also nach den weiten, offenen Canälen. Einen undicht gemauerten Brunnenkessel hat man sich vorzustellen als ein senkrecht in die Erde gestelltes Drainrohr, in welches das in den umgebenden oberen Bodenschichten befindliche Wasser hineinfliesst. Das Zuflussterrain hat die Gestalt eines oben weiten, unten engen Trichters. Die Menge des aus den oberen Partien zufliessenden Wassers richtet sich nach der Menge des Aufschlagwassers und der Bodenart. Das Aufschlagwasser wird in der Umgebung von Brunnen durch das Ausgusswasser wesentlich vermehrt. Daraus folgt, dass für guten Abfluss und möglichst dichten Bodenabschluss durch gute Pflasterung u. s. w. in der Nähe des Brunnens zu sorgen ist. Die Bodenart ist von Einfluss, da um so mehr keimhaltiges Wasser in den Brunnen gelangen kann, je mehr Wasser von dem Boden in der nächsten Umgebung des Brunnens aufgenommen, je weniger festgehalten zu werden vermag.

Ausser von dem Boden können auch von Schmutzstätten her Bakterien in die Brunnen gelangen. Als derartige Schmutzstätten sind anzusehen: an der Erdoberfläche stehende Tümpel von Jauche, Waschwasser, Regenwasser, undichte Abortgruben, schlechte Canäle, Sickerlöcher u. s. w. Man findet bei Durchsicht der Angaben über den Keimgehalt der Brunnen oft die Notiz: „nahe bei einer Dunggrube etc.“, und relativ häufig ist dann die Bakterienzahl eine hohe. — Bei grobporigem Boden gelangen die Mikroorganismen leicht und rasch von der verunreinigten Stelle

mit dem Sickerwasser in den Brunnen, bei feinporigem Boden werden sie jedoch bald zurückgehalten, wenn nicht kleine Rinnsale die Communication vermitteln. Man muss sich die Entstehung dieser Rinnen so denken, dass an der Brunnenseite, wo das aussickernde Wasser keinen Gegendruck mehr findet, Sand- und Erdtheilchen losgerissen werden. Alsdann findet ein langsames Abbröckeln in der Richtung zur Grube hin statt, und so vertiefen sich allmählich diese Canäle. Durch Insecten und andere Thiere hergestellte Gänge können den Vorgang beschleunigen.

Einige Beispiele, bei welchen die Möglichkeit einer Brunnenverunreinigung in der soeben angedeuteten Weise nicht ohne Weiteres von der Hand zu weisen ist, erwähnt Moers aus Mülheim. Der Brunnen vom Cöln-Mindener Bahnhof in Mülheim hatte durchschnittlich 6800 Bakterien; er ist in „allernächster Nähe der Kothgrube gelegen, sein Wasser sah trübe, bläulich opalescirend aus". Ein anderer Brunnen mit durchschnittlich 3320 Bakterien im Cubikcentimeter liegt nur einen Fuss von der „Vorsenke", d. h. einem Schlammloche, in welchem die gröberen und schwereren suspendirten Substanzen sich absetzen, bevor das Schmutzwasser in die Schlinggrube oder das Sickerloch abläuft. Die übrigen untersuchten Brunnen Mülheims führten durchschnittlich nur 80, 96, 178, 628, 1045, 1792, 162, 141 Mikroorganismen im Cubikcentimeter.

Auch Bokorny führt an, dass die vier öffentlichen Brunnen von Kaiserslautern, welche unzählige (d. h. über 100 000) Bakterien im Cubikcentimeter Wasser enthielten, dicht zusammen auf demselben verunreinigten Terrain liegen. Die übrigen Brunnen enthielten zwischen 0 und 2500 Spaltpilze.

Aber nicht allein die Brunnen, auch die Quellen können durch weite Communicationen mit der Erdoberfläche und den obersten Bodenschichten verunreinigt werden. Beispiele dieser Art sind schon S. 494 angeführt. Nur zwei weitere mögen hier Platz finden. Thoinot[1]) fand, dass die Quelle zu Sanvic, welche am Ende eines 80 m langen verschlossenen Tunnels entspringt und welche dort mit einer 20 bis 25 m dicken Schicht Kreide bedeckt ist, zwischen 42 und 470 Bakterien, und zwar in drei verschiedenen Arten enthält. Die Stadt Soest schöpft ihren Wasserbedarf, 2000 cbm täglich, aus einem 17 m tiefen, in ein 0,40 cm weites Bohrloch auslaufenden Brunnen. Das Wasser dringt theilweise in so mächtigem Strome an, dass es überfliesst und in einen Bach

[1]) Annales de l'Institut Pasteur 1889, p. 145.

abgeleitet werden muss, von einer Ansammlung von Schlamm in dem Bohrloche, von einem Stagniren des Wassers kann also keine Rede sein. Trotz alledem enthielt das mit allen Cautelen dicht über dem Grunde geschöpfte, also das soeben eingedrungene Wasser, wie von dem Einen von uns und zwei anderen Beobachtern zu verschiedenen Zeiten festgestellt wurde, zwischen 130 und 2800 Bakterien im Cubikcentimeter. Ausserdem wird das Wasser einige Stunden nach aufgetretenen Regengüssen trübe und enthält zu gewissen Zeiten eine mit Augen versehene Gammarusart in solcher Menge, dass die etwa 1,0 bis 1,5 cm langen Flohkrebse zu Tausenden auf den Seihnetzen vor den Pumpen liegen. Die nächste Umgebung des Brunnens ist undurchlässiger Lehm und enthält an verschiedenen Stellen Salzwasser. Das Brunnenwasser und die dicht dabei liegenden sogenannten Soestquellen entstammen dem eine Anzahl Kilometer entfernten Haarstrang und Möhnethalgebiet. Dort deckt eine oft nur wenige Centimeter dicke Ackerkrume den stark zerklüfteten Pläner. Der Regen wäscht die dünne Humusschicht aus und führt die Bakterien und die feinen Erdpartikelchen in die weiten Klüfte und von dort rasch zu dem erwähnten Centralbrunnen und mehreren anderen über 20 m tiefen Rohrbrunnen und den offen zu Tage tretenden mächtigen Quellen jener Stadt[1]).

Rohn und Wichmann[2]) fanden in dem Wasser eines Bohrloches von 130 m Tiefe, welches auf das Liter berechnet 20 mg Ammoniak und 94,8 mg organische Substanz enthielt, 769 780 Bakterien im Cubikcentimeter. Leider leidet diese Beobachtung an zwei Fehlern: zunächst sind die Culturen erst 24 Stunden nach der Entnahme des Wassers angesetzt, und dann ist die Entnahme, was übrigens die Autoren selbst anerkennen, insofern zu beanstanden, als Mikroben von der Rohrwand in die Proben hineingelangt sein können.

Die zweite Art der Berührung des Grundwassers mit den oberen Bodenschichten besteht darin, dass das Grundwasser bis in dieselben hineinragt. Hierbei müssen naturgemäss Bakterien in die Quellen, deren Wasser diese Schichten durchzieht, und in die Brunnen, welche in sie gesenkt sind, übertreten.

Die Grenze, bis wohin die Bakterien in die Erde dringen, ist wahrscheinlich je nach der Bodenart verschieden. Das zur Zeit vorliegende Material gestattet ein abschliessendes Urtheil über diese Verhältnisse noch nicht. Angaben über die Brunnentiefe, die Construction der Brunnenwand, den Wasserstand, die Art und Lagerung der Bodenschichten oberhalb der Wasserlinie, über den Quellenlauf u. s. w. sind von den wenigsten Forschern gemacht.

---

[1]) Aus den Acten des hygienischen Institutes zu Jena.

[2]) Mittheilungen der Versuchsstation für Brauerei und Mälzerei in Wien, Heft II, 1889.

In den Fällen aber, wo sie gemacht sind, gestatten sie keine Schlüsse, nur Vermuthungen. Möglich ist es z. B., dass der grosse Keimreichthum der Flachbrunnen Belgards sich dadurch erklärt, dass das Grundwasser bis an oder bis in die keimführenden Schichten ragt. Das Grundwasser steht dort 3 m unter der Erdoberfläche, die Brunnen sind durchschnittlich 4 m tief und durchsetzen Torflager. Nach den Beobachtungen von Beumer, Fränkel und uns kommen in 3 m Tiefe noch Bakterien vor, allerdings nur in geringer Zahl. Roth meint, die Herabminderung der Keimzahl von 130 000 auf 600, welche durch Abpumpen und Ausschöpfen eines Brunnens erzielt wurde, spreche gegen bakterienhaltiges Grundwasser. Dagegen lässt sich einwenden, dass 600 Keime nach dem Abpumpen in vielen Gegenden noch eine sehr hohe Zahl darstellen, dass in dem Belgarder Untergrunde bei 3 bis 4 m Tiefe vielleicht nur wenige Bakterien enthalten sind, und dass von diesen wenigen voraussichtlich nur ein geringer Theil losgerissen wird, weil das Grundwasser bei einem Brunnen, welcher ausgepumpt und ausgeschöpft werden kann, nur langsam zufliesst.

Andererseits ist nicht ausgeschlossen, dass aus dem höher gelagerten Torf keimhaltiges Wasser von der Seite her einsickert, dass also das Aufschlagwasser als bakterienhaltiges „Leckwasser" in die Brunnen hineintröpfelt, während unten vielleicht von weither kommendes, keimfreies Grundwasser zufliesst. Hiervon abgesehen, lässt sich weiter die Frage aufwerfen, ob nicht möglicherweise das mit Huminsubstanzen geschwängerte Wasser Belgards einen vorzüglichen Nährboden für die Mikroorganismen abgiebt, so dass die hohe Keimzahl auf einer starken Vermehrung der Spaltpilze in jenem Wasser beruht.

Dagegen sind die Dorpater Flachbrunnen nach den zahlreichen, im Körber'schen Institut gemachten Untersuchungen sicher desshalb so keimreich, weil das Grundwasser bis hoch in die bakterienführenden Erdschichten hineindringt.

Wenn das Grundwasser im Allgemeinen keimfrei ist und die Brunnen und Quellen nur aus den oberen Bodenlagen ihre Mikroorganismen erhalten, so ist erforderlich, die Quellen noch im keimfreien Terrain zu fassen und in dichter Leitung zur Oberfläche zu führen und die Brunnen bis zu keimfreier Tiefe zu senken und sie bis unten hin wasserdicht zu construiren, so dass das Wasser nur von unten, d. h. hinreichend filtrirt, einzudringen vermag.

Die Forderung, „wasserdichte" Brunnen zu bauen, ist schon alt. Bereits im Jahre 1854 wurde sie von Hassal aus Anlass der letzten Choleraepidemie in London gestellt. Später wurde sie

anlässlich der Einrichtung und Aufnahme der Tiefbrunnen und artesischen Brunnen wiederholt und dann von Plagge und Proskauer in energischer Weise befürwortet. Es ist die Aufgabe der Technik, diesem gerechten Verlangen nachzukommen. Die Hygiene hat nur ein indirectes Interesse daran, ob die Brunnen aus Eisen oder aus Cement und Stein hergestellt, in Lehm gesetzt oder auf andere Weise gefertigt werden, wenn nur ihrer Forderung des absoluten Abschliessens der Brunnen nach oben und nach der Seite hin Genüge gethan wird. Die Rohrbrunnen haben aber vor den Kesselbrunnen den Vorzug, dass sie gegen Verunreinigungen von Aussen und von der Seite her in vorzüglichster Weise bewahrt sind, dass sie den einmal hineingelangten Bakterien weniger günstiges Terrain zur Ansiedelung bieten, und ferner, dass sie desinficirt werden können, was bei den Kesselbrunnen nicht in vollständiger Weise geschehen kann; durch Auspumpen und Auspinseln mit Kalkmilch lässt sich absolute Keimfreiheit nicht erreichen.

Trotz der wasserdichten Construction gelingt es nur selten, ein völlig bakterienfreies Wasser zu erzielen. Bei dem Fassen der Quellen, bei dem Mauern oder Schlagen der Brunnen, dem Setzen der Pumpen, kurz bei jeder Manipulation gelangen Mikroorganismen in das Wasser. Einige derselben werden bald absterben, andere jedoch werden am Leben bleiben und an Zahl zunehmen.