

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

3070

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297529

Die Geschichte des Katholizismus von Euseb
und Augustin in des Breviar
Grenzbücher

Verlag des Kaiserlichen Hof- und Staatsdruckers
in Wien, 1857

Dr. W. Engelke

Wien, 1857

Kaiserliches Jahrbuch

Das Kaiserliche Jahrbuch ist ein Werk, das die Geschichte des Katholizismus von Euseb und Augustin in des Breviar Grenzbücher darstellt. Es ist ein Werk, das die Geschichte des Katholizismus von Euseb und Augustin in des Breviar Grenzbücher darstellt. Es ist ein Werk, das die Geschichte des Katholizismus von Euseb und Augustin in des Breviar Grenzbücher darstellt.



2.121

[Aus dem Hygienischen Institut der Universität Breslau.
Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. C. Flügge.]

Die Ursachen des Einbruchs von Eisen- und Mangansalzen in das Breslauer Grundwasser,

mit besonderer Berücksichtigung der Bodendurchlässigkeit
in der Ohle-Oderniederung.

Von

Dr. W. Oettinger,

Assistenten am Institut.

Mit 1 Figur und 25 Kurven im Text.

Abdruck aus dem

Klinischen Jahrbuch.

Im Auftrage des Königlich Preussischen Herrn Ministers der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten unter Mitwirkung der Herren Geh. Med.-Rat Prof. Dr. E. Bumm in Berlin, Geh. Ober-Med.-Rat Prof. Dr. P. Ehrlich in Frankfurt a. M., Prof. Dr. Freih. v. Eiselsberg in Wien, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. C. Flügge in Breslau, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. C. Fränkel in Halle a. S., Geh. Med.-Rat Prof. Dr. P. Friedrich in Marburg, Geh. Ober-Med.-Rat Prof. Dr. G. Gaffky in Berlin, Prof. Dr. R. Greeff in Berlin, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. F. Kraus in Berlin, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. E. Lesser in Berlin, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. K. Moeli in Berlin, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. J. Orth in Berlin, Geh. Med.-Rat Prof. Dr. K. Passow in Berlin und Geh. Med.-Rat Prof. Dr. A. Wassermann in Berlin,

herausgegeben von

Dr. Naumann, Wirkl. Geh. Ober-Reg.-Rat und Ministerialdirektor, und Prof. Dr. M. Kirchner, Geh. Ober-Med.-Rat und vortr. Rat.

Neunzehnter Band.



Jena

Verlag von Gustav Fischer
1908

F. No. 28137

Alle Rechte vorbehalten.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

113070

Akc. Nr.

2400149

In den letzten Tagen des Jahres 1904 nahm die Stadt Breslau eine neue Wasserversorgungsanlage in Betrieb. An die Stelle des bisher verwendeten filtrierten Oderwassers trat Grundwasser. Dieses wurde einem Gebiete entnommen, das sich oberhalb der Stadt, am linken Ufer der Ohle, von Pirscham bis Tschechnitz erstreckt (vergl. das Übersichtsbild, Fig. 1).

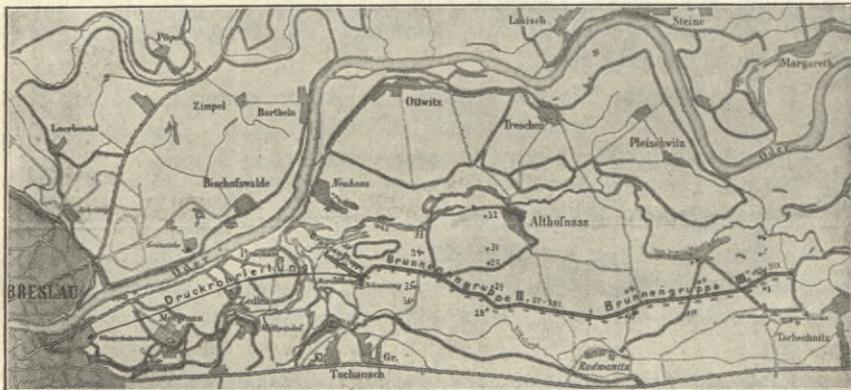


Fig. 1. Das Gelände der Breslauer Grundwasserversorgungsanlage.

Der Grundwasserträger, das Alluvium des Odertales, besteht aus Sand, in den unteren Schichten aus mit Sand durchmischem Kies; nach oben wird ein großer Teil des Geländes von Aulehm- und Schlickschichten in wechselnder Stärke abgeschlossen. Den unteren Abschluß bildet in einer Tiefe von 10—12—14 m undurchlässiger diluvialer Geschiebemergel.

In 313 Brunnen wird das Wasser gefaßt. Es sind Rohrbrunnen von 15 cm lichter Weite; sie enden, unten geschlossen, 50 cm über der undurchlässigen Schicht. 50 cm über dem unteren Ende beginnen die 3 m hohen Filterkörbe, durch die das Wasser einströmt, im übrigen sind sie völlig wasserdicht. In der Betriebsanlage in Schwentnig wird das Grundwasser in zwei Sammelbrunnen vereinigt. 26 Brunnen erstrecken sich in nördlicher Richtung auf der Schwentniger Feldmark; sie bilden die Gruppe 1. Die zweite Gruppe, mit 155 Brunnen, liegt in südöstlicher Richtung auf den Gemarkungen Schwentnig, Althofnass und Radwanitz, die dritte Gruppe mit 132 Brunnen in Radwanitz, Klein-Sägewitz und Tschechnitz. Die einzelnen Brunnen sind ca. 21 m voneinander entfernt; die gesamte Fassungsline hat eine Länge von etwa 6 km. Die erste und die dritte Gruppe ergießen ihr Wasser durch besondere Heberleitungen in den Sammelbrunnen I, der also Mischwasser aus zwei Gruppen enthält; das Wasser der zweiten Gruppe wird dem Sammelbrunnen II zugeführt. Aus den Sammelbrunnen wird das Wasser durch eine Druckleitung zum Wasserhebwerk am Weidendamm gefördert; hier wird es von Eisen befreit und zur Verteilung in die Stadt gehoben.

Die Anlage, deren Ergiebigkeit nach den Ergebnissen eines längere Zeit betriebenen Versuchsbrunnens berechnet worden war, sollte die Entnahme von 60 000 Tageskubikmetern gestatten. Zur Gewinnung dieser Wassermenge sollte eine Absenkung des Grundwasserspiegels um 7,5 m notwendig sein.

Das geschöpfte Wasser erfüllte alle Anforderungen, die an ein gutes Trink- und Gebrauchswasser zu stellen sind. Die chemische Zusammensetzung des Leitungswassers, nach der Enteisung, gibt die Tabelle 1 wieder.

Dazu kam im Grundwasser noch der Eisengehalt, der in der ersten Zeit ca. 6 mg im Liter betrug. Das Eisen wurde durch den Enteisungsrieseler bis auf Spuren entfernt. Das Wasser war klar und wohlschmeckend und hatte eine gleichmäßige Temperatur von ca. 9°.

Über ein Jahr arbeitete das Werk zu allgemeiner Zufriedenheit. Allerdings stellte es sich bald heraus, daß die wirkliche Ergiebigkeit hinter der berechneten entschieden zurückblieb. Der Grundwasserspiegel mußte fast bis zur projektierten Tiefe abgesenkt werden, obwohl durchschnittlich nur 40 000 Tageskubikmeter gefördert wurden. Auch die chemische Beschaffenheit des Wassers erlitt einige Veränderungen. Insbesondere stieg der Eisengehalt, zwar geringfügig und allmählich, aber ununterbrochen an, so daß er Ende März 1906 18—20 mg im Liter erreichte. Beide Erscheinungen erregten die Aufmerksamkeit der Verwaltung. Die Oderwasserfilter, die bis auf

Tabelle 1.

Chemische Zusammensetzung des Leitungswassers in 4 Analysen.
(Chemisches Untersuchungsamt der Stadt Breslau.)

	5. IV. 1905	4. VII. 1905	3. X. 1905	2. I. 1906
	im Liter	im Liter	im Liter	im Liter
Gesamtrückstand	183,2 mg	210,8 mg	223,2 mg	232,0 mg
Glührückstand	157,6 „	186,0 „	190,4 „	184,0 „
Glühverlust	25,6 „	24,8 „	32,8 „	48,0 „
Chlor	12,4 „	13,5 „	14,5 „	16,9 „
Schwefelsäure (SO ₃)	42,3 „	55,1 „	56,7 „	59,6 „
Kieselsäure	13,2 „	14,0 „	12,8 „	13,4 „
Salpetersäure	nicht nachweisb.	nicht nachweisb.	nicht nachweisb.	nicht nachweisb.
Salpetrige Säure, Ammoniak	„ 47,4 „ mg	„ 57,9 „ mg	„ 58,7 „ mg	„ 59,0 „ mg
Calciumoxyd (CaO)	9,6 „	9,9 „	11,0 „	10,0 „
Magnesiumoxyd (MgO)	1,6 „	1,6 „	0,9 „	1,6 „
Eisen + Tonerde (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	2,1 „	3,9 „	3,9 „	3,9 „
Oxydierbarkeit (KMnO ₄ -Verbrauch)	6,08°	7,17°	7,41°	7,30°
Gesamthärte (deutsche Grade)	4,25°	3,50°	4,20°	5,70°
Bleibende Härte	1,83°	3,67°	3,21°	1,60°
Temporäre (Karbonat-)Härte	67,4 mg	—	—	—
Kohlensäure				

Der Keimgehalt war gering; er betrug in den einzelnen Monaten von April 1905 bis April 1906:

Tabelle 2.

Keimgehalt des Grundwassers 1905/06.

Im Kubikzentimeter	April 1905	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan. 1906	Febr.	März
Durchschnittlich	25	16	9	4	4	4	7	6	4	6	4	11
Maximum	67	39	24	12	7	6	21	17	7	16	7	17
Minimum	15	4	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2

eines erhalten geblieben waren, wurden wieder in Stand gesetzt, um gegebenenfalls die Grundwasseranlage ergänzen zu können. Ferner wurden auf Veranlassung des Hygienischen Instituts sämtliche Grundwasserbrunnen auf ihren Eisengehalt untersucht, wodurch Aufschlüsse über die lokale Verteilung des Eisens gewonnen werden sollten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die vom 16.—19. Januar 1906 vorgenommen wurden, sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Diese allmähliche Steigerung des Eisengehaltes konnte ernstere Besorgnisse nicht erwecken, da der Rieseler auch die größere Eisenmenge bis auf Spuren beseitigte.

Da trat in der Nacht vom 28. zum 29. März 1906 mit der Wucht einer Katastrophe eine plötzliche Veränderung des geschöpften Wassers ein. Das bisher neutrale oder schwach alkalische Wasser reagierte sauer. Schwefelsäure und Kalk waren auf das Dreifache gesteigert, Bikarbonate von Kalk aber nicht mehr vorhanden. Der Eisengehalt war enorm vermehrt, ein bedeutender Mangangehalt wurde zum ersten Male festgestellt. Am 28. März war das Wasser in beiden Sammelbrunnen noch normal, am 29. war der Eisengehalt im Sammelbrunnen I von 9,2 auf 101,5 mg im Liter gestiegen, während das Wasser im Sammelbrunnen II noch unverändert war. Am 30. März war auch in diesem der Eisengehalt von 19,8 auf 80,1 mg vermehrt. In beiden Fällen war wenige Stunden vorher der zugehörige Teil des Grundwassergebietes von Hochwasser überflutet worden. Das Gelände der 1. und der 3. Gruppe wurde am Mittag des 28. März überschwemmt, das der 2. Gruppe am 29. In allen Gruppen war der Grundwasserspiegel sehr tief abgesenkt; die Saugrohre der Brunnen tauchten nur noch etwa 50 cm in das Grundwasser ein. Wenige Stunden nach der Überschwemmung trat Luft in die Saugrohre und in die Heberleitung ein. Nach 12-stündigem Pumpen mit allen verfügbaren Luftpumpen war die Luft entfernt, und es wurde wieder Wasser gefördert, das aber nunmehr in so verhängnisvoller Weise verändert war.

Genauere Untersuchungen ergaben, daß die verschiedenen Teile der Anlage nicht gleichmäßig betroffen waren. Die 1. Gruppe war am wenigsten beteiligt, am stärksten waren die Veränderungen in der 3. Gruppe. In den Rohrbrunnen 182—281 schwankte der Eisengehalt von 120 bis 140 mg im Liter, in den folgenden Brunnen war er sehr unregelmäßig und stieg in einzelnen fast auf 400 mg; die Brunnen 300—308 zeigten die höchsten Werte. Ferner wurde zwischen den beiden beteiligten Gruppen auch ein bemerkenswerter qualitativer Unterschied festgestellt. Während in der 3. Gruppe alles Eisen an Schwefelsäure gebunden war, als Eisensulfat, beruhte die Steigerung des Eisengehalts in der 2. Gruppe zum größten Teil auf einer Vermehrung des Eisenbikarbonats. Denn aus dem Wasser der zweiten Gruppe fiel bei kurzer Durchlüftung der größte Teil des Eisens aus, ohne daß sich der Schwefelsäuregehalt erheblich geändert hätte, und ohne daß freie Schwefelsäure oder Ferrisulfat aufgetreten wäre.

Die schlechtesten Brunnen wurden alsbald ausgeschaltet, später wurde die ganze 3. Gruppe gesperrt. Vom Mai ab wurden aus ihren Brunnen einige Wochen lang täglich 19 000 cbm in die Oder gepumpt, ohne daß der Eisen- und Mangangehalt sich in nennenswertem Maße geändert hätte.

Der weitere Verlauf kann in wenigen Worten geschildert werden.

Tabelle 3.

Gehalt der einzelnen Grundwasserbrunnen an Eisen (mg im Liter)
im Januar 1906.

Brunnen	Fe										
1	2,04	53	11,22	105	17,34	157	21,42	209	9,18	261	1,27
2	4,08	54	14,28	106	16,83	158	26,01	210	10,20	262	2,04
3	3,57	55	14,28	107	19,89	159	14,79	211	9,18	263	3,57
4	11,22	56	14,28	108	19,38	160	18,36	212	10,71	264	2,04
5	15,30	57	13,77	109	21,93	161	14,79	213	9,69	265	1,53
6	16,32	58	15,30	110	20,40	162	16,83	214	8,16	266	1,53
7	17,90	59	14,79	111	22,95	163	15,81	215	8,67	267	1,53
8	20,91	60	14,28	112	—	164	18,36	216	8,16	268	2,04
9	18,87	61	9,69	113	23,46	165	18,36	217	7,65	269	1,79
10	21,42	62	12,24	114	21,93	166	17,34	218	9,18	270	4,08
11	21,42	63	10,71	115	20,91	167	19,89	219	12,24	271	4,59
12	17,85	64	12,24	116	20,40	168	24,48	220	8,67	272	4,59
13	14,28	65	12,24	117	18,87	169	16,83	221	4,08	273	6,63
14	14,28	66	14,79	118	20,40	170	17,34	222	2,55	274	8,16
15	14,28	67	13,77	119	20,91	171	19,38	223	3,57	275	6,63
16	14,28	68	14,28	120	19,38	172	19,38	224	2,55	276	8,16
17	6,63	69	13,26	121	19,89	173	15,81	225	2,55	277	7,14
18	9,18	70	11,22	122	16,83	174	15,30	226	2,04	278	9,69
19	7,14	71	10,71	123	17,34	175	21,42	227	1,53	279	10,71
20	8,16	72	8,67	124	17,34	176	17,34	228	1,53	280	14,79
21	7,68	73	10,71	125	15,81	177	15,92	229	2,04	281	16,83
22	8,16	74	12,75	126	14,79	178	20,40	230	2,53	282	18,36
23	13,26	75	13,26	127	19,38	179	17,85	231	2,04	283	15,30
24	10,69	76	11,22	128	19,89	180	18,87	232	2,04	284	17,34
25	8,65	77	12,24	129	17,85	181	18,36	233	1,53	285	15,81
26	8,67	78	13,26	130	20,40	182	18,87	234	1,02	286	13,26
27	—	79	12,24	131	19,38	183	14,28	235	2,04	287	11,22
28	8,16	80	12,75	132	19,89	184	11,73	236	3,06	288	10,71
29	8,67	81	12,75	133	22,44	185	12,75	237	4,08	289	11,22
30	15,81	82	13,26	134	19,38	186	13,77	238	2,04	290	11,73
31	9,18	83	12,75	135	22,44	187	16,32	239	2,04	291	12,75
32	10,41	84	14,79	136	26,01	188	13,77	240	3,57	292	13,77
33	12,24	85	11,73	137	28,05	189	13,77	241	7,65	293	14,28
34	12,24	86	13,77	138	29,07	190	10,20	242	2,55	294	15,30
35	13,26	87	14,28	139	29,58	191	15,81	243	2,55	295	13,26
36	11,73	88	11,73	140	25,50	192	14,28	244	2,04	296	13,77
37	11,73	89	10,20	141	19,38	193	15,81	245	1,53	297	17,85
38	10,20	90	11,73	142	20,40	194	13,77	246	2,04	298	15,30
39	—	91	16,32	143	22,95	195	14,28	247	1,53	299	18,36
40	12,75	92	11,73	144	24,48	196	13,26	248	2,04	300	13,26
41	12,24	93	13,26	145	26,01	197	13,52	249	2,55	301	13,26
42	13,26	94	13,77	146	19,89	198	13,77	250	2,04	302	14,79
43	13,26	95	13,26	147	17,85	199	12,24	251	2,04	303	14,28
44	12,75	96	13,26	148	16,32	200	14,69	252	2,04	304	12,24
45	13,26	97	21,42	149	19,38	201	12,24	253	2,55	305	—
46	11,22	98	14,28	150	18,87	202	13,77	254	1,53	306	13,26
47	11,43	99	15,30	151	21,42	203	12,75	255	1,53	307	15,30
48	11,22	100	15,30	152	19,38	204	13,77	256	2,04	308	14,79
49	11,73	101	15,81	153	20,40	205	12,75	257	1,53	309	13,26
50	12,24	102	17,85	154	20,91	206	10,71	258	1,02	310	14,28
51	11,22	103	20,91	155	18,36	207	11,22	259	1,53	311	16,83
52	11,22	104	15,81	156	18,87	208	11,22	260	1,53	312	17,34
										313	18,36

Die Kurve 1 gibt die Schwankung des Eisengehalts im Sammelbrunnen II, also im Wasser der 2. Gruppe während des Jahres 1906 wieder. Die entsprechenden Zahlen für den Sammelbrunnen I, der Mischwasser aus der 1. und der 3. Gruppe führt, sind nicht brauchbar, da sein Eisengehalt vorwiegend von der Beteiligung der beiden Gruppen am Mischwasser abhing.

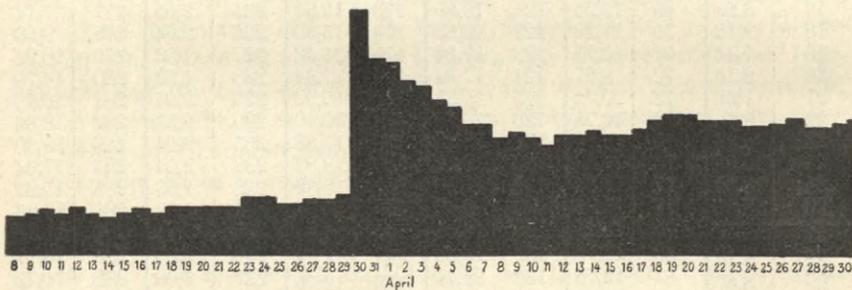
Kurve I.

Schwankungen des Eisengehalts im Sammelbrunnen II vom März bis zum Nov. 1906.



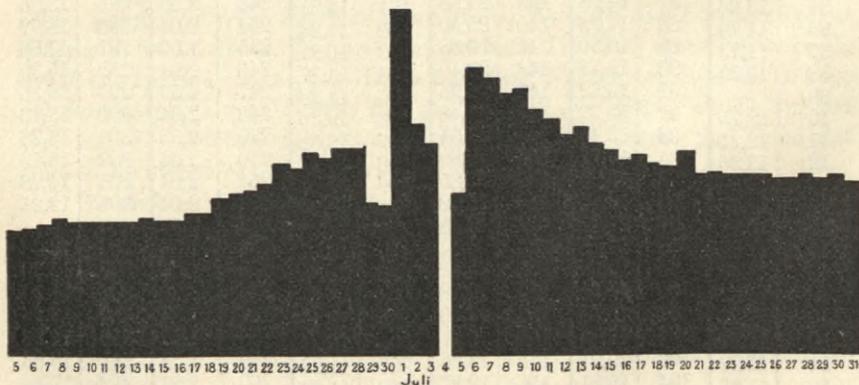
Kurve Ia.

Eisengehalt im Sammelbrunnen II vom 8. März bis zum 30. April 1906 (Überschwemmung am 29. März).



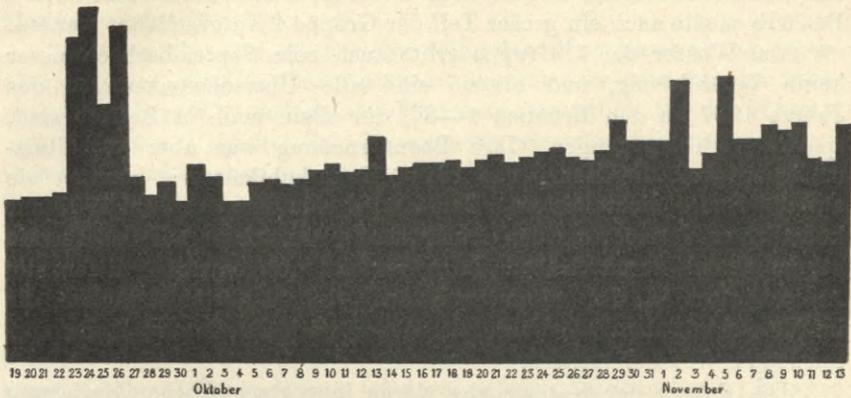
Kurve Ib.

Eisengehalt im Sammelbrunnen II vom 5. Juni bis zum 31. Juli 1906.



Kurve I c.

Eisengehalt im Sammelbrunnen II vom 19. Sept. bis zum 13. Nov. 1906.



Am 30. März war der Eisengehalt der 2. Gruppe auf 80,1 mg gestiegen. In den ersten Tagen des April sank er auf 40—50 mg und hielt sich bis Mitte Juni in dieser Höhe. Nach einer kurz andauernden, geringfügigen Vermehrung betrug er am 29. und 30. Juni wieder 52 mg. Am folgenden Tage, am 1. Juli, trat eine plötzliche Steigerung auf 117 mg ein, der wieder eine allmähliche Abnahme auf 50—60 mg folgte. Auf dieser Höhe hielt sich der Eisengehalt bis zum 22. September. Am 23. September war wieder ein plötzlicher Anstieg zu verzeichnen, bis auf 118 mg, dem nach 4 Tagen wieder eine plötzliche Verminderung auf ca. 60 mg folgte. In der Folgezeit schwankte der Eisengehalt nur wenig, zwischen 70 und 80 mg, aber an einigen Stellen der Kurve finden sich noch kleinere Erhebungen: am 13. Oktober, am 3. und am 5. November stieg der Eisengehalt um je 15—20 mg im Liter.

Diese Schwankungen des Eisengehalts haben offenbar nicht die gleiche Ursache. Der plötzliche Anstieg am 23. September trat wiederum einige Stunden nach einer Überschwemmung des Geländes ein. Dagegen fiel die große und ebenfalls plötzliche Vermehrung am 1. Juli in eine Zeit völliger Trockenheit und niedrigsten Wasserstandes. Ebensowenig stehen die kleinen Erhebungen im Oktober und November mit Überflutungen des Terrains im Zusammenhang. An allen diesen Tagen aber war eine Betriebsstörung zu verzeichnen; aus irgend welchen Gründen war die Wasserentnahme plötzlich eingestellt worden, und der Betrieb hatte einige Stunden geruht.

Außer diesen quantitativen Schwankungen des Eisengehalts sind im Wasser der 2. Gruppe allmählich auch qualitative Veränderungen eingetreten. Das Eisenbikarbonat trat allmählich immer mehr zurück

und wurde in steigendem Maße durch Eisensulfat ersetzt, wahrscheinlich weil das Wasser aus der abgesperrten und angestauten 3. Gruppe in das Gebiet der stark abgesenkten 2. Gruppe allmählich hinüberfloß. Deshalb mußte auch ein großer Teil der Gruppe 2 ausgeschaltet werden.

Das Wasser der 1. Gruppe erlitt auch beim Septemberhochwasser keine Veränderung, und ebenso sind alle Überschwemmungen des Jahres 1907 an den Brunnen 1—87, die allein noch in Betrieb sind, spurlos vorübergegangen. Ihre Beanspruchung war aber verhältnismäßig zu groß, die Menge von 16 000 Tageskubikmetern konnten sie auf die Dauer nicht leisten. Daher wird seit dem 10. Juni 1907 zur künstlichen Vermehrung des Grundwassers Ohlewasser auf das Terrain gepumpt und durch Gräben darin verteilt. Gegenwärtig liefert die Anlage etwa $\frac{1}{3}$ des gesamten Bedarfs, ca. 14 000 cbm täglich, die im Verein mit den Oderwasserfiltern der Stadt Breslau vorläufig ausreichendes Wasser sichern.

Die Folgen der Katastrophe waren in wirtschaftlicher Beziehung recht schwerwiegend, obwohl das Eisen in der ersten Zeit vom Rieseler vollständig entfernt und zurückgehalten wurde, so daß es im Leitungswasser nur in Spuren auftrat. Diese ausgezeichnete Wirkung des Rieselers dem Eisen gegenüber ist besonders bemerkenswert, weil die Anlage nur für einen Eisengehalt von höchstens 20 mg bestimmt war, während jetzt ein Wasser mit 100 mg zur Enteisung kam. Dazu kommt, daß das Eisen nicht nur in der leicht oxydablen Form des Eisenbikarbonats vorhanden war, sondern in größerer Menge als Eisensulfat. Eisensulfathaltiges Wasser hält sich aber auch bei Luftzutritt lange Zeit unverändert. Eisensulfatlösungen können tagelang in offener Flasche der Luft ausgesetzt werden, ohne daß das Eisen ausfällt. Auch 24-stündiges Durchleiten von Luft verändert sie nicht. Wenn trotzdem im Rieseler eine quantitative Ausfällung des Eisensulfats stattfand, so muß das zunächst befremden. Eine Beobachtung von Professor Reichenbach gibt vielleicht die richtige Erklärung. Ließ man nämlich das ferrosulfathaltige Grundwasser einige Tage stehen, auch in verschlossener Flasche, so wurde das Wasser vom Eisen befreit, am Boden aber hatte sich ein krümeliger, rotbrauner Niederschlag angesammelt. Nähere Untersuchungen ergaben, daß dieser Niederschlag aus einem Eisenpilz, und zwar der *Gallionella ferruginea*, bestand, die das Eisen vollkommen aufgenommen hatte. Professor Reichenbach stellte damit einige Versuche an. Wurde das Wachstum der *Gallionella* verhindert, z. B. durch den Zusatz minimaler Mengen von Sublimat oder durch kurzes Erhitzen, so blieb das Wasser völlig unverändert. Wurde der *Gallionella*-Niederschlag mit einer künstlichen Ferrosulfatlösung übergossen, so wurde auch aus dieser das Eisen aufgenommen. Ein Wachstum der *Gallionella* fand allerdings bei Verimpfung in künstliche Lösungen nicht

statt. Es ist leicht möglich, daß an der Ausfällung des Eisensulfats im Rieseler derselbe biologische Prozeß beteiligt war, zumal da sich im Schlamme des Rieseler und der Eisenfilter *Gallionella* in großen Mengen nachweisen ließ.

Dagegen versagte der Rieseler völlig dem Mangansulfat gegenüber. Dieses ging in das Rohrnetz über und richtete bei der hauswirtschaftlichen Verwendung des Wassers, namentlich bei der Wäsche, viel Schaden an. Andere Schädigungen als wirtschaftliche, insbesondere Gesundheitsschädigungen, die von der Bevölkerung befürchtet wurden, sind jedoch nicht bekannt geworden. Sie waren auch kaum zu erwarten. Der Mangangehalt des Leitungswassers bewegte sich zwischen 30 und 80 mg Mangansulfat im Liter. Daß die, selbst bei sehr reichlichem Wassergenuß, in den Körper gelangenden Mengen zu einer Gesundheitsschädigung hätten führen können, ist auszuschließen. Das Mangan ist in der Natur sehr verbreitet. Einer sehr gründlichen Zusammenstellung von Cohn¹⁾ kann ich darüber folgendes entnehmen: Mangan findet sich in zahlreichen pflanzlichen Nahrungsmitteln, wie Kartoffeln, Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Reis, Mais, Kaffee- und Kakaobohnen, Tee (im Mittel 0,5 Proz.), Feigen, Pflaumen, Äpfeln, Weintrauben, Erbsen, Linsen, roten und gelben Rüben, Blumenkohl, Zuckerrohr (Lehmann, Richardson, Herapath, Maumené, Pichard), auch in Tabak, sowie in der Chinarinde und in anderen Arzneipflanzen (Maumené). Auch in vielen Tieren ist Mangan nachgewiesen worden, namentlich findet es sich in Seetieren, wie Muscheln, Krabben, Schnecken, Sardinen (Pichard). Im Hühnerei kommt es konstant und reichlich vor (Polazzi Pichard). Es findet sich ferner in den Zähnen des Menschen (Wurzer), in den Haaren (Vauquelin), in der Epidermis (John), in den Knochen (Fourcroy, Vauquelin, v. Bibra). Lünig fand über 2 Proz. Mangan in der Asche des menschlichen Pankreas, in der Leber wurde es von Béchamp konstatiert. Im normalen menschlichen Urin fanden es 1851 Horsford, Schiaparelli und Peroni, Maumené. Polazzi traf es stets in der Frauen- und Tiermilch an, auch Maumené fand es hier in Spuren. Im menschlichen Blute wurde es 1830 von Wurzer nachgewiesen, und seine Befunde wurden von vielen Autoren bestätigt. Während aber einige im Blut Mangan stets und in relativ bedeutender Quantität fanden (de Kramer, Marchesseaux, Millon, Dubuisson, Polazzi), konnten andere es nur in einzelnen Fällen oder in minimaler Menge nachweisen (Cottureau, Glénard, Béchamp, Riche, Maumené).

Von besonderer Bedeutung ist die Frage nach der Resorbierbar-

1) G. Cohn, Über das Mangan in physiologischer Hinsicht, nebst Versuchen über den Einfluß von Mangan und Eisen auf die Pepsinverdauung. Dissertation, Berlin, 1902.

keit des Mangans vom Darm aus. Sie wurde vor längerer Zeit von Kobert¹⁾ und von Cahn²⁾, neuerdings wieder von Harnack und Schreiber³⁾ experimentell bearbeitet. Kobert fand, daß Mangan vom Darmtraktus aus fast gar nicht aufgenommen wird. Ebenso schloß Cahn aus seinen Versuchen, daß eine Resorption des Mangans vom unverletzten Darm aus in einer in Betracht kommenden Menge nicht stattfindet. Harnack und Schreiber stellten fest, daß Mangan auch von der unverletzten Darmschleimhaut aus resorbiert wird, daß es aber selbst bei fortgesetzter Fütterung nicht gelingt, auf diese Weise eine auch nur schwache Vergiftung hervorzurufen.

Vielfach ist auch Mangan zu therapeutischer Anwendung gelangt. Bereits in der Mitte des 18. Jahrhunderts gab es Hannon bei Anämie an Stelle von Eisen oder in Verbindung damit; später wurde es von Du-Buisson, Pétrequin, Jourdan empfohlen. Namentlich kamen besonders leicht resorbierbare Präparate, Mangan-Peptonat, -Dextrinat, -Saccharat, -Mannitat u. a., zur Verwendung (Ascher, Scognamiglio, Schürmeyer, Silva, Frieser u. a.). Ferner enthalten manche viel gebrauchte Heilquellen Mangan; die Trinkquelle von Pymont z. B. 14—20 mg im Liter. Die therapeutische Wirkung des Mangans wird zwar bezweifelt (Garrod), uns interessiert aber vorwiegend die Tatsache, daß Mangan in besonders leicht resorbierbarer Form gegeben werden kann und zu therapeutischen Zwecken gegeben wird, ohne daß es Schädigungen hervorruft.

Die Versuche von Gmelin⁴⁾, der durch die Verfütterung von 3,75 g Mangansulfat bei einem Kaninchen eine akute tödliche Vergiftung erzielte, kommen für uns kaum in Betracht, da dabei die ätzende Wirkung der konzentrierten Lösung wohl durchaus in den Vordergrund trat. Chronische Vergiftungen vom Darm aus sind im Tierversuch niemals gelungen, wegen der oben erwähnten geringen oder fehlenden Resorbierbarkeit. Beim Menschen sind chronische Manganvergiftungen einige Male beobachtet worden, und zwar bei Arbeitern, die mit dem Mahlen von Braunstein beschäftigt waren (Couper 1837, Embden⁵⁾ 1901). Die Arbeiter hielten sich in einem von Braunstaub erfüllten Raum auf, ihre Haut war beständig von

1) Kobert, Zur Pharmakologie des Mangans und Eisens. Archiv f. exper. Path. und Pharm., 1883.

2) Cahn, Resorptions- und Ausscheidungsverhältnisse des Mangans im Organismus. Archiv f. exper. Path. und Pharm., 1884.

3) Harnack und Schreiber, Über die Resorption des Mangans. Archiv f. exper. Path. und Pharm., Bd. 46.

4) Gmelin, Versuche über die Wirkung des Baryts etc. auf den tierischen Organismus. Tübingen 1824, zit. nach Cohn.

5) Embden, Zur Kenntnis der metallischen Nervengifte. Chronische Manganvergiftung der Braunsteinmüller. Deutsche med. Wochenschr., 1901, S. 795.

Braunsteinmassen bedeckt. v. Jaksch¹⁾, der ähnliche Erkrankungen bei Braunsteinarbeitern gesehen hat, schreibt allerdings dem Mangan keine ätiologische Bedeutung zu sondern nimmt andere schädigende Momente an.

Daß innerliche Darreichung von Mangansalzen bei Menschen Vergiftungserscheinungen hervorgerufen hätte, ist nie beschrieben worden. Versuche an Menschen hat Harnack (1901) angestellt und zwar bei zwei Frauen mit Gallen fisteln. Im ersten Versuch wurden in 16 Tagen 40 g Manganpepton gleich 400 mg Mangan genossen; Mangan ließ sich in der Galle nicht nachweisen. Im zweiten Versuch wurden innerhalb von 15 Tagen 100 g Manganpepton gleich 1 g Mangan, entsprechend 2,755 g Mangansulfat, verabreicht; es fanden sich Spuren von Mangan in der Galle, indessen war auch bei dieser Patientin „keinerlei Störung der Darmtätigkeit zu bemerken“.

Aus Anlaß der Katastrophe wurden im Hygienischen Institut einige Versuche mit manganhaltigem Wasser angestellt. 7 Personen haben 14 Tage lang täglich je 1 l sterilisiertes Leitungswasser, dem 100 mg Mangansulfat pro Liter zugesetzt worden war, getrunken. Irgendwelche Gesundheitsstörungen sind nicht beobachtet worden.

Es kann daher nicht überraschen, daß in der Bürgerschaft keine Krankheitserscheinungen aufgetreten sind, die auch nur mit einem Schein von Berechtigung auf den Genuß von Leitungswasser bezogen werden könnten. Besonders muß betont werden, daß auch durch Erkundigungen bei den Breslauer Ärzten, Kreisärzten und Krankenhäusern kein einziger Fall einer Gesundheitsschädigung ermittelt worden ist, obwohl die Ärzte gebeten worden waren, auf solche Fälle besonders zu achten.

Wenn also auch gesundheitliche Schädigungen durch das Leitungswasser nicht hervorgerufen wurden, so genügten doch die wirtschaftlichen Nachteile, die den Gebrauch des Wassers zu manchen Zwecken fast unmöglich machten, in weiten Kreisen das größte Aufsehen zu erregen. Die Bedeutung der Katastrophe geht aber darüber weit hinaus, da sie die ganze künftige Gestaltung der Wasserversorgungsfrage beeinflussen muß. Schien doch, nachdem es gelungen war, das Grundwasser leicht vom Eisen zu befreien, das Haupthindernis beseitigt, das der Verbreitung der Grundwasserversorgung entgegenstand. Und nun hat sich eine neue Schwierigkeit gezeigt, die geeignet ist, einen Stillstand auf diesem Gebiete zu veranlassen. Denn so lange die Ursachen dieser Katastrophe nicht erkannt sind, werden neue Grundwasserprojekte überall Mißtrauen finden. Schon aus diesem Grunde ist es wünschenswert, daß die Ursachen der Katastrophe gründlich

1) v. Jaksch, Über gehäufte diffuse Erkrankungen des Gehirns und Rückenmarks, an den Typus der multiplen Sklerose mahrend, welche durch eine besondere Ätiologie gekennzeichnet sind. Wiener klin. Rundschau, 1901, 9. Oktober.

untersucht würden. Daß es auch notwendig ist, wenn zweckmäßige Maßnahmen zu ihrer Beseitigung getroffen werden sollen, braucht kaum hervorgehoben zu werden.

Vermutungen über die Ursachen der Katastrophe wurden sofort von vielen Seiten geäußert. In einer Sachverständigenkonferenz am 2. Mai 1906 wurden drei Möglichkeiten angenommen, die der Sitzungsbericht so wiedergibt¹⁾: „Einerseits die Verunreinigung von oben, durch Auslaugen der in den oberen Schichten des Oderschwemmlandes lagernden und vorher ausgetrockneten Massen von Raseneisenstein (1. Hypothese), und andererseits die Verunreinigung von unten, sei es, daß (2. Hypothese) das Hochwasser die in den unteren Schichten des Alluviums über dem Diluviallehm lagernden unreinen Wasserschichten aufgeführt und in die Grundwasserbrunnen getrieben habe, sei es, daß (3. Hypothese) gar ein plötzlicher Durchbruch des verunreinigten Wassers aus dem Tertiär stattgefunden habe.“

Allen drei Hypothesen gemeinsam ist die Annahme eines ursächlichen Zusammenhangs zwischen der Überschwemmung des Geländes und den chemischen Veränderungen des Grundwassers. Diese von vornherein wahrscheinliche Annahme wurde zur Gewißheit, als der Überschwemmung im September 1906 wiederum nach wenigen Stunden ein rapides Anwachsen des Eisengehalts folgte. Im übrigen gehen die drei Hypothesen weit auseinander. Die Feststellung, ob eine von ihnen eine befriedigende Erklärung der Katastrophe biete, bedarf einer genaueren Untersuchung.

Die dritte Hypothese eines plötzlichen Einbruchs tertiären Wassers erledigt sich am einfachsten. Sie kam nicht mehr in Betracht, als die Zusammensetzung des Tertiärwassers bekannt wurde und mit der des Grundwassers, wie es nach der Katastrophe geschöpft wurde, verglichen werden konnte. Lührig²⁾ hat berechnet, welche Veränderungen das Grundwasser durch eine Vermischung mit Tertiärwasser (25 Proz. und 50 Proz.) hätte erfahren müssen; er hat die chemische Zusammensetzung des Grundwassers vor und nach der Katastrophe, des Tertiärwassers aus 3 Tiefbohrungen und des hypothetischen Mischwassers in einer Tabelle zusammengestellt (Tabelle 4).

Ein Vergleich der Zahlen zeigt, daß zwischen dem Grundwasser, wie es nach der Katastrophe gefördert wurde, und dem Tertiärwasser sehr erhebliche Unterschiede bestehen. Von entscheidender Bedeutung ist offenbar die Tatsache, daß das Tertiärwasser an Mangan und Eisen nur geringe Spuren enthält. Lührig bemerkt mit Recht: „Daß ein solches Tertiärwasser niemals imstande ist, eine Eisen- und Mangan-

1) Breslauer Gemeindeblatt, 1906, Nr. 19, S. 323.

2) Lührig, Über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung in Breslau. Zeitschr. für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, 1907, Bd. 13, S. 467.

kalamität nach Art der im März über unsere Grundwasserversorgung hereingebrochenen herbeizuführen, ergibt sich ohne weiteres aus seiner Zusammensetzung“.

Tabelle 4.

Chemische Zusammensetzung des Grundwassers und des Tertiärwassers.

Milligramm im Liter	Grundwasser vor nach d. Katastrophe		Grundwasser mit 25 % 50 % Tertiärwasser aus einer Tiefbohrung am rot. Gänseloch		Grundwasser mit 25 % 50 % Tertiärwasser aus einer Tiefbohrung an d. Ohle (43 m)		Grundwasser mit 25 % 50 % Tertiärwasser aus einer Tiefbohrung an d. Ohle (83 m)	
	am 2. I. 06	am 2. bis 4. IV. 06						
Rückstand	232	669	317	402	369	506	381	530
Chlor (Cl)	17	15	29	41	37	57	39	60
Schwefelsäure (SO ₃) gebunden	60	317	65	70	77	94	85	110
Kalk (CaO)	59	146	79	98	91	122	94	128
Magnesia (MgO)	10	29	16	21	16	23	18	25
Gesamthärte	7,3 ^o	18,8 ^o	10,0 ^o	12,8 ^o	11,3 ^o	15,3 ^o	11,7 ^o	16,4 ^o
Bleibende Härte	5,7 ^o	18,8 ^o	5,5 ^o	5,4 ^o	5,9 ^o	6,2 ^o	5,9 ^o	6,3 ^o
Karbonathärte	1,6 ^o	0	4,5 ^o	7,4 ^o	5,4 ^o	9,1 ^o	5,8 ^o	10,1 ^o
Ammoniak	0	0,03	0	0	0	0	0	0
Salpetersäure	0	Spuren	0	0	0	0	0	0
Mangan (als Sulfat berechnet)	0	52	minimale Spuren		minimale Spuren		minimale Spuren	
Eisen (Fe)	9	üb. 100	gering	gering	gering	gering	9	9
Oxydierbarkeit (KMnO ₄ -Verbrauch)	3,9	2,4	5,0	6,2	5,0	6,1	3,6	3,3
Reaktion	neutral	sauer	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral

Somit kann die dritte der genannten Hypothesen bei der weiteren Untersuchung ausgeschaltet werden. Selbstverständlich wäre es aber durchaus verfehlt, deswegen eine der beiden anderen Hypothesen als unbedingt richtig hinzustellen. Merkwürdigerweise sind solche Schlüsse mehrfach gezogen worden. Ja, obwohl die zweite Hypothese eine eingehende Untersuchung und eine Widerlegung niemals erfahren hat, wurde behauptet, daß durch die Widerlegung der dritten Theorie, der „Durchbruchtheorie“, die erste Hypothese einer „Verunreinigung von oben“ einwandfrei bewiesen sei.

Eine Beweisführung per exclusionem ist in diesem Falle völlig unberechtigt. Denn es handelt sich hier um ein bisher beispielloses Ereignis; man wird daher immer mit der Möglichkeit rechnen müssen, daß es noch andere Erklärungen gebe, die bisher noch gar nicht in Betracht gezogen wurden. Es ist daher durchaus notwendig, auch die erste Hypothese einer gründlichen Prüfung zu unterziehen, ehe man sie annimmt. Im folgenden soll sie im Gegensatz zur dritten Hypothese, der „Durchbruchtheorie“, der Kürze halber als „Durchlauftheorie“ bezeichnet werden.

Was besagt also die Durchlauftheorie? Lüdecke¹⁾2), der sie als erster aufgestellt hat, und der sie alsdann in zwei Publikationen näher begründete, hat sie zuletzt etwa so formuliert: „Im Boden des Oderalluviums haben sich befunden und befinden sich noch bedeutende Ablagerungen von Schwefeleisen und Schwefelmangan. So lange als sie bei hohem Grundwasserstande von der Luft abgeschlossen waren, blieben sie unverändert. Die durch das Auspumpen verursachte Senkung des Grundwasserspiegels brachte das Schwefeleisen mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung; aus Schwefeleisen entstand schwefelsaures Eisen und freie Schwefelsäure. Diese löste das reichlich vorhandene Eisen und Mangan, da der Boden kalkarm ist, und der Kalk nicht dazu hinreichte, die freie Säure zu sättigen. Da dieser Prozeß sich ungestört 1½ Jahre lang abspielen konnte, so hatten sich im Boden große Mengen Eisen- und Mangansulfat angesammelt, die durch das durchsickernde Hochwasser in kürzester Zeit gelöst und aus den Brunnen ausgepumpt wurden.“

Man kann an der „Durchlauftheorie“ leicht zwei Teile unterscheiden: im ersten wird die Entstehung der löslichen Ferrosalze behandelt, der zweite beschreibt die Art ihrer Vermischung mit dem Grundwasser. Sie läßt sich in wenigen Sätzen zusammenfassen:

1. Die löslichen Eisen- und Mangansalze sind aus dem im oberflächlichen Schlick vorhandenen Schwefeleisen und Schwefelmangan durch Oxydation entstanden. Die Oxydation wurde herbeigeführt durch die Austrocknung der Schlickschichten, die wieder eine Folge der Absenkung des Grundwasserspiegels war.
2. Das Überschwemmungswasser löste die Salze auf und transportierte die Lösungen in längstens 18 Stunden bis in die Sammelbrunnen.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die chemischen Prozesse, die Lüdecke als Entstehungsursache der löslichen Eisen- und Manganverbindungen annimmt, die Bildung dieser Salze in der Tat erklären. Lührig³⁾ hat sie später ausführlich beschrieben und begründet. Es ist auch durch Lührig und später durch Beyschlag⁴⁾ festgestellt worden, daß die Schlickschichten, die einen Teil des Geländes bedecken, stellenweise und besonders im Gebiete der 3. Gruppe große Mengen von Sulfiden des Eisens und Mangans enthalten. In einer

1) Lüdecke, Über den Einfluß des Bodens auf die im Grundwasser gelösten Salze, unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse der Oderniederung. Vortrag am 17. XI. 1906.

2) Derselbe, Das Wasser des Odertales und die Wasserkalamität der Stadt Breslau. „Gesundheit“, 1907, Nr. 18.

3) Lührig, l. c. S. 474 ff.

4) Beyschlag und Michael, Über die Grundwasserverhältnisse der Stadt Breslau. Zeitschr. für praktische Geologie, Jahrg. 15, 1907, Heft 5.

zweiten Arbeit hat alsdann Lührig¹⁾ Beobachtungen mitgeteilt, aus denen hervorgeht, daß die Austrocknung von sulfidhaltigem Schlick aus dem Gelände der 3. Gruppe, den Lüdeckeschen Ausführungen entsprechend, zur Bildung löslicher Sulfate führt.

Es geht aber aus diesen Versuchen keineswegs hervor, daß nur eine völlige Austrocknung des Schlicks diese Wirkung habe. Denn es ist nicht festgestellt worden, zu welchem Zeitpunkt, bei welchem Grade der Austrocknung die Oxydationsprozesse begonnen haben. Da wir wissen, daß die Sulfide des Eisens und Mangans bei Anwesenheit von Wasser entschieden schneller und leichter oxydiert werden als in völlig trockenem Zustande, so müssen wir vielmehr annehmen, daß schon ein geringerer Grad der Austrocknung, bei dem ein Teil der Bodenporen mit Luft gefüllt wird, genügt die Oxydationsprozesse hervorzurufen.

Ob freilich diese Oxydationsprozesse alle bei der Katastrophe beobachteten Erscheinungen erklären können, und ob nicht die chemischen Verhältnisse doch etwas komplizierter sind, erscheint noch als zweifelhaft. Denn in der Gruppe 2 beruhte, wie oben erwähnt, fast die gesamte Steigerung des Eisengehalts auf einer Steigerung des Eisenbikarbonats. Die Entstehung dieser Verbindung kann aber ausschließlich unter Reduktionsbedingungen erfolgen; sie kann mithin niemals durch die von der Durchlaufhypothese angenommenen Oxydationsprozesse erklärt werden.

Lührig hat späterhin, in seiner zweiten Arbeit, eine Erklärung zu geben versucht, die das gesteigerte Auftreten von Eisenbikarbonat im Wasser der 2. Gruppe mit der Durchlauftheorie in Einklang bringen soll. Danach beruhte die Vermehrung des Eisenbikarbonats bei Beginn der Katastrophe nicht auf Neubildungen unter Reduktionsbedingungen, sondern auf einer chemischen Umsetzung zwischen Ferrosulfat und Calciumbikarbonat²⁾. „Das Ferrosulfat kam aus den letzten Brunnen der Gruppe 3, fand im Sammelrohre auf seinem Wege zur Betriebsanlage karbonatreiches Wasser vor, desgleichen nach Vermischen mit dem Wasser aus Gruppe 1 und 2 und konnte im Rohrnetz mit diesem in Reaktion treten. Das Wasser blieb denn auch klar und veränderte sich erst bei inniger Berührung mit der Luft. Wo kein Eisensulfat gebildet oder hingelangt ist, ist auch der Eisengehalt des Wassers nicht wesentlich gestiegen, wie das Verhalten der Wasser der Brunnen der Gruppe 1 unzweifelhaft dartut, die noch heute Karbonathärte besitzen, und deren Eisengehalt annähernd so geblieben ist, wie er früher war.“

1) Lührig, Über die Ursachen der Breslauer Grundwasserverschlechterung und die Mittel zu ihrer Behebung. Zeitschr. f. Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, Bd. 14, S. 40.

2) Lührig, l. c. Bd. 14, S. 56.

„Das Ferrobikarbonat konnte selbstverständlich auch außerhalb der Rohrleitungen im Erdboden selbst entstanden sein. Sobald das Überflutungswasser in die mit Eisensulfat angereicherten Schlickschichten eindrang, gab es seinen Sauerstoff an die löslichen Ferrosalze ab, sie zu Ferrisalzen oxydierend. Die freie Schwefelsäure konnte sich mit den noch vorhandenen Bikarbonaten des Kalks und der Magnesia neutralisieren, desgleichen konnte sich das Ferrosulfat in Ferrobikarbonat umwandeln. Die Umwandlung vollzieht sich ziemlich rasch, und somit genügte die zur Verfügung stehende Zeit von einigen Stunden vollständig, um erhebliche Mengen von Ferrosulfat in Bikarbonat überzuführen. Diese Reaktion konnte im Erdboden natürlich nur dort eintreten, wo Karbonate im Überschuß vorhanden waren, also fernab von den Stellen, an denen der Herd der Entstehung der Sulfate und freien Schwefelsäure zu suchen ist.“

Wenn die Anhänger der Durchlauftheorie sich damit begnügen würden, die Entstehung der löslichen Sulfate auf die Sulfide der oberen Schlickschichten und ihre Austrocknung zurückzuführen, so würde man ihnen unbedenklich zustimmen können, da ja die Möglichkeit dieser Vorgänge sowohl theoretisch begründet als auch praktisch erwiesen ist. Aber sie legen auch großen Wert auf die weitere Behauptung, daß diese chemischen Prozesse erst durch die künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels beim Betriebe der Anlage hervorgerufen worden wären. So schreiben Beyschlag und Michael¹⁾: „Sowie das Wasserwerk in Betrieb kam, wurden infolge der eintretenden beträchtlichen Absenkung des Wassers die obersten Bodenschichten wasserleer; an Stelle des Wassers drängten sich Luftmengen in die Zwischenräume der wasserfrei gewordenen Sandkörner; die zahlreichen Risse im Schlickboden in trockener Jahreszeit erleichterten den Luftzutritt überdies. Eisen und Mangan war überall vorhanden, und so wurden nun die erwähnten Oxydationsprozesse eingeleitet.“ Schon vorher hatte sich Lührig²⁾ ähnlich geäußert: „Sobald das Wasserwerk in Betrieb gesetzt wurde, begann eine langsame aber stetige Absenkung des Grundwasserspiegels, wodurch die Schichten, in denen die Entstehung der Sulfide vor sich gegangen war, dem Einfluß des Luftsauerstoffes ausgesetzt wurden. Es setzte nun eine mehr oder minder lebhaftere Oxydation ein, die zur Bildung von massenhaften Mengen von Ferrosulfat führte.“

Diese Behauptung muß entschieden als irrig bezeichnet werden. Die sulfidhaltigen Schlickschichten sind im allgemeinen nur oberflächlich gelagert, und der Wassergehalt dieser Schichten ist daher viel weniger von der künstlichen Absenkung des Grundwasserspiegels abhängig, als von der austrocknenden Wirkung der atmosphärischen Ein-

1) Beyschlag und Michael, l. c.

2) Lührig, l. c. Bd. 13, S. 476.

flüsse. In jedem heißen und dürren Sommer mußte es zur Austrocknung der oberen Schichten und somit zu den verhängnisvollen Oxydationsprozessen kommen. So bildeten sich die Eisen- und Mangansulfate im oberen Schlick seit ungezählten Jahrhunderten, sowie eine längere Trockenperiode eintrat, ganz unabhängig von irgend welcher Absenkung.

Welche Ursachen der mehr oder weniger vollständigen Austrocknung der in Frage kommenden Bodenschichten zu Grunde liegen, ist natürlich für die Wirkung dieser Austrocknung ohne jede Bedeutung. Wenn überhaupt Luftzutritt die verhängnisvollen Oxydationsprozesse in den obersten Bodenschichten hervorrief, dann müssen sie sich auch dann abgespielt haben, wenn die Austrocknung auf atmosphärischen Einflüssen beruhte, ohne daß der Grundwasserspiegel künstlich abgesenkt war. Daran ist ein Zweifel nicht möglich, und die Richtigkeit dieser Behauptung ist auch nicht bestritten worden. Wohl aber wurde mehrfach bestritten, daß eine Austrocknung der sulfidhaltigen Schichten ohne künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels überhaupt möglich sei. Diese Frage muß daher noch etwas eingehender erörtert werden. Einerseits müssen wir festzustellen suchen, bis zu welcher Tiefe in trocknen Sommern die Austrocknung des Bodens herabreichen kann und namentlich in unserem Gelände erfahrungsgemäß früher herabgereicht hat; andererseits muß festgestellt werden, bis zu welcher Tiefe die Schlickschichten sich erstrecken. Diese zweite Frage ist leicht zu beantworten. Es ist ermittelt worden, daß die Schlickschicht in den hier in Betracht kommenden Teilen des Terrains durchschnittlich $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ m unter die Erdoberfläche hinabreicht¹⁾. Wie tief hat sich nun in trockenen Sommern die Austrocknung in diesem Gelände erstreckt? Genaue Untersuchungen darüber liegen leider nicht vor. Aber einen Anhaltspunkt liefert das Verhalten des Grundwasserspiegels. In trockenen Sommern pflegen hier alle seichten, 2—3 m tiefen Brunnen zu versiegen. Im Sommer 1904 z. B., also vor der Inbetriebnahme der Anlage, sind in Pirscham sämtliche Brunnen versiegt, wie ich dem „Verwaltungsbericht der Städtischen Betriebswerke für das Jahr 1904“²⁾ entnehme. Ferner ist festgestellt worden, daß der Grundwasserspiegel in der 3. Gruppe 2,20 m unter der Erdoberfläche stand, als die Anlage in Betrieb genommen wurde³⁾. Dieser auffallende Tiefstand des Grundwasserspiegels erklärt sich wohl aus der großen Trockenheit des

1) Ich entnehme diese Angaben den Ausführungen des Herrn Stadtbaurat Wirtz, in der Denkschrift des Magistrats, „Ergebnisse der Untersuchungen über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung in Breslau“, S. 174.

2) Breslauer Statistik, Bd. 25, 1906, Heft 3, S. 236.

3) „Ergebnisse der Untersuchungen“ u. s. w., Teil II, S. 74.

vorangegangenen Sommers. Nach den Feststellungen von Ramann¹⁾ hat aber ein Grundwasser, das 2 m unter Terrain steht, keinen Einfluß mehr auf den Wassergehalt der obersten Schichten. Diese verhalten sich in Bezug auf ihre Feuchtigkeit nicht anders, als wenn der Grundwasserspiegel in unerreichbarer Tiefe läge.

Demgegenüber kann man sich nicht darauf berufen, daß im Sommer 1907, wo die 3. Gruppe der Anlage nicht in Betrieb war, die Schlickschichten in dieser Gruppe dauernd unter Wasser standen, also nicht ausgetrocknet sind. Denn der Sommer 1907 gehörte entschieden zu den ungewöhnlich feuchten. In den 6 Monaten von März bis August 1907 betrug die Höhe der Niederschläge 421,13 mm, sie überschritt damit den Durchschnitt dieser Monate um 71,97 mm, d. i. um 20 Proz. Ferner fanden im Januar, im März und im Juli dieses Jahres größere Überschwemmungen statt. Man kann aus dem Verhalten des Bodens in einem abnorm feuchten Sommer keine Schlüsse auf sein Verhalten in trocknen Jahren ziehen.

Die Feststellungen über die Tiefe der Schlickschichten einerseits und über die Tiefe der Austrocknung andererseits beweisen unzweifelhaft, daß eine Austrocknung der sulfidhaltigen Schlickschichten auch ohne künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels in trocknen Sommern erfolgen mußte. Aus dieser Erkenntnis läßt sich allerdings ein Einwand gegen die Durchlauftheorie herleiten. Denn wenn die Entstehung löslicher Eisensalze schon seit Jahrhunderten erfolgt ist, so ist es zunächst nicht erklärlich, warum nicht schon frühere Überschwemmungen sie aufgelöst und dem Grundwasser zugeführt haben. Diese Überlegung macht zum mindesten eine Modifikation der Durchlauftheorie notwendig, die dieser Schwierigkeit gerecht wird; es sei aber zugegeben, daß man sie deshalb noch nicht aufzugeben braucht.

Vielmehr liegt die Erwägung nahe: ob die Austrocknung allein eine Folge der starken Absenkung war oder der langanhaltenden Dürre des Sommers 1904 oder schließlich des Zusammenwirkens beider Faktoren, jedenfalls hat sie stattgefunden und zur Bildung löslicher Sulfate geführt. Diese wurden alsdann vom Überschwemmungswasser aufgenommen und den Grundwasserbrunnen zugeführt.

Dieser zweite Satz der Durchlaufhypothese ist mithin als der wichtigere anzusehen; er soll daher ausführlich besprochen werden. Zwei Fragen sind zu erörtern:

1) Ist ein rascher Durchtritt von Überschwemmungswasser im Gebiete der Breslauer Grundwasserversorgungsanlage möglich, d. h. ist der Boden hier leicht durchlässig? Und

2) Wenn das der Fall ist, sind Beweise dafür vorhanden, daß ein solcher Durchtritt am 28. und 29. März 1906 stattgefunden hat?

1) Ramann, Untersuchungen über Waldböden. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. 11.

1. Die Durchlässigkeit des Breslauer Grundwassergeländes.

Die Durchlässigkeit eines Bodens zu bestimmen, stehen zwei Wege offen: erstens das Experiment und zweitens die Analyse des Bodens, die Untersuchung derjenigen Eigenschaften, von denen die Durchlässigkeit erfahrungsgemäß abhängt.

Eine experimentelle Bestimmung der Bodendurchlässigkeit im Gelände müßte an möglichst zahlreichen, voneinander verschiedenen Stellen vorgenommen werden, wenn sie allgemeine Geltung haben sollte. Sie ist daher sehr kostspielig, und ich mußte sie aus äußeren Gründen unterlassen. Durchlässigkeitsversuche im Laboratorium an kleineren, im Gelände entnommenen Proben führen selten zum Ziel. In feinkörnigem Material ändert sich die Durchlässigkeit während des Versuches andauernd, bis sie schließlich = 0 wird.

Es wurde daher der indirekte Weg zur Durchlässigkeitsbestimmung gewählt, die Erforschung des Bodens und seiner physikalischen Eigenschaften. Wie schon erwähnt, besteht der Boden unserer Grundwasseranlage in der Hauptsache aus Sand, der auf einem Teil des Geländes von Aulehm- und Schlickschichten in wechselnder Stärke bedeckt wird, während den oberen Abschluß eine meist dünne Humusschicht bildet. Obwohl die Durchlässigkeit des Bodens durch die überlagernden Schlickschichten stark beeinflußt wird, beschränkten sich die Untersuchungen auf die Sandschichten, die in einer Stärke von mehr als 6 m bis zu den Einströmöffnungen der Brunnen die Hauptmasse des Terrains ausmachen. Die Schlickschichten habe ich aus mehreren Gründen nicht berücksichtigt. Der wichtigste war, daß die Durchlässigkeit des Schlicks je nach seinem Feuchtigkeitsgehalt sehr wechselnd ist. Während er im angefeuchteten Zustande völlig undurchlässig ist und selbst in einer Stärke von wenigen Zentimetern keinen Tropfen Wasser durchtreten läßt, können sich im austrocknenden Schlick grobe Risse und Spalten bilden, in denen das Wasser ungehindert bis zu den unterlagernden Sandschichten hindurchdringen kann. In der Tat sind auch solche groben Trockenrisse mehrfach für das behauptete rasche Eindringen des Wassers verantwortlich gemacht worden. Nun ist es allerdings unwahrscheinlich, daß Ende März 1906 solche Trockenrisse im Schlick bestanden haben, denn der Winter 1905/06 hatte reichliche Regen- und Schneefälle gebracht. Nach den „Monatsberichten des Statistischen Amtes der Stadt Breslau“ betrug die Höhe der Niederschläge in den Monaten September 1905 bis März 1906 218,90 mm und übertraf damit die durchschnittliche Feuchtigkeit dieser Jahreszeit um 37,78 mm. Davon entfallen allein auf den Monat März, in dem nur 6 Tage frei von Niederschlägen waren, 72,8 mm, das sind 38,66 mehr als im Durchschnitt dieses Monats. Wenn diese Niederschläge auch kaum ausgereicht haben dürften, die gesamte, des unge-

wöhnlich trocknen Jahres 1904 wegen sehr tief hinabreichende Trockenzone wieder auszufüllen, so sind doch die obersten Schichten, d. h. der Schlick, gewiß wieder durchfeuchtet gewesen. Immerhin sind genauere Feststellungen über das Vorhandensein oder Fehlen von Trockenrissen im Schlick zur Zeit der Katastrophe nicht getroffen worden und jetzt nicht mehr nachzuholen. Da überdies die Schlickbedeckung nur für einen Teil des Geländes in Betracht kommt, so habe ich ihn bei den Untersuchungen über die Bodendurchlässigkeit vernachlässigt und nur den Sand berücksichtigt.

Welches sind nun die Eigenschaften des Bodens, von denen das Maß seiner Durchlässigkeit abhängt? Über diese Frage haben uns die Experimente und theoretischen Untersuchungen zahlreicher Forscher, wie Soyka, Renk, Hofmann, Wollny, Seelheim u. a. Aufschluß gegeben.

Die Durchlässigkeit eines Bodens ist abhängig von seiner Struktur. Sie setzt seine Porosität voraus: ein unporöser Boden ist undurchlässig. Dem Porenvolumen, d. h. dem Gesamtvolumen aller Hohlräume des Bodens kommt keine große Bedeutung zu, wohl aber der Beschaffenheit, der Größe, Form und wechselseitigen Lagerung der einzelnen Poren. Diese Eigenschaften der Poren sind wieder bedingt durch die Größe, die Form und die Lagerung der Bodenfragmente, der einzelnen Sandkörner. Große, grobe Körner bilden eine geringe Zahl großer Hohlräume; bei kleinem Korn wird die Zahl der Poren größer, die einzelnen Poren dagegen um so kleiner, während das Gesamtvolumen aller Hohlräume gleich bleibt. Die Größe der einzelnen Sandkörner ist für das Maß der Durchlässigkeit entscheidend, denn diese wird hauptsächlich beeinflußt durch den Widerstand, den die Bewegung im Boden findet. Der Widerstand wächst aber einerseits mit der Zahl der Poren, weil beim Übergang von einer in die andere Energie verbraucht wird, andererseits mit der Größe ihrer Oberfläche, da von dieser das Maß des Reibungswiderstandes abhängt. Beide Größen, sowohl die Zahl als auch die Gesamtoberfläche der Poren, wachsen und zwar die erstere sehr schnell, mit zunehmender Feinheit der Sandkörner. Die Gesamtoberfläche ist umgekehrt proportional den Radien, die Zahl der Poren ist umgekehrt proportional den dritten Potenzen der Radien der Körner (Soyka¹⁾). Während die Zahl der Körner in einem Liter Boden bei einem Korndurchmesser von 1 mm zwischen 1 und $1\frac{1}{2}$ Millionen beträgt, liegt sie bei einem Durchmesser von 0,1 mm zwischen 1000 und 1500 Millionen. Die Gesamtoberfläche beträgt bei einer Korngröße von 1 mm Durchmesser 3,1—4,4 qm im Liter Boden, bei einer Korngröße von 0,1 mm

1) Soyka, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. 8, S. 1.

31—44 qm (Soyka¹⁾). Daß der Korngröße entscheidende Bedeutung für das Maß der Durchlässigkeit zukommt, wurde in zahlreichen Experimenten ermittelt. Schon im Jahre 1856 wurde es von Darcy²⁾ erkannt. Spätere Versuche von Hagen³⁾, Kalustoff⁴⁾, Seelheim⁵⁾, v. Welitschkowsky⁶⁾, Wollny⁷⁾⁸⁾, Hellriegel⁹⁾ u. a. kamen zu demselben Ergebnis. Wollny stellt fest: „Die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser steht in geradem Verhältnis zur Größe der Bodenpartikel, weil die der Abwärtsbewegung des Wassers sich entgegenstellenden Widerstände (Adhäsion, Reibung und Kapillarität) um so kleiner werden, je größer die Bodenpartikel und je mehr nichtkapillare Hohlräume in dem Boden enthalten sind.“ Und an einer anderen Stelle: „Das Wasser wird um so schneller nach abwärts geleitet, je größer die Bodenteilchen sind.“ In umgekehrter Ausdrucksweise schreibt Hellriegel⁹⁾: „Das Eindringen des Regenwassers erfolgt um so langsamer, je feiner die Bodenteilchen sind.“ Stahl-Schröder¹⁰⁾ leitet aus zahlreichen Versuchen die Folgerung ab, daß bei den Böden mit Einzelstruktur (Quarz, Sand) die Geschwindigkeit des Eindringens von Wasser mit der Korngröße wächst. Seelheim hat in sehr exakten Versuchen festgestellt, daß die Permeabilität eines Bodens den Quadraten der Radien der Körner proportional ist.

Die meisten dieser Laboratoriumsversuche weichen allerdings in ihrer Anordnung sehr erheblich von den natürlichen Verhältnissen ab. Fast stets sind sie mit sorgfältig gesiebten Sandproben angestellt worden. Während der gewachsene Boden ein Gemisch von verschiedenen großen Sandkörnern ist, die manchmal erhebliche Unterschiede darbieten, wurden die Proben für experimentelle Zwecke künstlich in mehrere Teile von verschiedener, aber unter sich möglichst gleicher Korngröße zerlegt und dann die einzelnen Proben miteinander verglichen. Diese Versuchsanordnung war ja auch notwendig, wenn der

1) Soyka, l. c. S. 12 und 14.

2) Darcy, Les fontaines publiques de la ville de Lyon. Paris 1856; zit. nach v. Welitschkowsky.

3) Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst, Berlin 1869; zit. ibidem.

4) Kalustoff, Über die Permeabilität des Bodens für Wasser, Petersburg 1883; zit. ibidem.

5) Seelheim, Methode zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens. Zeitschr. f. analytische Chemie, XIX. Jahrg., S. 387.

6) v. Welitschkowsky, Experimentelle Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Wasser. Arch. f. Hygiene, Bd. 2, S. 499.

7) Wollny, Der Einfluß der Struktur des Bodens auf dessen Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. 5.

8) Wollny, Die kapillare Leitung des Wassers im Boden. Forschungen, Bd. 7 und 8.

9) Hellriegel, Über das Eindringen des Regenwassers in den Boden, Braunschweig 1883, S. 717; zit. nach „Forschungen u. s. w.“, Bd. 7.

10) Stahl-Schröder, Über Wasser- und Luftkapazität einiger Bodenarten. Dissertation, Leipzig 1892.

Einfluß der Korngröße festgestellt werden sollte. Wenn man auch infolgedessen die Versuchsergebnisse nicht ohne weiteres auf gewachsenen Boden übertragen kann, so zeigen sie doch — ganz allgemein — daß die Korngröße die für die Durchlässigkeit wesentliche Eigenschaft eines Bodens ist. Wir werden uns daher über die Durchlässigkeit eines bestimmten Gebietes am leichtesten unterrichten durch eine Zerlegung des Bodens in seine Bestandteile nach ihrer Größe. Man bedient sich hierzu eines Siebsatzes, und zwar sind Siebsätze mit verschiedener Einteilung im Gebrauch. Ich benutzte einen Siebsatz von Hügershoff in Leipzig (Deutsche Landwirtschaftliche Versuchsstationen), durch den der Sand in Körner von mehr als 3 mm, von 2—3, von 1—2, von 0,42—1,0, von 0,19—0,42, von 0,1—0,19 und schließlich von weniger als 0,1 mm Durchmesser zerlegt wird. Eine Zerlegung der Bestandteile, die unter 0,1 mm Durchmesser herabgehen, kann durch Schlämmmethoden erfolgen; sie ist aber für unseren Zweck meist überflüssig.

Man hat verschiedene Einteilungen des Bodens nach seiner Korngröße angegeben. Die wichtigsten gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle 5.
Einteilung des Sandes nach der Korngröße.
a) Nach Ramann¹⁾

Korngröße (Durchmesser)	Bezeichnung
>4 mm	Steine
3—4 „	Grobkies
2—3 „	Feinkies
1—2 „	Grobsand
0,5—1 „	Mittelsand
0,25—0,5 „	Feinsand
<0,25 „	Staub
b) Nach Orth ²⁾	
1—3 mm	Sehr grober Sand
0,5—1 „	Grober Sand
0,25—0,5 „	Mittelfeiner Sand
0,05—0,25 „	Feiner Sand
c) Nach Wollny ³⁾	
0,5—1,0 mm	Grobsand
0,25—0,5 „	Mittelsand
0,1—0,25 „	Feinsand
d) Einteilung der Geologischen Landesanstalt ⁴⁾	
> 2 mm	Grand
0,05—2 „	Sand
0,01—0,05 „	Staub

1) Ramann, Bodenkunde. 2. Aufl., Berlin 1905, S. 216.

2) Aus Luegers Lexikon der gesamten Technik.

3) Aus Luegers Lexikon der gesamten Technik.

4) Nach Ramann, Bodenkunde.

e) Nach Soyka¹⁾

Korngröße (Durchmesser)	Bezeichnung
> 7 mm	Grobkies
4—7 "	Mittelkies
2—4 "	Feinkies
1—2 "	Grobsand
0,33—1 "	Mittelsand
< 0,33 "	Feinsand

Ich habe an zahlreichen Proben aus dem Gelände die Zerlegung nach der Korngröße vorgenommen. Die Proben sind an willkürlich gewählten Stellen aus den verschiedensten Schichten entnommen worden.

In der 5. Spalte der Tabellen 6—16 sind die Resultate verzeichnet. Wenn wir die Zahlen näher betrachten, so werden wir zwar bei fast allen in höheren Schichten entnommenen Proben den allgemeinen Eindruck gewinnen, daß hier ein sehr feinkörniger Boden vorliegt, wir erkennen aber alsbald, daß diese Zahlen durchaus keine genauen, zahlenmäßigen Angaben über die Durchlässigkeit des betreffenden Bodens ermöglichen. Die Resultate der oben erwähnten Laboratoriumsversuche, die an sorgfältig gesiebttem Material angestellt worden sind, lassen uns hier, wo es sich um die Beurteilung eines natürlichen Bodengemischs handelt, im Stich. Es ist einleuchtend, daß hier vor allem das Mischungsverhältnis von Bedeutung ist. Ist dieses derart, daß alle gröberen Proben durch die feineren Bestandteile gerade ausgefüllt werden, so kann auch ein Sandboden, der viele grobe Bestandteile enthält, recht feinporig sein. Es ist mehrfach der Versuch gemacht worden, auch für die Durchlässigkeit von Sandgemischen allgemein gültige Zahlen zu finden. Die einfachste Annahme wäre die, daß ein Sandgemisch sich so verhalte, wie ein gleichmäßiger Sand, dessen Korngröße dem mittleren Durchmesser der Bestandteile des Gemischs entspräche. In der Tat ist diese Annahme von H ü b b e²⁾, später auch von W o l l n y³⁾ gemacht worden. K ö h l e r⁴⁾ wendet dagegen mit Recht ein, daß schon ein verhältnismäßig geringer Prozentsatz grober Bestandteile bei einem sonst feinen Material einen mittleren Durchmesser ergibt, der die Größe der weitaus meisten Körner um ein beträchtliches übertrifft, so daß die Wirkung der groben Bestandteile weit stärker erscheinen muß als sie in Wirklichkeit ist. K ö h l e r ist vielmehr der Ansicht, daß in den meisten Fällen die feinen und feinsten Bestandteile die Durchlässigkeit eines Bodens be-

1) Soyka, Über eine Methode die Permeabilität des Bodens für Luft optisch zu demonstrieren. Forschungen etc., Bd. 4, S. 25.

2) H ü b b e, Von der Beschaffenheit und dem Verhalten des Sandes. Zeitschrift f. Bauwesen, Bd. 11, zit. nach K ö h l e r³⁾.

3) W o l l n y, Die kapillare Leitung des Wassers im Boden. Forschungen etc., Bd. 7.

4) K ö h l e r, Über einige physikalische Eigenschaften des Sandes und die Methoden zu deren Bestimmung. Dissertation (Karlsruhe), Nürnberg 1906.

stimmten. Dieser erfahre sogar keine wesentlichen Veränderungen, wenn die gröberen Bestandteile aus dem Boden entfernt würden, sofern sie nicht überwiegend an seiner Zusammensetzung beteiligt wären. Der mittlere Durchmesser ist nur dann von Bedeutung, wenn die Zusammensetzung eines Bodengemenges sehr gleichmäßig ist. Einen ähnlichen Standpunkt hat früher bereits Seelheim¹⁾ vertreten. Danach hat der mittlere Korndurchmesser nur dann Bedeutung für die Durchlässigkeit eines Bodens, wenn zu wenig feinere Elemente vorhanden sind, die groben Poren auszufüllen. Sonst sei die Durchlässigkeit eines gemischten Bodens lediglich von den feinsten Bestandteilen abhängig; doch müsse man den für diese allein ermittelten Wert mit dem empirisch festgestellten Faktor 2 multiplizieren, um den richtigen Wert für die Permeabilität des Gemisches zu erhalten. In einer späteren Arbeit stellt auch Wollny²⁾ fest, daß „die Filtrationsfähigkeit des Gemisches verschiedener Kornelemente sich der des feinen Materials nähert“. Ein richtiges Bild von der Durchlässigkeit eines Bodengemenges kann man sicherlich nur erhalten, wenn man das Mischungsverhältnis der einzelnen Bestandteile berücksichtigt. Der erste Versuch hierzu ist durch Hazen³⁾ gemacht worden. Er führte zur leichten Beurteilung eines Korngemisches zwei neue Begriffe ein, die „wirksame Korngröße“ (effective size) und den „Gleichförmigkeitskoeffizienten“. Unter der „wirksamen Korngröße“ eines Sandgemisches versteht er diejenige, die für die Durchlässigkeit des Gemisches bestimmend ist. Er hat durch Versuche gefunden, daß sie der Siebweite entspricht, die 10 Proz. des Sandes durchfallen läßt und 90 Proz. zurückhält. Die „wirksame Korngröße“ ist also ein durchaus ideelles Maß, das in Wirklichkeit keinem einzigen der Sandkörner zuzukommen braucht. Dieses Maß hat nur dann Geltung, wenn auch für das Mischungsverhältnis eine Voraussetzung erfüllt ist; es gilt nicht für solches Material, das in Bezug auf die Größe seiner Bestandteile sehr ungleichmäßig zusammengesetzt ist. Die Beurteilung eines Sandes auch in dieser Richtung soll durch den Begriff des „Gleichförmigkeitskoeffizienten“ ermöglicht werden. Um diesen zu erhalten, bestimmt man die Siebweite, durch die 60 Proz. des untersuchten Sandes durchfallen, während 40 Proz. zurückgehalten werden. Dieses Maß, dividiert durch das der wirksamen Korngröße, ergibt den Gleichförmigkeitskoeffizienten. Sind z. B. in einer Sandprobe 60 Proz. der Bestandteile feiner als 0,62 mm und 10 Proz. feiner als 0,25 mm,

1) Seelheim, l. c.

2) Wollny, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Wasser. Forschungen etc., Bd. 14.

3) Hazen, The filtration of public water supplies. New York 1895.

4) Slichter, The motion of underground waters. Water supply and irrigation papers. 1902, zit. nach Köhler, l. c.

so ist der Gleichförmigkeitskoeffizient $\frac{0,62}{0,25} = 2,5$. Es ist einleuchtend, daß, je größer dieser Wert ausfällt, um so ungleichmäßiger die Zusammensetzung der Sandprobe sein muß. Wenn alle Bestandteile dieselbe Größe haben, dann ist der Gleichförmigkeitskoeffizient = 1. Solange er nun die Zahl 5 nicht überschreitet, ist nach Hazen die charakteristische, das Maß der Durchlässigkeit bestimmende Korngröße eines Sandes diejenige, die er als die „effective size“ bezeichnet hat und deren Ermittlung oben kurz beschrieben ist. Ich habe für die meisten der untersuchten Sandproben diese beiden Größen berechnet (Spalte 6 der Tabellen 6—16). Wenn auch das Hazensche Prinzip sicherlich richtig ist, so ist es doch fraglich, ob die von ihm ermittelten Zahlen allgemeine Geltung haben. In den von ihm angegebenen Grenzen, d. h. bei einem Gleichförmigkeitskoeffizienten unter 5, kann doch die Zusammensetzung verschiedener Sandgemische und damit auch ihre Durchlässigkeit noch erheblich voneinander abweichen, ohne daß diese Abweichungen in den Hazenschen Zahlen zum Ausdruck kommen.

Wir haben aber noch ein anderes, im vorliegenden Falle entschieden besseres Mittel, den Boden in Bezug auf seine Porengröße zu charakterisieren. Am feinsten und am schwersten durchlässig ist ein Boden dann, wenn er ausschließlich kapillare Poren enthält, d. h. wenn seine sämtlichen Poren so fein sind, daß sie eingedrungenes Wasser entgegen der Schwere durch Flächenattraktion festhalten. Je größer in einem Boden der Anteil an kapillaren Poren ist, um so geringer ist seine Durchlässigkeit. Der Anteil an kapillaren Poren kann für jede Bodenprobe ermittelt werden durch Bestimmung ihrer „wasserbindenden Kraft“ oder „minimalen Kapazität“. Wir verstehen darunter das Verhältnis der von einem Boden entgegen der Schwere festgehaltenen Wassermenge zur gesamten Wassermenge, die er aufnehmen kann; mit anderen Worten das Verhältnis des Volumens seiner kapillaren Poren zum gesamten Porenvolumen. Als kapillare Poren werden hierbei alle die angesehen, die so fein sind, daß sie Wasser entgegen der Schwere durch Flächenattraktion festhalten. Früher war allgemein der Ausdruck „wasserfassende Kraft“ im Gebrauch. A. Mayer¹⁾ 2) gab ihn auf, weil es sich dabei nicht um eine besondere physikalische Kraft handele; er sagte dafür: „kleinste oder minimale Kapazität“. Ihm schlossen sich Wollny³⁾, v. Liebenberg⁴⁾,

1) Mayer, Über das Verhalten erdartiger Gemische gegen Wasser. Landwirtschaftliche Jahrbücher, 1874.

2) Mayer, Über die Bestimmung der Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 3.

3) Wollny, Über die Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 8.

4) v. Liebenberg, Über den gegenwärtigen Stand der Bodenphysik. Forschungen etc., Bd. 1.

Ramann¹⁾ u. a. an. Da aber das Wort Kapazität in Verbindung mit zahlreichen Adjektiven, wie „kleinste“, „absolute“, „volle“ Kapazität von verschiedenen Autoren in ganz verschiedenem Sinne gebraucht wird, wende ich im folgenden nach dem Beispiele v. Fodors²⁾ den Ausdruck „wasserbindende Kraft“ an. Das Mißverständnis, daß darunter eine physikalische Kraft sui generis zu verstehen sei, ist wohl nicht zu befürchten.

Die Bestimmung der wasserbindenden Kraft eines Bodens gibt zwar ein deutlicheres Bild von seiner Zusammensetzung im Hinblick auf das Maß seiner Durchlässigkeit, als seine Zerlegung nach Korngrößen, sie ist aber keineswegs ganz einfach. Im Gegensatz zu der mechanischen Analyse des Bodens setzt sie voraus, daß man imstande ist, einer Sandprobe im Laboratorium bei künstlicher Einfüllung in ein Gefäß dieselbe oder annähernd dieselbe Lagerung zu geben, wie sie der gewachsene Boden hat. Hierüber liegen bereits einige Erfahrungen vor. Sie zeigen, daß man sich bemühen muß, den Proben eine möglichst dichte Lagerung zu geben, am besten durch kräftiges Einstampfen oder auch durch Einschlämmen. Außer den schon genannten Autoren erwähne ich Hilgard³⁾, ferner Wollny⁴⁾, der den Boden in Glaszylinder füllte und schichtenweise fest einstampfte. Köhler⁵⁾ füllte ebenfalls, wie schon früher Hofmann⁶⁾ und viele andere, schichtenweise ein, in stets gleichen Mengen und unter Benutzung eines Stößels, der den ganzen Rohrquerschnitt ausfüllte, wodurch eine dichte und möglichst gleichmäßige Lagerung erzielt werden sollte. Im allgemeinen herrscht die Überzeugung, daß auch durch dieses Mittel die Dichtigkeit des gewachsenen Bodens nicht vollkommen erreicht werden könne. — Ich habe daher über diese Frage einige Versuche angestellt. Zunächst wurde bei einer Sandprobe das Porenvolumen in natürlichem Zustand bestimmt. Ein Teil des Bodens wurde alsdann in ein kleineres Gefäß gefüllt, wobei ich in verschiedenen Versuchen durch mehr oder weniger kräftiges Einstampfen eine verschiedene Dichtigkeit zu erzielen mich bemühte. Man darf annehmen, daß bei gleichem Porenvolumen auch die Lagerung des Bodens die gleiche oder doch annähernd die gleiche ist. Wird beispielsweise festgestellt, daß eine bestimmte Bodenprobe in natürlichem Zustande 33 Proz. Porenvolumen hat, d. h. daß 1 l Boden 667 ccm Sand

1) Ramann, Bodenkunde.

2) v. Fodor, Hygiene des Bodens. In Weyls Handbuch d. Hygiene, Jena.

3) Hilgard, Zur Bestimmung der Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 14.

4) Wollny, Über das Verhalten der atmosphärischen Niederschläge zur Pflanze und zum Boden. Forschungen etc., Bd. 13.

5) Köhler, l. c. S. 77.

6) Hofmann, Grundwasser- und Bodenfeuchtigkeit. Archiv f. Hygiene, Bd. 1, S. 290.

enthält, und gelingt es uns dann, in ein Gefäß von 750 ccm Inhalt gerade soviel von diesem Boden einzufüllen, daß das Gefäß 500 ccm Sand enthält, das Porenvolumen also wieder 33 Proz. beträgt, so ist der Schluß gerechtfertigt, daß die Struktur der Probe, die Lagerung der Sandkörner zueinander wenigstens annähernd dieselbe ist wie im gewachsenen Boden. Zur Ausführung dieser Kontrollbestimmung ist es daher notwendig, erstens dem Boden kleinere Proben so zu entnehmen, daß das natürliche Gefüge erhalten bleibt, und zweitens bei den so entnommenen Proben das Porenvolumen durch einwandfreie Methoden zu bestimmen. Für beide Zwecke hat Flüggé¹⁾ im Jahre 1879 einen Apparat angegeben, dessen ich mich zu meinen Vorversuchen ebenfalls bedient habe. Er besteht aus einem Messingzylinder von 400—500 ccm Inhalt. Die beiden Deckel, die je einen Schlauchansatz tragen, sind genau so hoch, daß sie bei vollständigem Schluß unmittelbar auf der inneren Zylinderwand aufliegen. Der Zylinder kann aber außerdem mit zwei anderen Aufsätzen versehen werden. Von diesen ist der eine offen und zugeschärft, der andere bildet einen Deckel, der einige Öffnungen zum Entweichen der Luft trägt. Soll eine Bodenprobe zur Untersuchung entnommen werden, so wird der Zylinder zunächst mit den beiden letztgenannten Aufsätzen versehen. Das zugeschärfte Ende wird in der bestimmten Höhe an die Wand einer ausgeschachteten Grube angesetzt. Dann wird der Apparat durch gleichmäßige Schläge mit einem Holzhammer in den Boden eingetrieben, bis der Sand in den Öffnungen des Deckels sichtbar wird. Der Apparat wird nun herausgegraben und der Deckel abgenommen. Der eingefüllte Boden ragt alsdann mit unregelmäßiger Oberfläche über den Rand des Zylinders hinaus. Man ebnet die Oberfläche, so daß sie genau mit dem Zylinder- rand abschneidet und setzt dann den zugehörigen, mit Schlauchansatz versehenen Deckel auf. Der Apparat wird umgedreht, das zweite, zugeschärfte Ansatzstück abgenommen, wieder eine ebene Oberfläche hergestellt und darauf auch dieses Ende verschlossen. Für einen Boden mit sehr grobem Kies ist die Methode natürlich nicht anwendbar, doch lag solcher bei meinen Untersuchungen nirgends vor. Besonders ist darauf Wert zu legen, daß eine vollkommene Füllung des Apparats ohne Pressung erzielt wird; das wird durch die überstehenden Ansatzstücke erreicht. An der auf diese Weise unter Erhaltung ihrer natürlichen Struktur entnommenen Probe kann sofort die Bestimmung des Porenvolumens vorgenommen werden.

Auch das geschah zunächst nach einer Methode, die Flüggé¹⁾ im Jahre 1879 angegeben hat. Sie beruht darauf, daß die gesamte in den Poren der Bodenprobe enthaltene Luft durch einen Kohlen-säurestrom ausgetrieben wird. Das Gemisch von Luft und Kohlen-

1) Flüggé, Beiträge zur Hygiene. II. Die Porosität des Bodens. Leipzig, Veit u. Co., 1879.

säure wird im Eudiometer unter Kalilauge aufgefangen; die Kohlen- säure wird von der Kalilauge absorbiert, und die Menge der in den Poren des Bodens vorhandenen Luft abgelesen. Nach beendetem Ver- such füllt man den Apparat mit Hilfe eines Aspirators sofort wieder mit Luft und macht eine zweite Bestimmung, der nötigenfalls, wenn ihr Resultat stark von dem der ersten abweicht, noch eine dritte folgen kann. Der einzelne Versuch nimmt mit der Berechnung der notwendigen Korrekturen (Temperatur, Barometerstand) etwa 1 Stunde in Anspruch. Damit ist aber erst das Volumen der lufthaltigen Poren eines bestimmten Bodenvolumens ermittelt worden. Dazu tritt noch das Volumen der mit Wasser gefüllten Poren. Um dieses fest- zustellen, wird der Apparat entleert, der feuchte Sand gewogen, ge- trocknet und wieder gewogen. Die Differenz der beiden Wägungen ergibt das Volumen der wasserhaltigen Poren. Lufthaltige und wasser- haltige Poren zusammen machen das Porenvolumen aus, das sich, da der Inhalt des Apparats bekannt ist, leicht in Prozenten des Boden- volumens ausdrücken läßt.

Die so gewonnenen Resultate kontrollierte ich mehrfach durch eine andere Methode der Porenvolumbestimmung, die in der landwirt- schaftlichen Praxis seit langem in Gebrauch ist und außerordentlich sichere Resultate gewährt. Nach Soyka¹⁾ wurde sie zuerst von v. Schwarz²⁾ angewendet. Sie kann an die oben beschriebene Be- stimmung sofort angeschlossen werden. Nachdem der im Apparat enthaltene Sand getrocknet, und sein Gewicht in trockenem Zustande festgestellt ist, wird mittels des Pyknometers sein spezifisches Gewicht ermittelt. Das absolute Gewicht des Sandes, dividiert durch das spezifische Gewicht, gibt das Volumen des gesamten im Ap- parat ursprünglich vorhandenen Sandes. Durch Subtraktion dieses Volumens von dem bekannten des Apparats erhält man das Poren- volumen. Das Verfahren hat nur den Nachteil, daß die jedesmalige Bestimmung des spezifischen Gewichts mittels des Pyknometers zeit- raubend und mühsam ist. Namentlich ist eine völlige Entfernung der Luft aus dem Sande im Pyknometer nur schwer zu erreichen. Wird aber die Feststellung des spezifischen Gewichts sorgfältig ausgeführt, dann sind die Resultate sehr genau, wie alle Untersucher, z. B. Wolff³⁾, Flügge⁴⁾, Wollny⁵⁾, Köhler⁶⁾ u. a., übereinstimmend

1) Soyka, Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Forschungen etc., Bd. 8.

2) v. Schwarz, Vergleichende Versuche über die physikalischen Eigen- schaften verschiedener Bodenarten. I. Bericht d. k. k. Landwirtschaftlichen Ver- suchsstation in Wien 1870/77, ref. in Forschungen etc., Bd. 2, S. 164.

3) Wolff, Anleitung zur Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe. Berlin 1875, zit. nach Flügge.

4) Flügge, l. c.

5) Wollny, Untersuchungen über das spezifische Gewicht, das Volumge- wicht und die Luftkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 8.

6) Köhler, l. c.

feststellen. Flügge hat dieses Verfahren mehrfach mit dem von ihm angegebenen der Kohlensäuredurchleitung verglichen und stets eine gute Übereinstimmung gefunden. Ich habe ebenfalls mehrere Kontrollbestimmungen mit beiden Methoden ausgeführt. Die Resultate einiger dieser Bestimmungen sind in der Tabelle 21 verzeichnet.

Tabelle 21.

Bestimmung des Porenvolumens mit zwei verschiedenen Methoden.
Bohrloch bei Schwentnig (ausschließlich Sand).

Bezeichnung der Probe	Porenvolumen, bestimmt mit Kohlen- säure	Porenvolumen, bestimmt durch Er- mittlung des spez. Gew.
Probe I, 25 cm tief	40,2 Proz.	40,9 Proz.
Probe II, 180 „ „	43,4 „	42,7 „
Probe III, 280 „ „	34,4 „	35,4 „

Mit Hilfe dieser Porenvolumbestimmungen konnte ich feststellen, daß es in der Tat gelingt, dem Sande künstlich eine dem gewachsenen Boden nahekommende Lagerung zu geben. Man muß ihn zu diesem Zwecke in ein zylindrisches Gefäß in kleinen Portionen einfüllen und jedesmal mit einem den Zylinder gerade ausfüllenden Holzstößel kräftig einstampfen. Hat man eine Probe auf diese Weise eingefüllt, so hat sie annähernd dasselbe Porenvolumen, wie es derselbe Sand in natürlichem Zustande besaß. Die folgende Tabelle gibt das Resultat zweier solcher Kontrollversuche wieder.

Tabelle 22.

	Volumen der lufthaltigen Poren im gewachsenen Boden (großer Zylinder)	Volumen der lufthaltigen Poren im eingestampften Boden (kleiner Zylinder)	
		a) berechnet	b) gefunden
Probe I	184,3 ccm	130,2 ccm	132,5 ccm
Probe II	180,5 „	127 „	125,6 „

Schon bei diesen Versuchen stellte es sich heraus, daß das spezifische Gewicht des Sandes nur in sehr engen Grenzen schwankte. Bei den 3 Proben der Tabelle 21 z. B. betrug das spezifische Gewicht 2,63—2,62—2,63. Auch später, als ich an zahlreichen Proben die Bestimmung des spezifischen Gewichts vornahm, kamen größere Abweichungen von diesen Werten nicht vor. Ich fand bei insgesamt 16 Proben, die an verschiedenen Stellen entnommen waren: 8mal 2,63; 4mal 2,62; 2mal 2,64; 1mal 2,61; 1mal 2,65. Diese Resultate stimmen auch mit den Angaben in der Literatur überein. Nach

Mayer¹⁾ ist das spezifische Gewicht des Quarzsandes 2,66; Schüb-
ler²⁾ gibt 2,65 an; Wollny³⁾ fand 2,639 und 2,622; Stahl-
Schröder⁴⁾ 2,65, und Lang⁵⁾ ermittelte bei 6 Proben im Durch-
schnitt 2,64.

Diese geringen Differenzen im spezifischen Gewicht haben nun
bei der Berechnung des Porenvolumens keine erhebliche Bedeutung.
Hat z. B. ein Boden das spezifische Gewicht 2,63, und berechnet man
danach sein Porenvolumen auf 35 Proz., so würde man als Poren-
volumen 34,3 Proz. oder 35,7 Proz. finden, wenn man der Rechnung
als spezifisches Gewicht des Bodens die Zahlen 2,60 oder 2,66 zu-
grunde legen würde. Da nun diese beiden Werte die äußersten be-
obachteten Extreme im spezifischen Gewicht des Quarzsandes sind,
nach meinen Untersuchungen aber 2,63 weitaus am häufigsten vor-
kommt, so kann man, ohne irgendwie in Betracht kommende Fehler
zu begehen, der Berechnung des Porenvolumens ein für allemal das
angenommene spezifische Gewicht 2,63 zugrunde legen. Dadurch ver-
einfacht sich die Bestimmung des Porenvolumens außerordentlich, ohne
an Sicherheit wesentlich zu verlieren. Ich habe daher auch bei fast
allen folgenden Bestimmungen der wasserbindenden Kraft diese
Methode der Porenvolumsbestimmung angewendet. Die Ermittlung
der wasserbindenden Kraft gestaltet sich dann ziemlich einfach. Zu-
nächst ist es notwendig, die Poren des Bodens möglichst vollständig
mit Wasser zu füllen. Zu diesem Zweck wird der mit Sand gefüllte,
unten mit einer Öffnung versehene Zylinder einige Zentimeter tief in
ein Gefäß mit Wasser getaucht und allmählich immer tiefer gesenkt,
so daß das Wasser langsam von unten her eintritt. Füllt man den
Apparat dadurch, daß man das Wasser nur oben aufgießt, oder läßt
man es von unten zu rasch einsteigen, so füllen sich viele Poren
nicht, weil die Luft aus ihnen nicht entweichen kann, sondern ein-
geschlossen wird (Flügge⁶⁾, Renk⁷⁾ u. a.). Auch mir gelang es
trotz möglichst langsamer Füllung fast niemals, alle Poren mit
Wasser anzufüllen. War der Zylinder bis zu seinem oberen Rande
in das Wasser eingetaucht, so daß das von unten aufsteigende Wasser

1) Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie, Heidelberg 1871, zit. nach
Flügge, l. c.

2) Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie, Bd. 2, Leipzig 1838, zit.
nach Wollny.

3) Wollny, Untersuchungen über das spezifische Gewicht, das Volum-
gewicht und die Luftkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 8.

4) Stahl-Schröder, Über Wasser- und Luftkapazität einiger Bodenarten.
Dissertation, Leipzig 1892.

5) Lang, Über die Wärmekapazität der Bodenkonstituenten. Forschungen
etc., Bd. 1.

6) Flügge, l. c.

7) Renk, Über die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschr. f. Biologie,
Bd. 15.

die Oberfläche des Sandes bedeckte, so wurde er nach einiger Zeit herausgehoben und in senkrechter Stellung befestigt. Nunmehr tropfte ein Teil des Wassers ab; ein Teil aber wurde vom Boden festgehalten und blieb im Zylinder zurück. Nach Beendigung des Abtropfens wurde der Zylinder entleert und die Menge des zurückgehaltenen Wassers durch Trocknen ermittelt. Gleichzeitig wurde das Porenvolumen berechnet. Das Verhältnis der zurückgehaltenen Wassermenge zum Porenvolumen ist gleich der „wasserbindenden Kraft“ dieses Bodens. Folgendes Beispiel mag den Gang der Untersuchung veranschaulichen.

Schachtloch im Gebiete der Gruppe 3 (bei R. B. 296),
 Probe 5, aus 3 m Tiefe.

Volumen des benutzten Zylinders II: 537 ccm, Gewicht des Zylinders II: 1411 g.

Gewicht des Zylinders leer	1411,0 g
„ „ „ nach Einfüllen des Sandes	2452,0 „
„ „ „ „ „ und Anfüllen mit Wasser	2500,5 „
„ „ „ „ „ Abtropfen des Wassers	2494,0 „
„ „ Tellers 15, leer	434,5 „
„ „ „ 15 mit dem Sande aus dem Zylinder	1516,5 „
„ „ „ 15 „ „ nach dem Trocknen	1367,0 „
„ „ trocknen Sandes im Zylinder 2:	1367,0—434,5 g = 932,5 „
Volumen „ „ „ „ 2:	$\frac{932,5}{2,63 \text{ (spez. Gew.)}} = 354,5 \text{ ccm}$
„ „ Zylinders 2:	= 537,0 „

Also Porenvolumen:

$$537,0 - 354,5 = 182,5 \text{ ccm} = \frac{182,5 \times 100}{537} = 34 \text{ Proz.}$$

des gesamten Bodenvolumens.

Von diesen 182,5 waren durch das aufsteigende Wasser gefüllt worden:

$$1516,5 - 1367 + 6,5 \text{ (abgetropftes Wasser)} = 156 \text{ ccm.}$$

Das Verhältnis dieser mit Wasser gefüllten Poren zum gesamten Porenvolumen nennen wir „erreichte Porenfüllung“. Diese beträgt im vorliegenden Fall (156 ccm):

$$\frac{156 \times 100}{537} = 29,1 \text{ Proz. des gesamten Bodenvolumens; oder}$$

$$\frac{156 \times 100}{182,5} = 85,5 \text{ Proz. des Porenvolumens.}$$

Von diesen 156 ccm wurden 149,5 ccm vom Boden festgehalten, d. h.

$$\frac{149,5 \times 100}{537} = 27,8 \text{ Proz. des gesamten Bodenvolumens.}$$

Die wasserbindende Kraft dieses Bodens ist mithin

$$\frac{149,5 \times 100}{182,5} = 81,9 \text{ Proz. des Porenvolumens; oder}$$

$$\frac{149,5 \times 100}{156} = 95,8 \text{ Proz. der „erreichten Porenfüllung“.}$$

Bei der Beurteilung dieses Versuches tritt eine Schwierigkeit hervor, und zwar beruht sie auf der mangelhaften Füllung der Poren. Beträgt in unserem Beispiel die „wasserbindende Kraft“ 81,9 Proz. oder 95,8 Proz.? Zur Beantwortung dieser Frage müßte man wissen, ob die nicht mit Wasser angefüllten Poren vorwiegend kapillare Poren waren, die also das Wasser ebenfalls festgehalten hätten, oder ob sie zu den gröbereren gehörten, aus denen es hätte abtropfen können. In der Literatur habe ich darüber keine sicheren Angaben gefunden. Nur Köhler¹⁾ bemerkt, daß Luft „namentlich in den feinen Zwischenräumen“ eingeschlossen bleibt. Dann würde 95,8 Proz. das Richtige sein. Dafür spricht auch die im allgemeinen doch ziemlich gleichmäßige Zusammensetzung des Sandes. Immerhin wird es am zweckmäßigsten sein, beide Zahlen zu ermitteln und anzugeben.

Nach dieser Methode habe ich über 50 Bodenproben untersucht. Die Resultate dieser Untersuchungen sind in den Spalten 1—4 der Tabellen 6—21 wiedergegeben.

Jede Tabelle entspricht einer anderen Stelle im Gelände, an der die Proben durch Bohrung oder, nach Anlegung eines Schachtloches, mittels des Flüggeschen Apparates entnommen wurden. Die Spalte 1 der Tabellen gibt an, aus welcher Tiefe unter der Oberfläche des Terrains die Proben stammen. In der Spalte 2 sind die Porenvolumina verzeichnet, Spalte 3 gibt die erreichte Porenfüllung an, Spalte 4 die wasserbindende Kraft und Spalte 5, wie schon früher erörtert wurde, die Zusammensetzung der Probe aus verschiedenen Korngrößen. Vergleicht man die Porenvolumina der einzelnen Proben, so sieht man, daß im allgemeinen eine gewisse Gleichmäßigkeit besteht. Zum Vergleiche kann noch die 2. Spalte der Tabelle 26 herangezogen werden. Die Gleichmäßigkeit erstreckt sich auf alle Proben, die höheren Schichten entstammen; einige Proben aus tieferen Schichten zeigen erheblich kleinere Werte. In der Tabelle 6 beträgt das Porenvolumen der 3 Proben aus höheren Schichten zwischen 29 und 31,7 Proz., im Durchschnitt 30,7 Proz., die 4. Probe aus 6 m Tiefe hat 24,5 Proz., die 5. aus 8 m Tiefe, 22 Proz. In der Tabelle 7 schwankt bei den ersten 5 Proben das Porenvolumen von 29,5—33 Proz. und beträgt im Durchschnitt 31,2; die unterste aus 7 m Tiefe hat nur 26 Proz. Poren. Ganz ähnlich

1) Köhler, l. c. S. 36.

Tabelle 6.

Untersuchung des Bodens aus einem Bohrloch bei R. B. 66.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten			Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten					Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient nach Hazen							
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	92	99	97	>3 mm	2-3 mm	1-2 mm	0,4-1 mm	0,2-0,4 mm	0,1-0,2 mm	<0,1 mm	Wirk-same Korn-größe	nach Hazen				
1.	1 m	29	Proz.	27	Proz.	93	Proz.	26,5	Proz.	92	Proz.	99	Proz.	0,2	0,2	1,8	70,6	23,9	2,4	0,9	0,26	2,6
2.	2 "	29,5	"	27	"	90,5	"	26	"	88	"	97	"	0,3	0,7	5,9	69,5	20,7	2,3	0,6	0,27	2,6
3.	3 "													1,3	1,4	4,3	69,6	21,2	1,8	0,4	0,27	2,6
4.	4 "	31,7	"	26	"	82	"	25,5	"	81	"	98,5	"	0,2	1,1	7,3	71,5	18,5	1,2	0,2	0,29	2,5
5.	6 "	24,5	"	21,5	"	87,5	"	20,5	"	88,5	"	95,5	"	39,3	4,4	5,7	34,9	14,4	1,1	0,2	0,32	9,4
6.	8 "	22	"	20,5	"	92	"	19,5	"	89	"	96,5	"	35,5	5,0	6,8	30,2	16,7	4,8	1,0	0,25	8

Tabelle 16.

Bodenproben aus einem Schachtloch im I. Querprofil.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3.		Spalte 4.		Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten					Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient nach Hazen		
		34,8	Proz.	38,8	"			>3 mm	2-3 mm	1-2 mm	0,5-1 mm	0,25-0,5 mm	<0,25 mm	Wirk-same Korn-größe	nach Hazen
1.	120 cm	34,8	Proz.					0	0,5	0,7	88,4	8,3	2,1	0,49	1,6
2.	140 "	38,8	"					0	1,0	1,9	87,0	8,2	1,9	0,5	1,6

Tabelle 7.
Bodenproben bei R. B. 295.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten			Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten				Spalte 6. Wirkungsgleiche Korngröße nach Hazen	
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	>3 mm	2-3 mm	1-2 mm	0,4-1 mm		0,1-0,2 mm
1.	1 m	30 Proz.	91 Proz.	30 Proz.	90,5 Proz.	99,5 Proz.	0,2	0,4	1,5	18,6	37,0	27,1	15,2	0,07	4,3
2.	2 "	27 "	90 "	27 "	89 "	99 "	4,0	2,0	4,0	40,3	40,3	8,6	0,8	0,20	2,8
3.	3 "	25,5 "	81,5 "	25 "	80 "	98 "	3,3	2,8	5,5	46,7	36,4	4,7	0,6	0,23	2,8
4.	4 "	24 "	81 "	23 "	80 "	98,5 "	7,6	4,4	11,3	53,0	20,8	2,5	0,4	0,27	3,0
5.	5 "	26 "	82 "	25 "	80,5 "	98,5 "	1,5	1,7	3,7	38,3	41,8	12,1	0,9	0,18	2,7
6.	6 "	22,5 "	87 "	22 "	85,5 "	98 "	24,8	6,5	8,4	41,1	16,8	1,9	0,5	0,29	3,4
7.	7 "														

Tabelle 17.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	
		cm	Proz.
1.	90	33	33
	115	32,5	32,5
	140	35	35
	180	36	36
	210	36,5	36,5
	240	33,5	33,5
	280	36	36
	320	36	36
	350	33,5	33,5

Tabelle 19.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	
		cm	Proz.
1.	65 cm	34	34
2.	90 "	34	34

Tabelle 14.
Bodenproben aus einem Schachtloch im Gebiete der Gruppe 3 (b. R. B. 250).

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	
		cm	Proz.
1.	45 cm	35,4	35,4
2.	115 "	32,7	32,7
3.	220 "	35,5	35,5

Tabelle 8.
Bodenproben aus einem Bohrloch bei R. B. 289.

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens			Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten			Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten						Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient nach Hazen	
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	Korndurchmesser in Prozenten						Wirk-same Korn-größe nach Hazen	mm
											26 Proz.	83,5 Proz.	25,5 Proz.	82 Proz.	98 Proz.	>3 mm		
1	1 m	31 Proz.	26 Proz.	83,5 Proz.	25,5 Proz.	82 Proz.	98 Proz.	0,1	0,2	0,7	28,3	56,2	12,5	2,0	0,16			
2	2 "	30,4 "	28,5 "	94 "	28 "	92,5 "	98,5 "	0,9	0,6	1,7	34,3	52,7	8,6	1,2	0,21			
3	3 "	34 "	28 "	83 "	28 "	82 "	98,5 "	0,2	0,5	1,2	34,1	57,6	6,1	0,3	0,21			
4	4 "	32,3 "	28,5 "	89 "	28 "	87 "	98 "	0,5	0,5	1,9	54,6	39,7	2,5	0,3	0,24			
5	6 "	27,2 "	24 "	88 "	23,5 "	86 "	97,5 "	16,5	5,1	6,6	38,2	29,0	4,1	0,5	0,24			
6	8 "	23 "	20,5 "	89 "	12,5 "	54,5 "	61,5 "	68,5	8,6	7,3	11,7	3,3	0,4	0,1	0,72			

Tabelle 11.

Bodenproben aus einem Bohrloch im Gebiet der Gruppe III (R. B. 304/305).

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefeder Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens			Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten			Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten						Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient nach Hazen	
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	Korndurchmesser in Prozenten						Wirk-same Korn-größe nach Hazen	mm
											29 Proz.	93 Proz.	28 Proz.	89 Proz.	96 Proz.	>3 mm		
1	110 ccm	31 Proz.	29 Proz.	93 Proz.	28 Proz.	89 Proz.	96 Proz.	18,1 ¹⁾	0,8	2,5	46,8	29,1	1,3	0,25				
2	170 "	30 "	28 "	93 "	27,5 "	93 "	99,5 "	5,8	6,2	12,4	55,4	16,4	2,2	0,28				
3	330 "	30,5 "	28 "	92 "	27 "	90 "	97 "	1,9	1,9	6,6	59,3	28,7	1,2	0,26				

1) Einige sehr große Steine.

Tabelle 9.
Bodenproben aus einem Bohrloch im Bereich der Gruppe II (R. B. 104).

Nummer der Probe	Spalte 1.		Spalte 2.		Spalte 3.		Spalte 4.		Spalte 5.				Spalte 6.				
	Tiefe der Entnahme	Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	Erreichte Porenfüllung in Prozenten		Wasserbindende Kraft in Prozenten		a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens	Korndurchmesser in Prozenten				Wirkförmige Korngröße nach Hazen	Gleichförmigkeit nach Hazen			
			a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens			c) der erreichten Porenfüllung	<3 mm	2-3 mm	1-2 mm			0,4-1 mm	0,2-0,1 mm	<0,1 mm
1	60 cm	34,5	26	77	26	75	98	98	35,9	48,3	11,8	1,5	0,17	2,3			
2	150 "	31 "	26 "	84 "	25,5 "	83 "	97 "	97 "	39,4	39,4	6,8	1,2	0,21	2,8			
3	240 "	31 "	26,5 "	85 "	26 "	84 "	98 "	98 "	61,1	21,7	2,6	0,4	0,26	2,9			
4	300 "	31 "	28 "	91 "	28 "	90 "	99 "	99 "	55,8	30,2	8,5	1,2	0,22	2,8			
5	360 "	36,5 "	33 "	91 "	31 "	86 "	94 "	94 "	40,0	49,6	6,9	1,0	0,21	2,1			
6	410 "	32 "	27 "	84 "	27 "	83 "	98 "	98 "	48,1	41,9	5,4	0,8	0,22	2,5			
7	450 "	33,5 "	28 "	83 "	27 "	80 "	96 "	96 "	39,6	44,2	8,8	1,4	0,20	2,4			
8	470 "	35 "	30 "	87 "	29 "	85 "	98 "	98 "	20,5	56,0	17,8	0,5	0,15	2,3			
9	520 "	32 "	27 "	86,5 "	27 "	85 "	98,5 "	98,5 "	1,6	1,6	5,7	43,9	36,1	10,3	0,7	0,19	3,0
10	620 "	32 "	28 "	87 "	28 "	85 "	98 "	98 "	3,3	1,9	4,5	39,0	40,5	10,2	0,5	0,2	2,7
11	7-8 m	25 "	18 "	74 "	15 "	61 "	82 "	82 "	66,3	7,8	5,1	10,1	9,3	1,2	0,1	0,39	ca. 10

Tabelle 10.
Bodenproben aus einem Bohrloch in der Gruppe II (R. B. 110).

Nummer der Probe	Spalte 1.		Spalte 2.		Spalte 3.		Spalte 4.		Spalte 5.				Spalte 6.			
	Tiefe der Entnahme	Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	Erreichte Porenfüllung in Prozenten		Wasserbindende Kraft in Prozenten		a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens	Korndurchmesser in Prozenten				Wirkförmige Korngröße nach Hazen	Gleichförmigkeit nach Hazen		
			a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Porenvolumens			c) der erreichten Porenfüllung	>3 mm	2-3 mm	1-2 mm			0,4-1 mm	0,2-0,1 mm
1	130 cm	29	28	98,5	27	93	95	95	0,4	1,3	3,8	71,2	17,8	5,5	0,21	3,2
2	160-170	33	26	80	26	78	97	97	2,5	4,6	13,1	60,3	11,8	7,7	0,31	2,5
3	200	29	25	87	24	84	97	97	0,4	2,5	4,6	13,1	60,3	11,8	0,35	2,7
4	260	34,5	26	76	26	75	99	99	0,2	1,7	2,4	56,7	32,4	6,6	0,20	2,6
5	300	33,5	26	77	25	76	98	98	0,2	1,7	2,4	56,7	32,4	6,6	0,28	2,2
6	350	33	27	84	27	82	98	98	0,2	1,7	2,4	56,7	32,4	6,6	0,15	3,8
7	430	27	26,5	97	26	95,5	98	98	3,4	0,1					0,26	6
8	540	28	23	83	21	75	90	90	3,4	0,1					0,26	6

Tabelle 12.
Bodenproben aus einem Schachtloch im Gebiete der Gruppe 2 (2. Turm, Althafnass.)

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten		Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten		Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten				Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient Hazen		
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	1-2 mm	1/2-1 mm	1/4-1/2 mm	< 1/4 mm	Wirkungsame Korngröße nach mm	Gleichförmigkeitskoeffizient Hazen
1.	85 cm	27,8 Proz.						0	1,4	57,6	29,5	10,9	0,23	2,9
2.	130 "	30,1 "						1,7	5,3	74,8	15,8	0,9	0,39	2,0
3.	175 "	37,0 "						2,4	12,4	73,2	7,5	1,0	0,51	1,7
4.	200 "	35,6 "	29,5 Proz.	84 Proz.	25,7 Proz.	73,3 Proz.	87,2 Proz.	1,2	8,1	79,3	7,4	1,0	0,51	1,6
5.	220 "	38,1 "						0	0,5	35,8	57,1	5,6	0,27	1,8
6.	260 "	40,3 "						0,4	0,9	34,7	47,9	15,5	0,16	3,0

Tabelle 20.

Nummer der Probe	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	
	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	
1.	60 cm	36,5 Proz.
2.	100 "	35 "
3.	150 "	36 "
4.	175 "	32,5 "
5.	225 "	34 "
6.	270 "	32,5 "
7.	300 "	35 "
8.	350 "	36 "
9.	400 "	37,5 "
10.	450 "	37 "
11.	490 "	36 "

Tabelle 18.

Nummer der Probe	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens	
	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	
1.	35 cm	32,5 Proz.
2.	60 "	33,5 "
3.	100 "	31,5 "
4.	150 "	33,5 "
5.	175 "	34,5 "

Tabelle 13.
Bodenproben aus einem Schachtloch im Gebiete der Gruppe 3 (R. B. 250).

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten		Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten			Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient Hazen			
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	> 3 mm	2-3 mm	1-2 mm	$\frac{1}{2}-1$ mm	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$ mm	< $\frac{1}{4}$ mm	Wirkungsame Korngröße nach mm
1.	50 cm	32	31,2	97,6	97,6	30,7	96,0	98,4							
2.	75 "	35,8	"	"	94,5	33,6	"	97,5							
3.	95 "	36,5	"	"	"	"	"	"							
4.	130-140 cm	37,7	"	"	"	"	"	"							
5.	200 cm	33,6	30,2	90,2	"	29,9	"	99,1	6,6	8,6	10,6	60,6	11,7	1,8	0,43
6.	300 "	33,9	30,1	89,0	"	"	"	"	28,2	3,6	5,9	46,6	13,7	1,9	0,40
7.	530 "	29	29	100	"	28,6	"	98,7							

Tabelle 15.
Bodenproben aus einem Bohrloch im Gebiete der 2. Gruppe (Querprofil III).

Nummer der Probe	Spalte 1. Tiefe der Entnahme	Spalte 2. Porenvolumen in Prozenten des Bodenvolumens		Spalte 3. Erreichte Porenfüllung in Prozenten		Spalte 4. Wasserbindende Kraft in Prozenten			Spalte 5. Korndurchmesser in Prozenten			Spalte 6. Gleichförmigkeitskoeffizient Hazen			
		a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	a) des Bodenvolumens	b) des Bodenvolumens	c) der erreichten Porenfüllung	> 3 mm	2-3 mm	1-2 mm	$\frac{1}{2}-1$ mm	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$ mm	< $\frac{1}{4}$ mm	Wirkungsame Korngröße nach mm
1.	100 cm	33,4	35,2	100	92,6	92,6	92,6	92,6							
2.	150 "	32,8	29,6	90	28,0	85,4	"	94,6							
3.	200 "	36	31,4	"	30,3	83,8	"	96,5	0,8	0,8	1,2	72,7	19,8	4,6	0,32
4.	300 "	33	"	"	29	87,9	"	"							
5.	350 "	36	"	"	27,5	82,1	"	97,5	0,6	0,8	1,9	53,2	36,3	7,2	2,4
6.	400 "	33,5	28,2	"	27,7	82	"	96,2							
7.	450 "	33,8	28,8	"	24,7	78,5	"	94,6	1,1	1,8	5,5	59,5	24,2	7,0	0,28
8.	480 "	31,5	26,1	"	24,7	"	"	"							

verhalten sich die Proben der Tabelle 8. Bei den oberen vier beträgt das Volumen aller Bodenhohlräume zwischen 30,4 und 34, im Durchschnitt 31,9 Proz., die fünfte (6 m) hat 27,2 Proz., die sechste (8 m) 23 Proz. Ebenso haben in der Tabelle 9 die Proben aus den höheren Schichten ein größeres Porenvolumen von durchschnittlich 32,9 Proz. als die unterste (7—8 m Tiefe), deren Poren nur 25 Proz. des Bodenvolumens ausmachen. In der Tabelle 10 ist der Unterschied weniger deutlich, weil auch aus den oberen Schichten zwei Proben ein auffallend kleines Porenvolumen haben. Jedoch ist auch hier der Durchschnitt der oberen sieben Proben 31,3 Proz., während die tiefste nur 28 Proz. hat. Bei den Proben der Tabellen 11 und 12, die nicht unter 2,60 m hinabreichen, geht das Porenvolumen nirgends unter 30 Proz. herab, ebenso in den Tabellen 14—20 und 26. Die Durchschnittszahlen sind bei ihnen 30,5 Proz. (Tabelle 11), 34,8 Proz. (Tabelle 12), 34,5 Proz. (Tabelle 14), 33,6 Proz. (Tabelle 15), 36,8 Proz. (Tabelle 16), 34,9 Proz. (Tabelle 17), 33,1 Proz. (Tabelle 18), 34,0 Proz. (Tabelle 19), 35,3 Proz. (Tabelle 20) und 34,5 Proz. (Tabelle 26). Dagegen läßt die Tabelle 13 wieder die erwähnte Differenz deutlich erkennen. Die ersten sechs Proben haben durchschnittlich 35,9 Proz. Porenvolumen, die letzte, aus 530 cm Tiefe, hat 29 Proz. Die Ursache für dieses abweichende Verhalten einiger weniger Proben erkennt man, wenn man ihre Zusammensetzung (Spalte 5) betrachtet und mit der der anderen Proben vergleicht. Es sind durchweg Sande, die größere Mengen grober Bestandteile enthalten. Während den Proben mit größerem Porenvolumen, (von mehr als 30 Proz.), Sandkörner von mehr als 3 mm Durchmesser nur in ganz geringen, zum Teil verschwindenden Mengen beigemischt sind, haben die acht Proben mit kleinem Porenvolumen, (unter 30 Proz.), sehr erhebliche Beimengungen solcher grober Körner (39,3; 35,5; 24,8; 16,5; 68,5; 66,3; 32,7; 28,2 Proz.). Und zwar sind diese acht Proben die einzigen unter allen 102 untersuchten, die grobe Körner in größerer Anzahl enthalten. Es ist also nicht daran zu zweifeln, daß das geringere Porenvolumen dieser Proben mit ihrer von der Mehrzahl abweichenden Zusammensetzung im Zusammenhang steht. Die Erklärung dafür liegt sehr nahe. Theoretisch hat bei ganz gleichmäßiger Zusammensetzung des Bodens die Korngröße keine Bedeutung für das Gesamtvolumen der Poren. Mit Hilfe mathematischer Darlegungen haben Lang¹⁾ und Flügge²⁾ gezeigt, daß in einem Boden, der aus gleich großen und gleichmäßig geformten Bestandteilen zusammengesetzt ist, das Porenvolumen lediglich von der Dichtigkeit der Lagerung abhängt. Bei dichtester Lagerung beträgt es 25,95 Proz., bei lockerster 47,64 Proz.,

1) Lang, Über die Wärmekapazität der Bodenkonstituenten. Forschungen etc., Bd. 1.

2) Flügge, Beiträge zur Hygiene. II. Die Porosität des Bodens.

welche Größe auch die einzelnen Bodenbestandteile haben mögen. Anders verhält es sich aber in einem gemischten Boden. In einem Boden mit vielen groben Bestandteilen wird ein erheblicher Teil des gesamten Bodenvolumens von unporösem Material gebildet. Das verringert das Porenvolumen noch nicht, weil dafür die einzelnen Poren zwischen den groben Körnern entsprechend größer sind als in feinkörnigem Boden. Wenn aber außer dem groben Material auch genügend feine und feinste Elemente vorhanden sind, die in dem von den groben Körnern übrig gelassenen Raume etwa dasselbe Porenvolumen herstellen, wie es ein feinkörniger Boden hat, so muß eine Verkleinerung des gesamten Porenvolumens zustande kommen. Besonders schön tritt der Einfluß der gröberen Bestandteile in der Tabelle 8 hervor, wo eine deutliche Abstufung vorhanden ist. Durch dieses Verhalten der grobkörnigen Proben aus unserem Gelände wird die schon erwähnte Tatsache bestätigt, daß auch in den tiefen Kies-schichten sich reichliche Beimengungen von feineren Sanden vorfinden. Innerhalb der beiden großen Klassen, die nach Zusammensetzung und Porenvolumen deutlich geschieden sind, ist ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen diesen beiden Faktoren nicht zu erkennen.

Mit den von früheren Untersuchern für das Porenvolumen des gewachsenen Bodens ermittelten Zahlen stimmen die hier gefundenen Werte recht gut überein. Flügge¹⁾ fand bei zwei Sandproben 35,5 Proz., in sandigem Lehm 32,7 Proz., v. Schwarz²⁾ fand einen etwas höheren Wert, 39,4 Proz. Ramann^{3) 4)} ermittelte bei neun Proben aus 40—90 cm Tiefe 37,3—43 Proz.; seine Zahlen aus noch höheren Schichten können wegen des großen Humusgehaltes dieser Schichten nicht zum Vergleich herangezogen werden. Hübbe⁵⁾ gibt das Porenvolumen für Flußsand zu 34,6 Proz. an. Der Durchschnitt der 94 Proben feinen Sandes, die ich untersucht habe, beträgt 35,5 Proz., stimmt also namentlich mit den Zahlen von Flügge und Hübbe ausgezeichnet überein. Niedrigere Werte, die dem Durchschnitt der von mir untersuchten acht Proben mit gröberen Bestandteilen, 25,6 Proz., entsprechen, hat Veitmeyer⁶⁾ gefunden, nämlich 26,26 Proz. Auch das Porenvolumen eines von Ramann⁴⁾ untersuchten Sandbodens, der sich unter Moorboden befand, war ziemlich niedrig, nämlich 30,3 Proz.

1) Flügge, Beiträge zur Hygiene. II. Die Porosität des Bodens.

2) v. Schwarz, Vergleichende Versuche über die physikalischen Eigenschaften verschiedener Bodenarten. Bericht d. k. k. Landwirtsch. Versuchsstation 1870/77.

3) Ramann, Untersuchungen über Waldböden. Forschungen etc., Bd. 11.

4) Ramann, Bodenkunde.

5) Hübbe, zit. nach Ramann, Bodenkunde.

6) Veitmeyer, Vorarbeiten zu einer künftigen Wasserversorgung der Stadt Berlin, zit. nach Piefke, Beiträge zur Hydrognosie der Mark Brandenburg.

Zur Spalte 3 der Tabellen ist nur wenig zu bemerken. Die erreichte Porenfüllung beträgt bei 51 Proben im Minimum 74, im Maximum 100 Proz. des Porenvolumens und erreichte im Durchschnitt 87,6 Proz. Beziehungen zwischen der erreichten Porenfüllung einerseits und dem Porenvolumen oder der Zusammensetzung des Bodens andererseits sind nicht zu konstatieren. In der Literatur habe ich nur einmal eine Angabe über die Größe der erreichten Porenfüllung gefunden. Flüge fand, als er in eine Mischung von Kies und Sand von untenher Wasser eintreten ließ, daß nur 18,7 Proz. des Bodenvolumens gefüllt wurden, während das Porenvolumen 24,8 Proz. betrug; d. h. die Porenfüllung erreichte 76,7 Proz. des Porenvolumens.

Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß diese mangelhafte Füllung der Poren eine Schwierigkeit in der Beurteilung der Spalte 4, der „wasserbindenden Kraft“, mit sich bringt. Wir können nicht mit Sicherheit entscheiden, ob wir diese richtiger in Prozenten des Porenvolumens oder in Prozenten der „erreichten Porenfüllung“ angeben müßten. Auch ein Vergleich der gefundenen Werte mit der Zusammensetzung des Bodens und mit dem Porenvolumen gibt uns keinen Fingerzeig. Wir werden uns daher damit begnügen müssen, beide Werte anzugeben. Wenn wir hier wiederum, wie beim Porenvolumen, die beiden großen Gruppen unterscheiden: Proben, die lediglich aus feinem Sande bestehen, und solche, die auch erhebliche Beimengungen größerer Bestandteile enthalten, so gehören von den 51 auf ihre wasserbindende Kraft untersuchten Proben 43 zur ersten, 8 zur zweiten Gruppe. In der ersten Gruppe zeigt die wasserbindende Kraft in Prozenten des Porenvolumens größere Verschiedenheiten, entsprechend den großen Differenzen, die in der erreichten Porenfüllung bestehen; in Prozenten der erreichten Porenfüllung zeigt die wasserbindende Kraft gleichmäßigere Werte. Ihr Minimum in Prozenten des Porenvolumens ist 73,3, das Maximum 96; in Prozenten der erreichten Porenfüllung ist das Minimum 87,2, das Maximum 99,5. Die Durchschnittszahlen sind 85,1 und 95 Proz. In der zweiten Gruppe verhalten sich sechs Proben wie die der ersten Gruppe. Ihre wasserbindende Kraft beträgt im Durchschnitt 86,3 Proz. des Porenvolumens, 96 Proz. der erreichten Porenfüllung. Nur zwei Proben weichen davon erheblich ab, mit 54,5 und 61 Proz. vom Porenvolumen oder 61,5 und 82 Proz. der Porenfüllung. Es ist bemerkenswert, daß gerade diese beiden Proben auch inbezug auf ihre Zusammensetzung von den übrigen ihrer Gruppe deutlich verschieden sind. Während in den sechs anderen Proben die Menge der Körner von mehr als 3 mm Durchmesser zwischen 16,5 und 39 Proz. der Gesamtmenge liegt, beträgt sie in diesen beiden Proben 66 und 68,5 Proz.; in beiden ist auch die Zahl der feineren Körner, deren Durchmesser kleiner ist als 0,4 mm, erheblich geringer als in den anderen Proben.

Auch über die wasserbindende Kraft des Bodens sind in der Literatur nur wenige Angaben zu finden, die mit unseren Zahlen vergleichbar wären, da die meisten Untersuchungen mit gesiebttem Material angestellt worden sind. Doch zeigen diese Versuche mit gesiebttem Material deutlich die Abhängigkeit der wasserbindenden Kraft von der Korngröße. Die Tabellen 23, 24 und 25 geben die Resultate von Renk¹⁾, Hofmann²⁾ und Soyka³⁾ wieder.

Abhängigkeit der wasserbindenden Kraft von der Korngröße.

Tabelle 23. Nach Renk¹⁾.

Korngröße	Porenvolumen	Kleinste Kapazität (in Proz. des Porenvolumens)
4—7 mm	37,9 Proz.	12,5 Proz.
2—4 "	37,9 "	16,9 "
1—2 "	37,9 "	31,2 "
0,3—1 "	55,5 "	46,5 "
<0,3 "	55,5 "	77,4 "

Tabelle 24. Nach Hofmann²⁾.

5 mm	43,4 Proz.	12,7 Proz.
3—5 "	41,8 "	18,4 "
2—3 "	41,0 "	23,9 "
1—2 "	40,0 "	37,5 "
0,5—1 "	41,3 "	65,4 "
<0,5 "	41,3 "	84,0 "

Tabelle 25. Nach Soyka³⁾.

4—6 mm	35 Proz.	16,2 Proz.
2—4 "	36,4 "	19,7 "
1,2—2 "	36,9 "	37,0 "
0,6—1,2 "	37,9 "	78,6 "

Nach v. Schwarz⁴⁾ ist die wasserbindende Kraft des Quarzsandes 88,6 Proz. des Porenvolumens; andere Angaben, von Schübler⁵⁾, v. Liebenberg⁶⁾ 7), Mayer⁸⁾ 9), Wollny¹⁰⁾ u. a., lassen sich für unsere Zwecke nicht verwerten, weil alle diese Autoren die wasser-

1) Renk, Über die Permeabilität des Bodens für Luft. Zeitschr. f. Biologie, Bd. 15, S. 232.

2) Hofmann, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv f. Hygiene, Bd. 1, S. 279.

3) Soyka, Über den Einfluß des Bodens auf die Zersetzung organischer Substanzen.

4) v. Schwarz, l. c.

5) Schübler, l. c., zit. nach v. Fodor, Hygiene des Bodens, in Weyls Handbuch d. Hyg., S. 11.

6) v. Liebenberg, Über das Verhalten des Wassers im Boden. Diss. Halle 1873.

7) v. Liebenberg, Über den gegenwärtigen Stand der Bodenphysik. Forschungen etc., Bd. 1.

8) Mayer, Über die Bestimmungen der Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 3.

9) Mayer, Zur Theorie der Wasserkapazität von Ackererden und anderen porösen Medien. Forschungen etc., Bd. 14.

10) Wollny, Über die Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 8.

bindende Kraft in Prozenten des Gesamtvolumens des Bodens angegeben haben. Sie haben also nur die absolute Wassermenge ermittelt, die ein bestimmtes Bodenvolumen, z. B. 1 l, zurückhalten kann. Diese für die Landwirtschaft wichtige Frage bekommt für unsere Zwecke erst bei gleichzeitiger Feststellung des Porenvolumens Bedeutung, da uns nur das Verhältnis der festgehaltenen Wassermenge zum Porenvolumen interessiert. Aus dem Vergleich unserer Zahlen mit den in den Tabellen 23—25 mitgeteilten ergibt sich aber bereits, daß der Boden der Breslauer Grundwasserversorgungsanlage eine sehr große wasserbindende Kraft besitzt, wie sie nur außerordentlich feinkörnigem, hauptsächlich kapillare Poren enthaltendem Boden zukommt.

Was bedeutet diese Tatsache für die Durchlässigkeit dieses Bodens? Vor der Beantwortung dieser Frage müssen wir uns darüber klar werden, wie sich die vertikale Bewegung des Wassers im Boden unter natürlichen Bedingungen vollzieht.

Man unterscheidet nach dem Vorgang von Hofmann¹⁾ im Boden drei Zonen:

1. Die Verdunstungs- oder Austrocknungszone; sie reicht von der Oberfläche so weit hinab, wie sich noch eine austrocknende Wirkung der Luft bemerkbar macht. In dieser Zone schwankt der Wassergehalt sehr und sinkt zeitweise unter die Menge, die der wasserbindenden Kraft entspricht.

2. Unterhalb der Verdunstungszone folgt eine Schicht, die von der austrocknenden Wirkung der Luft nicht mehr erreicht wird, aus der aber alles Wasser infolge der Schwerkraft abwärts fließt, das nicht durch Flächenattraktion festgehalten wird. Diese Schicht bezeichnet man als Durchgangszone. Sie enthält stets so viel Wasser, wie die wasserbindende Kraft des Bodens beträgt.

3. Zwischen der Durchgangszone und dem Grundwasserspiegel befindet sich die Zone des kapillar gehobenen Grundwassers. Die kapillare Hebung beträgt je nach der Feinheit der Poren wenige Zentimeter bis zu $1\frac{1}{2}$ m und füllt die Bodenschichten über dem Grundwasser über ihre wasserbindende Kraft hinaus.

In der Grundwasserzone schließlich sind alle Poren mit Wasser gefüllt.

Wenn der Grundwasserspiegel sinkt, dann bleibt in der bisher vom Grundwasser eingenommenen Schicht doch so viel Wasser zurück, wie der wasserbindenden Kraft des betreffenden Bodens entspricht. Die bisherige Grundwasserzone verwandelt sich dadurch in Durchgangszone.

Diese von Hofmann auf Grund von Beobachtungen und Versuchen

1) Hofmann, Grundwasser und Bodenfeuchtigkeit. Archiv f. Hyg., Bd. 1.

aufgestellte Theorie ist allgemein angenommen worden. Wollny¹⁾ z. B. schreibt: „Man gewinnt mit Hofmann die Anschauung, daß zweckmäßig drei Zonen zu unterscheiden sind. Zunächst die oberflächliche Verdunstungszone, in der der Grad der Bodenfeuchtigkeit sehr schwankt und zwischen völliger Durchfeuchtung und starker Austrocknung wechselt; in dieser Zone kann zuweilen, wenn infolge der Sommerwärme die Austrocknung sich tiefer erstreckt, die ganze Menge der Spätsommer- und Herbstniederschläge Platz finden, ohne daß die Füllung der kapillaren Poren bis zur unteren Grenze der Zone hinabreicht. . . . Die Durchgangszone bezeichnet das Gebiet, das von einer Austrocknung niemals mehr erreicht wird, sondern stets die kapillaren Poren mit Wasser konserviert. Erhält diese Zone Zufluß von oben, so bleibt trotzdem der Wassergehalt der gleiche, indem der Überschuß nach unten abläuft und zwar in die dritte Zone, die des Grundwassers.“

Daß beim Fallen des Grundwassers der Boden nicht völlig leer wird, sondern größere Wassermengen kapillar festhält, wird z. B. auch von Piefke²⁾ hervorgehoben. Er schreibt: „Der Sand, in welchem der Grundwasserspiegel oscilliert, ist fast durchweg feinkörnig, oft sogar sehr feinkörnig. Hofmann gibt die absolute Kapazität derartigen Bodenmaterials auf 65—84 Proz. des freien Porenvolums an, im Mittel also auf 74,5 Proz. Von der 107,5 mm hohen Wassersäule, welche der Senkung des Grundwasserstandes um 430³⁾ mm entspricht, gelangen demnach nur 100—74,5 = 25,5 Proz. zum wirklichen Abfluß, die übrigen 74,5 Proz. bleiben als dauernde Durchfeuchtung zurück.“

Innerhalb der Durchgangszone ist der Wassergehalt nicht überall gleichmäßig. Vielmehr nimmt er, wie zahlreiche Untersuchungen von Mayer⁴⁾, Wollny⁵⁾, v. Liebenberg⁶⁾, Köhler⁷⁾ ergeben haben, von unten nach oben ab. Die Erklärung liegt darin, daß die wasserbindende Kraft von zwei einander entgegenarbeitenden Faktoren abhängig ist, von der Wirkung der Adhäsion und Kapillarität einerseits und der Wirkung der Schwerkraft andererseits. Bei gleichbleibender Kapillarität wird die wasserbindende Kraft um so geringer, je länger das Kapillarrohr wird, d. h. sie nimmt im Boden von unten nach oben ab, so daß die unteren Partien mehr Wasser zurückhalten als die

1) Wollny, Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 18, S. 27.

2) Piefke, Beiträge zur Hydrognosie der Mark Brandenburg, S. 10.

3) Bei einem Porenvolumen von 25 Proz. Anmerk. d. Verf.

4) Mayer, Das Verhalten erdarter Gemische gegen Wasser. Landwirtschaftliche Jahrbücher 1874, S. 755. Ferner: Über die Bestimmung der Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 3.

5) Wollny, Über die Wasserkapazität der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 8.

6) v. Liebenberg, Untersuchungen über das Verhalten des Wassers zum Boden. Diss. Halle 1873 und Über den gegenwärtigen Stand der Bodenphysik. Forschungen etc., Bd. 1.

7) Köhler, l. c.

oberen. In feinporigem Boden ist allerdings nach Wollny und Stahl-Schröder¹⁾ der Unterschied zwischen höheren und tieferen Schichten sehr gering, in sehr feinporigem Boden sogar verschwindend.

Danach kann man sich ein Bild machen von der Art und Weise, wie sich der Durchtritt des Wassers durch den Boden vollzieht.

Wenn oben eine mehr oder weniger trockene Zone von 1—2—3 m Ausdehnung vorhanden ist (Austrocknungs- oder Verdunstungszone) und nun eine Überflutung des Geländes stattfindet, so dringt das Überschwemmungswasser rasch ein und füllt die ganze Verdunstungszone wie einen trockenen oder halbtrockenen Schwamm. Solange der Wassergehalt der Verdunstungszone noch nicht die wasserbindende Kraft erreicht hat, wird das eingedrungene Wasser vollständig festgehalten. Sowie ein Überschuß vorhanden ist, fließt er abwärts und tritt in die Durchgangszone ein. Hier sind aber die meisten Poren bereits mit Wasser gefüllt. Das neue Wasser kann daher nur zum geringsten Teile tiefer dringen, die Hauptmenge lagert sich auf das Wasser der Durchgangszone auf und treibt es langsam abwärts. Dieser Vorgang spielt sich folgendermaßen ab: Das eindringende Wasser würde in der Durchgangszone die Poren der obersten Schicht über die wasserbindende Kraft des Bodens hinaus füllen. Das geschieht aber nicht, denn in demselben Augenblick, in dem das Wasser einzudringen beginnt, fließt aus der obersten Schicht das entsprechende Wasserquantum in die nächsttiefere, in demselben Augenblick aber auch aus dieser in die folgende, und so fort, bis schließlich der untersten Schicht der Durchgangszone aus der nächsthöheren dieselbe Wassermenge zufließt, die oben in die Durchgangszone eingetreten ist. Die tiefste Schicht der Durchgangszone wird dadurch über ihre wasserbindende Kraft gefüllt, und sie bleibt es, weil das überschüssige Wasser nicht tiefer sinken kann; denn in der darunterliegenden Grundwasserzone sind ja bereits alle Poren mit Wasser gefüllt. Die tiefste Schicht der Grundwasserzone wird also dadurch, daß sich alle ihre Poren füllen, zur Grundwasserzone, und der Spiegel des Grundwassers zeigt einen höheren Stand. Dieser Vorgang dauert an, solange Wasser oben in die Durchgangszone eintritt: immer erhält die jeweilig unterste Schicht der Durchgangszone den entsprechenden Zufluß aus der nächsthöheren, und der Grundwasserstand wird erhöht. Schließlich kann dadurch die gesamte Durchgangszone in Grundwasserzone umgewandelt werden.

Es findet also in feinkörnigem Boden kein einfaches Durchfließen des Überschwemmungswassers statt, sondern nur ein Vorschieben des alten Wasservorrats. Wollny²⁾ bemerkt hierzu: Wenn Regen

1) Stahl-Schröder, l. c.

2) Wollny, Untersuchungen über das Verhalten der atmosphärischen Niederschläge zur Pflanze und zum Boden. 3. Das Eindringen des Regens in den Boden. Forschungen etc., Bd. 13.

auf feuchten Boden fällt, so dringt die Feuchtigkeit tiefer. „Der Vorgang, der dann stattfindet, besteht je nach der physikalischen Beschaffenheit und dem Sättigungsgrade des Bodens entweder in einem Eindringen des aufgefallenen Wassers oder in einem Verdrängen der bereits vorhandenen Wasserteilchen durch die zugeführten. Ersteres in leicht durchlässigem Boden, der von der Sättigung noch weit entfernt ist, letzteres in den Fällen, wo der Boden der Bewegung des Wassers größere Hindernisse entgegenstellt und zur Zeit der Zufuhr größere Mengen davon einschließt.“

Erst wenn der alte Wasservorrat verdrängt ist, erreicht das Überschwemmungswasser die tiefen Schichten. Das dauert also um so länger, je mächtiger die Durchgangszone ist, und je mehr Wasser sie bereits enthält; und sie enthält um so mehr Wasser, je kleiner die Sandkörner, je feiner die Poren sind, je größer die wasserbindende Kraft des Bodens ist.

Jetzt können wir beurteilen, welche Bedeutung die wasserbindende Kraft für die Durchlässigkeit hat. Die Bestimmung der wasserbindenden Kraft, deren Resultate in den Tabellen 6—16 verzeichnet sind, gibt einen Anhaltspunkt dafür, welche große Quantitäten Wasser das Gebiet der Breslauer Grundwasserversorgungsanlage in seiner Durchgangszone dauernd festhält und somit auch zur Zeit der Katastrophe, vor Eintritt der Überschwemmung, enthalten hat. Diese großen Mengen mußten von dem eindringenden Überflutungswasser erst verdrängt werden, ehe dieses die Brunnenöffnungen erreichte. Was will den Millionen von Kubikmetern gegenüber, die die Durchgangszone erfüllten, das geringe Quantum von 30 000—40 000 cbm sagen, die dem Boden in 24 Stunden entzogen wurden. Mit der Existenz einer ausgeprägten Durchgangszone fällt die Durchlauftheorie.

Nun ist allerdings ihre Existenz bestritten worden, namentlich von Debusmann¹⁾. Dem Boden soll alles Wasser entzogen werden, wenn man es absaugt, wie es bei der Grundwasserentnahme geschehe und hier ein Jahr lang geschehen sei; daher habe der Boden zur Zeit der Katastrophe über dem Grundwasser und über der etwa $\frac{1}{2}$ m hohen Schicht des kapillar gehobenen Grundwassers „keinen Tropfen“ Wasser enthalten.

Die theoretische Grundlage dieses Einwandes erscheint zweifelhaft. Die Behauptung, daß dem Boden bei der Grundwasserentnahme Wasser durch Absaugen entzogen werde, beruht wohl auf unrichtigen Vorstellungen. Wird ein Rohrbrunnen in das Grundwasser gesenkt, so stellt sich im Rohr das Wasser bis zur Höhe des Grundwasser-

1) Debusmann, Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w. Teil I, S. 184. Ferner: Diskussionsbemerkung in der Hygienischen Sektion der Schles. Gesellschaft für vaterländische Kultur, 14. Januar 1908.

spiegels ein, dem Gesetze der kommunizierenden Röhren entsprechend. Das darüber befindliche Wasser der Durchgangszone, so reichlich es auch sein mag, kommt nicht zur Geltung, da es kapillar festgehalten wird und keinen Druck ausübt. Wird der Brunnen durch Absaugen des Wassers leer gepumpt, so tritt neues Wasser in ihn ein, und zwar wiederum, dem Gesetze der kommunizierenden Röhren entsprechend, bis zur Höhe des Grundwasserspiegels, ganz ebenso, wie wenn ein leeres Rohr frisch eingebracht worden wäre. Das wiederholt sich, solange Wasser aus dem Brunnen herausgepumpt wird. Wenn allmählich soviel Wasser in das Brunnenrohr eingetreten ist, daß die obersten Schichten der bisherigen Grundwasserzone nur noch entsprechend ihrer wasserbindenden Kraft gefüllt sind, wenn also der Grundwasserspiegel gesunken ist, so stellt sich auch im Brunnen das Wasser niedriger ein. Wenn schließlich der gesamte Überschuß über die wasserbindende Kraft des Bodens entfernt worden ist, so tritt kein Wasser mehr in den Brunnen ein, obwohl der Boden noch große Wassermengen enthalten kann. Eine Saugwirkung im Boden kommt dabei nicht in Frage. Aus gelegentlichen Bemerkungen in der Literatur kann man schließen, daß auch bei den Hydrologen die Auffassung herrscht, daß man dem Boden bei der Grundwasserentnahme nur den Überschuß über seine wasserbindende Kraft entziehen kann. So schreibt Herzberg¹⁾: „Wenn man einen Dauerpumpversuch macht, so werden die Brunnen sehr bald leer, obgleich das ganze umgebende Gebiet noch voll Wasser ist; . . . es genügt nicht, daß man viel Wasser in den Oberflächenschichten hat, sondern man muß es auch herauskriegen.“ Haedicke²⁾ hat sogar eine besondere Methode angegeben, durch die man dem Boden auch das kapillar festgehaltene Wasser, das durch Pumpen nicht gewonnen werden könne, entziehen soll: „Der feuchte Sand hält die Flüssigkeit gegen Abtropfen bzw. Absickern fest, während der nasse Sand abtropfbare Flüssigkeit enthält, die die Poren durchaus ausfüllt. . . . Unsere Aufgabe ist es nun, dem feuchten Boden Wasser abzuringen; dem nassen Boden können wir durch die Pumpe Wasser entziehen.“ Diese Aufgabe soll durch einen Kapillarkörper einer höheren Ordnung als Sand, z. B. durch Asbest, erfüllt werden. Gottstein³⁾ hat zwar einige Beobachtungen erwähnt, die das Vorhandensein einer Saugwirkung im Boden bei der Grundwasserförderung demonstrieren sollen, z. B. die gelegentlich vorkommende Austrocknung umfangreicher Teiche durch einen nahegele-

1) Herzberg, Über die Wasserversorgung einiger Nordseeinseln. Gesundheitsingenieur, 1901, Nr. 22.

2) Haedicke, Die Gewinnung von Wasser in trockenen Gegenden. Gesundheitsingenieur, 1907, Nr. 31.

3) Gottstein, Diskussionsbemerkung in der Hygienischen Sektion der Schlesischen Gesellschaft für Vaterländische Kultur, 14. Januar 1908.

genen Brunnen bei starker Absenkung des Grundwasserspiegels. In diesem Vorgang ist jedoch eine Saugwirkung nicht zu erkennen. Wenn der Boden durch die Absenkung des Grundwasserspiegels eines Teils seines Wassers beraubt wird, dann dringt soviel Wasser, wie weggenommen worden ist, aus dem Teiche nach, vorausgesetzt, daß die Sohle durchlässig ist, und daß der Teich in dem Absenkungsgebiete des Brunnens liegt. Wird aus dem Brunnen immer wieder Wasser ausgepumpt, wobei der Boden stets seinen Überschuß über die wasserbindende Kraft hergibt, so sickert auch immer wieder Wasser aus dem Teich nach, und dieser kann allmählich austrocknen — lediglich infolge der Wirkung der Schwerkraft. Im Boden wird die Wirkung der Schwerkraft durch die Kapillarität teilweise aufgehoben, so daß ein Teil des Wassers zurückgehalten wird. Das Wasser im Teich dagegen unterliegt lediglich der Schwerkraft, die hier keine Einschränkung durch entgegenwirkende Flächenattraktion erleidet. Es versickert daher vollständig im Boden, sowie es darin Platz findet.

Aber die Bedenken, die gegen das Bestehen der Durchgangszone vorgebracht worden sind, entbehren nicht nur einer gesicherten theoretischen Grundlage: auch wenn sie berechtigt wären, ließen sich aus ihnen keine Schlußfolgerungen über die tatsächlichen Verhältnisse ableiten. Mögen wir selbst zugeben, daß die Frage, ob wir das Grundwasser beim Abpumpen aus dem Boden „ansaugen“, noch theoretisch ihrer sicheren Entscheidung harre. Für die uns hauptsächlich interessierende Frage, ob der Boden leergesogen werde, ist die Entscheidung von geringer Bedeutung. Vorhin ist schon darauf hingewiesen worden, daß die wasserbindende Kraft eine zusammengesetzte Größe ist, die von der Kapillarität einerseits, von der Schwerkraft oder der Größe des entgegenwirkenden Zuges andererseits abhängt. Unter gewöhnlichen Verhältnissen hat die Flächenattraktion nur die Schwerkraft zu überwinden. Träte bei der Grundwasserentnahme zu dieser noch eine Saugspannung, so würde bei gleichbleibender Flächenattraktion die wasserbindende Kraft geringer werden. Welchen Wert sie annehmen oder ob sie gar ganz verschwinden würde, das hinge in jedem einzelnen Falle von der Größe der beiden Faktoren ab. Es könnte also nicht theoretisch entschieden werden, sondern es müßte für jeden Boden und für jede Grundwasserabsenkung durch besondere Untersuchungen ermittelt werden.

Aus der Zeit vor der Katastrophe liegen Untersuchungen in dieser Richtung nicht vor. Da aber die Verhältnisse nach der Katastrophe in dieser Beziehung ganz unverändert geblieben sind, so müssen die Resultate neuerer Untersuchungen auch für die früheren Perioden Geltung haben.

Man kann sich von dem Bestehen der Durchgangszone in unserem Gelände — trotz Grundwasserförderung und Absenkung — leicht

überzeugen, wenn man den Wassergehalt der Bodenschichten über dem Grundwasser ermittelt und mit dem Grundwasserstand in einem benachbarten Brunnen oder Beobachtungsrohre vergleicht.

Ich habe zu diesem Zwecke zwei Schächtlöcher anlegen lassen. Das eine befand sich im Gebiete der Gruppe 2, zwischen den Rohrbrunnen 59 und 60, unmittelbar in der Brunnenlinie. Der Grundwasserspiegel war, wie die Messung in dem benachbarten Brunnen ergab, um 460 cm von der Oberfläche des Terrains abgesenkt. In verschiedenen Tiefen wurden an zwei gegenüberliegenden Wänden der Grube je zwei Erdproben mit dem Flüggesehen Apparat entnommen, die ersten beiden in einer Tiefe von 70 cm. Als die Schachtgrube 370 cm erreicht hatte, begann sie sich mit Wasser zu füllen; wahrscheinlich war hier die Schicht des kapillar gehobenen Grundwassers erreicht worden. Den Wassergehalt der höheren Schichten gibt die Tabelle 26 wieder.

Tabelle 26.

Wassergehalt der Durchgangszone in einem Schachtloch zwischen R. B. 60 und 61.

Tiefe der Entnahme	Porenvolumen	Wassergehalt in Prozenten	
		a) des Bodenvolums	b) des Porenvolums
70 cm, 1. Probe	34,33 Proz.	22,9 Proz.	66 Proz.
70 „ 2. „	36 „	24,3 „	67,5 „
150 „ 1. „	35,2 „	22,5 „	64 „
150 „ 2. „	31 „	20,2 „	65 „
220 „ 1. „	34,1 „	22,7 „	66,2 „
220 „ 2. „	33,2 „	21,9 „	65,7 „
280 „ 1. „	36 „	23,1 „	64,2 „
280 „ 2. „	35,66 „	22,7 „	63,75 „
320 „ 1. „	38 „	30,4 „	80 „
320 „ 2. „	30 „	21 „	70 „
360 „ 1. „	35,66 „	22,1 „	62 „
360 „ 2. „	35 „	23,3 „	66 „
Im Durchschnitt	34,5 „	23,1 „	67 „

Die andere Untersuchung wurde im Gebiete der 1. Gruppe vorgenommen. Hier war der Grundwasserspiegel, wie die Messung in dem wenige Meter entfernten Rohrbrunnen ergab, um 360 cm abgesenkt. Die ausgeschachtete Grube aber füllte sich schon bei 160 cm mit Wasser, nachdem bereits die vorhergehenden Schichten von 50 cm ab nahezu gesättigt gewesen waren. Hier waren also schon in der Durchgangszone fast alle Poren mit Wasser gefüllt.

Nun könnte ja eingewendet werden, daß es sich hier möglicherweise um lokale Besonderheiten gehandelt habe. Wenn das auch

wenig wahrscheinlich ist, so ist doch zuzugeben, daß im Gelände an verschiedenen Stellen ganz verschiedene Verhältnisse herrschen können, über die zwei Schachtlöcher keinen erschöpfenden Aufschluß geben. Es liegen aber einige Beobachtungen vor, die mit Sicherheit beweisen, daß der gesamte Boden unserer Anlage bei der Entnahme des Grundwassers nur einen Bruchteil seines Wasservorrats hergibt. Diese Beobachtungen beziehen sich auf die starken Schwankungen des Grundwasserspiegels in ganz kurzer Zeit bei verschiedener Inanspruchnahme des Werkes. Die Förderung ganz geringer Wassermengen innerhalb von 24 Stunden hat bereits eine starke Absenkung des Grundwasserspiegels zur Folge. So wurde bei Beginn des Abpumpens der Wasserspiegel in der Gruppe 3 binnen 24 Stunden um 4—5 m abgesenkt. Der Teil des Bodens, der von den beiden Kurven des Grundwasserspiegels (vor und nach der Absenkung) eingeschlossen wird, enthält ein Vielfaches der Wassermenge, deren Entnahme die Absenkung bewirkte. Diese Erscheinung wäre unverständlich, wenn nicht das Fortbestehen der Durchgangszone die Erklärung bieten würde. Nur der Überschuß über die wasserbindende Kraft wurde dem Boden entzogen, die Hauptmenge des Wassers blieb darin zurück. Auf den Stand des Grundwasserspiegels hat aber das zurückbleibende Wasser keinen Einfluß, weil es kapillar festgehalten ist und daher keinen Druck ausübt.

Dieses schnelle Sinken des Grundwasserspiegels wiederholte sich, so oft nach einer Betriebspause das Abpumpen wieder begann. Nach den Protokollen des Wasserwerks¹⁾ wurden z. B. vom 24. Sept. 1906 vormittags 6 Uhr bis zum 25. Sept. 1906 vormittags 6 Uhr 18 000 cbm Wasser gefördert. Dadurch wurde der Grundwasserspiegel um 130 cm in der Brunnenlinie abgesenkt. Nimmt man an, daß sich die Absenkungskurve nach beiden Seiten auch nur 50 m weit erstreckte, so berechnet sich der Wassergehalt des „entleerten“ Bodenabschnittes auf über 100 000 cbm. Da aber in dieser Zeit nur 18 000 cbm entnommen worden sind, so ist der Schluß gerechtfertigt, daß die Entleerung des von den beiden Spiegelkurven eingeschlossenen Bodenteiles nur scheinbar war, und daß sie nur durch die Absenkung des Grundwasserspiegels vorgetäuscht wurde.

Das letzterwähnte Beispiel ist noch in anderer Beziehung lehrreich. Die geringe Durchlässigkeit des Terrains läßt sich daraus direkt ableiten. Denn die starke Absenkung binnen 24 Stunden erfolgte, als das ganze Gelände unter Wasser stand. Nicht einmal 18 000 cbm also konnten so schnell einsickern, daß ein Ausgleich erfolgte. Vielmehr hob sich erst nach weiteren 7 Stunden, in denen noch 5200 cbm herausgepumpt wurden, der Wasserspiegel wieder um 80 cm, also

1) Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w., I, S. 93.

um 61 Proz. der vorangegangenen Absenkung. Solange dauerte es also, bis etwa $\frac{61 \times 23\,000}{100} = 14\,000$ cbm in den Boden eingedrungen waren, unter dem Druck eines meterhohen Überschwemmungswassers.

Noch eindeutiger ist die starke Hebung des Grundwasserspiegels, die bei kurzdauerndem Stillstand der Anlage eintritt. Denn gegen die Beweiskraft der starken Absenkung könnte immerhin das Bedenken geltend gemacht werden, daß die seitliche Ausdehnung der Absenkungskurve nach 24 Stunden nicht gemessen worden ist. Eine genaue Berechnung der von den beiden Grundwasserspiegeln eingeschlossenen Wassermenge ist daher nicht möglich. Aber dieses Bedenken fällt weg, wenn es sich um die Hebung des Grundwasserspiegels durch kurze Betriebspausen handelt. Denn hier ist die seitliche Ausdehnung, die die Absenkungskurve vor der Pause hatte, genau bekannt. Wir wissen, daß es sich nicht um einen tiefen Absenkungstrichter handelt, sondern daß seine Begrenzung eine sehr flache, an den Brunnen fast horizontal verlaufende Linie ist, die sich über einen Kilometer weit seitlich erstreckt. Steigt nun der Grundwasserspiegel beispielsweise um 2 m in der Brunnenlinie, so kann sich die Steigerung unmöglich nur auf einen schmalen Streifen um die Brunnen herum beziehen, sondern sie muß seitlich mindestens bis zu dem Punkte der früheren Spiegelkurve reichen, der in einer Höhe mit dem jetzigen Grundwasserspiegel in den Brunnen liegt. Wollte man annehmen, daß der Boden über dem Grundwasserspiegel völlig leergepumpt gewesen wäre, dann würde dieser — bei jedem Stillstand der Anlage, auch ohne gleichzeitige Überschwemmung, beobachtete — Anstieg einen Grundwasserstrom voraussetzen, der der Anlage täglich viele Hunderttausende, ja Millionen Kubikmeter Wasser zuführte, — eine Voraussetzung, die mit der nachgewiesenen geringen Ergiebigkeit der Anlage in Widerspruch steht. Auch hier gibt die Existenz der Durchgangszone die Erklärung. Wenn die Differenz zwischen dem Wassergehalt der Durchgangszone, d. h. zwischen der wasserbindenden Kraft des Bodens und dem gesamten Porenvolumen ausgefüllt ist, so steigt der Grundwasserspiegel. Die Tatsache, daß dazu so geringe Mengen genügen, wie sie dem Gelände erfahrungsgemäß in 24 Stunden zufließen, beweist, daß diese Differenz gering ist, daß die vorangegangene Absenkung des Grundwasserspiegels den Poren des Bodens den größten Teil ihres Wassergehaltes gelassen hatte.

Die Existenz einer Durchgangszone halte ich daher sowohl für theoretisch begründet, als auch für praktisch erwiesen. Damit ist auch die Unmöglichkeit gegeben, daß Überschwemmungswasser in wenigen Stunden durch den Boden durchlaufe; die erste Frage, deren Erörterung unsere Untersuchungen dienen sollten, kann dahin be-

antwortet werden, daß der Boden des Breslauer Grundwassergeländes sehr wenig durchlässig ist.

Gegen diese Feststellung sind von den Anhängern der Durchlaufhypothese einige Einwendungen geltend gemacht worden. Zunächst wurde betont, daß, wenn auch das Gelände im allgemeinen feinporig sei, sich doch infolge der Trockenheit des Jahres 1904 tiefe Trockenrisse und Spalten gebildet hätten, durch die das Wasser mit großer Geschwindigkeit hindurchschießen könne.

Die Berechtigung dieses Einwandes kann nicht anerkannt werden. Daß sich im Schlick bei seiner Austrocknung grobe Risse und Spalten bilden können, ist bereits oben als einer der Gründe erwähnt worden, warum der Schlick bei den Bodenuntersuchungen vernachlässigt wurde. Dagegen muß entschieden bestritten werden, daß in austrocknendem Sande Spaltenbildung eintritt. Eine Vorbedingung dafür wäre, daß der Sand beim Austrocknen eine Volumenveränderung erfahre. Über diese Frage liegen einige exakte Untersuchungen vor, die sämtlich dasselbe Ergebnis gehabt haben. Nach Wollny¹⁾ kann, da die humusfreien Sandböden keine Kohärenz besitzen, schon von vornherein geschlossen werden, daß sie keine Spaltbildung aufweisen. Nach Schübler²⁾ bleibt das Volumen des Quarzsandes beim Austrocknen völlig unverändert, während ledden- und lehmartiger Ton ihr Volumen um ca. 10 Proz. verringern, Lette von 1000 auf 940, Lehm von 1000 auf 910. Zu genau demselben Resultat bezüglich des Sandes kommt Haberlandt³⁾. v. Schwarz⁴⁾ hat folgende instruktive Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 27 (nach v. Schwarz⁴⁾).

	Das Volumen von 100 ccm feuchten Bodens ist nach dem Trocknen	Das Volumen von 100 ccm trocknen Bodens ist nach der Imbibition
Moor	39,8 ccm	—
Ton	70,2 „	142,4 ccm
Lehm	83,2 „	119,2 „
Sand	100,0 „	100,0 „

Es ist nach alledem nicht einzusehen, wie im Sandboden unserer Anlage eine Bildung von Trockenrissen hätte erfolgen können, selbst wenn eine völlige Austrocknung der tieferen Schichten stattgefunden hätte.

1) Wollny, Untersuchungen über die Volumenveränderungen der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 20.

2) Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie, Leipzig, 1838, zit. nach Wollny.

3) Haberlandt, Fühlings landwirtschaftliche Zeitschrift, 1877, Heft 7, zit. nach Wollny.

4) v. Schwarz, l. c.

Außer diesem theoretischen Einwand sind einige Beobachtungen mitgeteilt worden, die den Boden als außerordentlich leicht durchlässig erweisen sollen.

So teilt Debusmann in einem Bericht an den Magistrat vom 21. Juli 1906 mit, daß am 20. Juli in einer kleinen Geländemulde von 1500 qm, die mit einer Schlickschicht von 0,3—0,76 m bedeckt ist, etwa 1100 cbm Wasser innerhalb 12 Stunden versickert sind. Beyschlag¹⁾ und Lührig²⁾ folgern daraus die Leichtdurchlässigkeit des Geländes. Die Richtigkeit dieser Schlußfolgerung kann ich nicht anerkennen, da sie die quantitativen Verhältnisse nicht genügend berücksichtigt. Ende Juli dürfte die Schlickschicht teilweise ausgetrocknet gewesen sein. Dann konnten aber die 1100 cbm Wasser auf einer Fläche von 1500 qm von einer ca. 50 cm starken Schlickschicht vollständig aufgenommen werden. Diese Beobachtung bestätigt also nur die Tatsache, daß die Verdunstungszone, die hier nur etwa $\frac{1}{2}$ m tief zu sein brauchte, sich ziemlich schnell mit Wasser füllen kann, — wie ein trockner oder halbtrockner Schwamm. Daß dieses Wasser nicht bloß in den Boden eindringt, sondern durch ihn hindurch bis in die Tiefe der Grundwasserentnahme, dafür gibt sie keinen Anhaltspunkt, und noch weniger über die Zeit, in der der Durchtritt etwa erfolgen könnte.

Ferner hat Debusmann eine experimentelle Bestimmung der Durchlässigkeit im Gelände selbst versucht, deren Resultate ebenfalls die große Durchlässigkeit des Bodens erweisen sollen.

Von vornherein erscheint dieser Weg der Durchlässigkeitsbestimmung zweckmäßig und einfach. Wenn man auf irgend eine Stelle des Geländes Wasser aufbringt; wenn man diesem Wasser künstlich Stoffe beimengt, die dem Grundwasser fremd sind, und die sich andererseits leicht in ihm wiederfinden lassen; und wenn man schließlich das Grundwasser an dieser Stelle in kleinen Zeitabständen untersucht, so erhält man genaue zeitliche Angaben über den Durchtritt des Oberflächenwassers und über die Durchlässigkeit des Bodens an dieser Stelle. Wird der Versuch an mehreren, möglichst verschiedenen Stellen wiederholt, so erhält man auch ein Bild von der Durchlässigkeit des gesamten Geländes. Aber wenn dieses Experiment Beweiskraft haben soll, so ist eine Vorbedingung unerlässlich: es muß in gewachsenem Boden angestellt werden. Es darf nicht eine Stelle im Gelände gewählt werden, wo der Boden durch tiefgreifende Erdarbeiten durchwühlt und in seiner Struktur völlig verändert worden ist. Ja, wenn der größte oder auch nur ein großer Teil des Geländes solche künstliche Umwälzungen erfahren hätte! Aber diese Stellen machen doch nur einen verschwindend kleinen Teil des ganzen Ge-

1) Beyschlag, Gutachten in „Ergebnisse der Untersuchungen etc.“, S. 39.

2) Lührig, l. c., Bd. 13, S. 456.

bietet aus; zur Zeit der Katastrophe kam fast nur die Brunnenstrecke selbst in Betracht. Daß die ganze Katastrophe lediglich auf den Durchtritt von Wasser in der Brunnenlinie, an den Wandungen der Brunnen hinunter, zurückzuführen sei, ist niemals behauptet worden; eine solche Erklärung würde auch, wie sich noch zeigen wird, mit dem ganzen Verlauf der Katastrophe im Widerspruch stehen.

Die Erfüllung dieser Grundforderung stößt insofern auf Schwierigkeiten, als ja zur Entnahme des Grundwassers für die fortlaufende Untersuchung Erdarbeiten notwendig sind. Daraus ergibt sich, daß die künstliche Überflutung des Bodens möglichst entfernt von dem zu beeinflussenden Brunnen erfolgen muß, selbstverständlich aber innerhalb des Absenkungstrichters.

Die beiden Versuche, die Debusmann angestellt hat, lassen diese Fehlerquelle ganz außer Acht; man darf daher ihre Ergebnisse nicht verallgemeinern. Trotzdem sollen sie im Folgenden besprochen werden, weil sie mehrfach als Stütze der Durchlauftheorie angeführt worden sind, z. B. von Beyschlag¹⁾, und weil sich zeigen läßt, daß ihre Resultate das nicht rechtfertigen. Die Versuche sind beschrieben in der vom Magistrat herausgegebenen Denkschrift: „Ergebnisse der Untersuchungen über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung in Breslau“, S. 27—34.

Die beiden Versuche wurden am 8. und am 15. Aug. 1906 an den Rohrbrunnen 223 und 291 angestellt. Der Rohrbrunnen 223 wurde mit einem kleinen, ca. 40 cm hohen kreisrunden Damm umschüttet. Der Damm umfaßte eine Fläche von 150 qm. Diese Fläche wurde mit 400 kg Kochsalz bestreut, so daß sie in ihrer ganzen Ausdehnung ziemlich gleichmäßig bedeckt war. Aus zwei nahegelegenen Rohrbrunnen wurde Wasser auf die eingedeichte Fläche gepumpt. Der Brunnen 223 selbst blieb an die Rohrleitung angeschlossen. In bestimmten Zeitabständen wurden aus ihm Proben entnommen, die auf ihren Chlorgehalt untersucht wurden. Das Aufpumpen des Wassers begann vormittags 7 Uhr und wurde 12 Stunden lang fortgesetzt. In der Tabelle 28 sind die Zahlen für den Chlorgehalt der einzelnen Proben verzeichnet.

Die Entnahme des Wassers zur Untersuchung erfolgte durch das Beobachtungsrohr, dessen untere Öffnung, durch die das Wasser allein eintreten kann, beim R. B. 223 10,03 m unter Terrain liegt. Da das Wasser beim Erreichen des Filterkorbes, der 3 m höher beginnt, sich sofort mit dem Wasser im Brunnen vermischt, so hatte es im Boden einen Weg von $10,03 - 3 = 7$ m zurückzulegen. Der erste merkliche Anstieg des Chlorgehaltes erfolgte um 1 Uhr nachts, also 18 Stunden nach dem Beginn des Aufpumpens. Die Geschwindigkeit berechnet

¹⁾ Beyschlag, „Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w.“, Teil I, S. 40; ferner Beyschlag und Michael, l. c.

Tabelle 28.

Kochsalzversuch bei R. B. 223.

Zeit	Chlorgehalt	Zeit	Chlorgehalt
15. Aug. 6 ¹⁵ vorm.	7,5 mg im Liter	15. Aug. 5 ³⁰ nachm.	9,0 mg im Liter
9 "	7,0 " " "	6 "	11,0 " " "
10 "	9,0 " " "	6 ³⁰ "	9,0 " " "
11 "	8,0 " " "	7 "	9,0 " " "
11 ³⁰ "	8,0 " " "	8 "	8,0 " " "
12 mittags	9,0 " " "	9 "	9,0 " " "
12 ³⁰ nachm.	8,0 " " "	10 "	10,0 " " "
1 "	9,0 " " "	11 "	8,0 " " "
1 ³⁰ "	9,0 " " "	12 "	9,0 " " "
2 "	11,0 " " "	16. Aug. 1 vorm.	16,0 " " "
2 ³⁰ "	9,0 " " "	3 "	17,0 " " "
3 "	11,0 " " "	5 "	16,0 " " "
3 ³⁰ "	10,0 " " "	6 "	18,0 " " "
4 "	9,0 " " "	7 "	19,0 " " "
4 ³⁰ "	9,0 " " "	8 "	17,0 " " "
5 "	—	9 "	18,0 " " "

sich daher zu $\frac{7}{18} = 0,39$ m in der Stunde¹⁾. Und wohlgermerkt! Nach

18 Stunden waren minimale Spuren des aufgepumpten Wassers dem geförderten Grundwasser beigemischt. Die Steigerung beträgt 8—10 mg im Liter. Die Konzentration der einsickernden Salzlösung ist leider nicht festgestellt worden. Bei der leichten Löslichkeit des Kochsalzes ist anzunehmen, daß zu Beginn des Versuchs eine gesättigte, also etwa 35-proz. Lösung einsickerte. Nehmen wir nur eine 20-proz. Kochsalzlösung an, also einen Chlorgehalt von etwa 12,19 Proz., so enthielt von dem eindringenden Wasser der Liter 122 000 mg Chlor. Diese bewirkten im Grundwasser eine Steigerung des Chlorgehaltes um 8—10 mg, also eine minimale Steigerung, die mit der Vermehrung des Eisengehalts bei der Katastrophe gar nicht verglichen werden kann.

Etwas ergebnisreicher war der Versuch bei R. B. 291, dessen Anordnung ganz ähnlich war. Aber auch hier zeigt die nähere Betrachtung, daß er zur Erklärung der Katastrophe nicht herangezogen werden kann. Die Tabelle 29 zeigt das Ansteigen des Chlorgehalts im R. B. 291.

Der Versuch begann um 6³⁰ vormittags. Um 4³⁰ nachmittags, also nach 10 Stunden, machte sich die erste Steigerung des Chlor-

1) Die Angabe der „Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w.“ S. 29, daß die Geschwindigkeit in diesem Versuche 1,43 m in der Stunde betragen habe, beruht auf der irrthümlichen Annahme, daß die erste Steigerung des Chlorgehalts im Grundwasser bereits sieben Stunden nach dem Beginn des Versuchs eingetreten sei, sowie auf der gleichfalls irrigen Auffassung, daß das eindringende Wasser dabei einen Weg von 10 m hätte zurücklegen müssen.

Tabelle 29.
Kochsalzversuch bei R. B. 291.

Zeit	Chlor- gehalt	Zeit	Chlor- gehalt	Zeit	Chlor- gehalt	Zeit	Chlorgehalt
8. Aug. 6 ³⁰ vorm.	7,0 mg i. L.	8. Aug. 1 ³⁰ nachm.	—	8. Aug. 8 nachm.	35,0 mg i. L.	9. Aug. 2 ³⁰ vorm.	97,0 mg i. L.
7 ³⁰ "	8,0 " " "	2 "	—	8 ³⁰ "	35,0 " " "	3 "	98,0 " " "
8 "	9,0 " " "	2 ³⁰ "	—	9 "	35,0 " " "	3 ³⁰ "	99,0 " " "
8 ³⁰ "	8,0 " " "	3 "	—	9 ³⁰ "	34,0 " " "	4 "	100,0 " " "
9 "	8,0 " " "	3 ³⁰ "	9,0 mg i. L.	10 "	36,0 " " "	4 ³⁰ "	104,0 " " "
9 ³⁰ "	7,0 " " "	4 "	—	10 ³⁰ "	40,0 " " "	5 "	105,0 " " "
10 "	6,0 " " "	4 ³⁰ "	14,0 mg i. L.	11 "	48,0 " " "	5 ³⁰ "	104,0 " " "
10 ³⁰ "	9,0 " " "	5 "	20,0 " " "	11 ³⁰ "	66,0 " " "	6 "	105,0 " " "
11 "	8,0 " " "	5 ³⁰ "	17,0 " " "	12 "	74,0 " " "	6 ³⁰ "	103,0 " " "
11 ³⁰ "	—	6 "	19,0 " " "	9. Aug.			
12 "	—	6 ³⁰ "	20,0 " " "	12 ³⁰ vorm.	83,0 " " "	7 "	—
12 ³⁰ nachm.	—	7 "	22,0 " " "	1 "	90,0 " " "	8 "	—
1 "	7,0 mg i. L.	7 ³⁰ "	20,0 " " "	1 ³⁰ "	92,0 " " "	9 "	103,0 mg i. L.
				2 "	94,0 " " "	10 "	97,0 " " "

gehalts bemerkbar. Diese Zeit würde der Katastrophe gut entsprechen, denn bei dieser sollen nach der Ansicht der Durchlauftheorie 12 Stunden auf den Durchtritt des Wassers durch den Boden, 6 Stunden auf den Weg in der Fassungsleitung von der 3. Gruppe bis zum Sammelbrunnen in Schwentnig entfallen. Aber dennoch besteht zwischen dem Verlauf dieses Versuches und dem Verlauf der Katastrophe noch eine große Differenz. Im Versuche waren nach 10 Stunden die ersten Spuren des Oberflächenwassers dem Grundwasser beige-mengt, die eine Steigerung um 5—6 mg Cl im Liter bewirkten. Nach 12 Stunden war der Chlorgehalt erst um 11—12 mg im Liter gestiegen, und nach 23 Stunden erreichte er seine stärkste Konzentration, nachdem er insgesamt um 90 mg gestiegen war. Bei der Katastrophe dagegen war nach 12 Stunden bereits das Maximum des Anstieges erreicht, dem dann ein langsames Sinken folgte. Nun ist ja ohne weiteres die Möglichkeit zuzugeben, daß auch die Katastrophe einen ganz allmählichen Beginn gehabt habe, der nur nicht bemerkt wurde, weil zur Zeit der ersten Untersuchung bereits die höchste Konzentration erreicht war. Dann wäre aber die im Versuche bei R. B. 291 ermittelte Geschwindigkeit nur etwa halb so groß gewesen, wie sie die Durchlauftheorie für das ganze Gelände annimmt. Wir würden dann folgendes merkwürdige Resultat haben: von dem ganzen Gelände wäre nur der Teil untersucht worden, dessen Durchlässigkeit durch künstliche Eingriffe stark erhöht sein mußte; von den 313 Brunnen dieses Abschnittes wären nur zwei untersucht worden, und diese Untersuchung hätte zufällig die beiden einzigen getroffen, die in schwer oder gar nicht durchlässigem Boden stehen. Das wäre sehr

wenig wahrscheinlich! Wir würden doch vielmehr annehmen müssen, daß es etwa drei Serien von Brunnen mit zahlreichen Übergängen gebe:

1. solche, die sich verhalten wie R.B. 223, wo nach 12 Stunden noch gar nichts durchgetreten ist, die in so gut wie ganz undurchlässigem Terrain stehen,
2. solche, die sich verhalten wie R.B. 291, wo also die ersten Spuren des Überschwemmungswassers nach 12 Stunden die Einstromöffnungen der Brunnen erreichten und das Maximum nach 24 Stunden durchgesickert war; und schließlich
3. solche, die in noch viel durchlässigerem Boden stehen, für die aber ein Beispiel im Versuche nicht gefunden worden ist, wo das durchsickernde Wasser schon nach 12 Stunden in größter Menge dem Grundwasser beigemischt war.

Diese Brunnen der 3. Serie hätten dann die Katastrophe verursacht und eine Steigerung des Eisengehalts um 100 mg im Mischwasser bewirkt. Dann mußten die in etwas weniger durchlässigem Boden stehenden Brunnen der 2. Serie am nächsten Tage eine weitere starke Steigerung bringen, und einen nochmaligen Anstieg am folgenden Tage die Brunnen, die etwa zwischen Serie I und Serie II stehen. Ja, dieses Ansteigen des Eisengehalts hätte noch längere Zeit anhalten müssen, da ja an den noch schwerer durchlässigen Stellen des Geländes allmählich immer mehr vom Überschwemmungswasser die Tiefe erreichte, bis schließlich das Grundwasser nur aus Überschwemmungswasser bestand.

Und diese Überlegung gilt ganz allgemein, wenn man die Katastrophe auf den Zutritt von Oberflächenwasser zurückführt. Immer mußte — bei den notwendigerweise vorhandenen lokalen Unterschieden in der Durchlässigkeit des Terrains —, ein allmähliches Steigen des Gehalts an Oberflächenwasser und damit der Verunreinigungen erfolgen. Die Katastrophe verlief ganz anders: Plötzlich, mit einem Schlage, war die höchste Konzentration erreicht, und allmählich fand ein Sinken des Eisengehalts statt.

Auch die Ergebnisse der Kochsalzversuche können also nicht die Überzeugung erschüttern, daß der Boden der Breslauer Grundwasserversorgungsanlage sehr schwer durchlässig ist, und daß daher ein Durchtritt von Überschwemmungswasser in wenigen Stunden in hohem Maße unwahrscheinlich ist.

2. Etwaige Beweise für einen Durchtritt am 28. und 29. März 1906.

Dennoch muß zugegeben werden: alle diese Bedenken wären hinfällig gegenüber einer Tatsache, die wirklich bewiese, daß Oberflächenwasser dem am 29. März geförderten Grundwasser beigemischt war. Dieser Beweis könnte nicht schwer zu erbringen sein, da

zwischen dem Grundwasser, wie es vor der Katastrophe geschöpft wurde, und dem Überschwemmungswasser erhebliche Unterschiede bestanden haben. Wenn aber andererseits diese Unterschiede erhalten blieben, so ist der Schluß gerechtfertigt, daß dem Grundwasser keine nennenswerten Mengen Überflutungswasser zugeführt worden sind. Die Anhänger der Durchlaufhypothese glauben positive Beweise zu haben. In erster Linie stützen sie sich immer wieder auf die Vermehrung des Grundwassers. Jede Überschwemmung hat eine rasche Hebung des Grundwasserspiegels herbeigeführt, und Debusmann¹⁾ hat berechnet, daß die beim Septemberhochwasser eingetretene Erhöhung des Grundwasserstandes eine Vermehrung des Grundwassers um 5 000 000 cbm bedeute, die nichts anderes sein könnten als Überschwemmungswasser. Diese Rechnung, auf die sich auch Beyschlag²⁾ beruft, beruht aber auf durchaus irrigen Voraussetzungen.

Aus den früheren Erörterungen über die Durchgangszone ergibt sich, daß aus der Hebung des Grundwasserspiegels durchaus nicht gefolgert werden kann, daß die ganze Wassermenge, die von den beiden Spiegelkurven begrenzt wird, in den Boden eingedrungen sei. Der Wassergehalt der Durchgangszone, der bei uns sehr bedeutend ist, muß davon abgezogen werden. Die Hebung des Grundwasserspiegels zeigt nur, daß die Differenz zwischen „wasserbindender Kraft“ und vollem Porenvolumen ausgefüllt ist, und die 5 Millionen Kubikmeter reduzieren sich auf etwa 10 Proz., also 500 000 cbm. Und auch diese brauchen keineswegs in die Tiefe gedrungen zu sein. Sowie sie sich vielmehr oben auf die Durchgangszone auflagerten, floß zu deren tiefsten Schichten die entsprechende Wassermenge aus den höheren Schichten zu, und das Grundwasser stieg an. Die Hebung des Grundwasserspiegels, die durch einsickerndes Überschwemmungswasser bewirkt wird, bedeutet ebenso wenig eine Vermehrung des Grundwassers um einige Millionen Kubikmeter, wie die Hebung des Grundwasserspiegels, die — in überschwemmungsfreien Zeiten — in kurzen Betriebspausen durch den natürlichen Wasserzufluß hervorgerufen wird.

Aus den Veränderungen der Grundwasserquantität lassen sich daher Schlüsse über die behandelte Frage nicht ableiten, entscheidend ist vielmehr das qualitative Verhalten des Wassers. Wenn es richtig ist, daß eine Beimischung von Überschwemmungswasser den Eisengehalt des Grundwassers so stark verändert hat, dann müssen sich auch in anderen Beziehungen die Eigenschaften des Grundwassers denen des Oderwassers genähert haben. Einige dieser Eigenschaften mögen beim Durchtritt durch den Boden, selbst wenn er in wenigen

1) „Ergebnisse der Untersuchungen“, S. 185.

2) Beyschlag und Michael, l. c.

Stunden erfolgt ist, Veränderungen erfahren haben, so daß sie im Grundwasser nicht mehr zu finden waren, von anderen ist das nicht anzunehmen, da sie wenig veränderlich sind. Wir sind nun in dieser Beziehung keineswegs auf Vermutungen angewiesen; es sind zahlreiche Fälle bekannt, wo in durchlässigem Boden ein rascher Zutritt von Oberflächenwasser zum Grundwasser erfolgt ist. Wir wissen daher, daß besonders zwei Eigenschaften des Oberflächenwassers das Grundwasser sehr deutlich beeinflussen: der Keimgehalt und die Temperatur.

Der Keimgehalt des Grundwassers.

Das Grundwasser der Breslauer Versorgungsanlage, das aus einer Tiefe von 7—10 m stammt, ist stets keimfrei gefunden worden. Durch die Arbeiten bei der Errichtung der Anlage, beim Bau der Brunnen und der Fassungsleitung sind allerdings Bakterien ins Grundwasser gelangt. Auch später konnten an den durch diese Arbeiten gelockerten Stellen Bakterien in die Tiefe dringen, die sich zum Teil längere Zeit erhielten oder auch in gewissen Grenzen vermehrungsfähig waren. So enthielt denn das geförderte Grundwasser bei der Eröffnung der Anlage einige Keime und behielt sie noch ziemlich lange. Ihre Zahl war in den Monaten April und Mai 1905:

Tabelle 30.

Zahl der Keime im Grundwasser, im April und Mai 1905.

April	Keimzahl im ccm	April	Keimzahl im ccm	Mai	Keimzahl im ccm	Mai	Keimzahl im ccm
1.	—	16.	—	1.	30	16.	25
2.	—	17.	15	2.	33	17.	18
3.	32	18.	20	3.	23	18.	20
4.	30	19.	16	4.	21	19.	15
5.	26	20.	18	5.	21	20.	19
6.	19	21.	—	6.	23	21.	—
7.	20	22.	21	7.	—	22.	6
8.	21	23.	—	8.	19	23.	10
9.	—	24.	—	9.	21	24.	8
10.	19	25.	40	10.	20	25.	11
11.	22	26.	28	11.	17	26.	8
12.	21	27.	29	12.	20	27.	5
13.	16	28.	27	13.	16	28.	—
14.	18	29.	67	14.	—	29.	4
15.	17	30.	—	15.	14	30.	5
						31.	4

Noch nach Jahresfrist waren die Keime nicht völlig aus dem Grundwasser verschwunden. Dort, wo der Boden aufgegraben war, und an den Wandungen der Brunnen entlang werden auch später noch keimhaltige Rinnsale an einigen Stellen bestanden haben, wäh-

rend sich an anderen bald eine völlige Abdichtung hergestellt haben dürfte. Nach anhaltendem Regen oder nach der Schneeschmelze wurden wohl durch solche Rinnsale dem Grundwasser einige Keime zugeführt, so daß im Frühjahr sogar wieder eine geringe Steigerung bemerkbar wurde. Der Keimgehalt betrug in den Monaten März, April und Mai 1906:

Tabelle 31.

Zahl der Keime im Grundwasser, von März bis Mai 1906.

März	Keimzahl im ccm		März	Keimzahl im ccm		März	Keimzahl im ccm		April	Keimzahl im ccm		April	Keimzahl im ccm		Mai	Keimzahl im ccm		Mai	Keimzahl im ccm	
	1.	2.		11.	12.		21.	22.		1.	2.		11.	12.		1.	2.		11.	12.
1.	2	11.	—	21.	17	1.	—	12.	26	23.	12	1.	8	11.	7	21.	4			
2.	6	12.	13	22.	12	2.	9	13.	16	24.	14	2.	12	12.	7	22.	3			
3.	4	13.	14	23.	11	3.	8	14.	22	25.	9	3.	13	13.	—	23.	8			
4.	—	14.	13	24.	12	4.	13	15.	20	26.	32	4.	11	14.	12	24.	—			
5.	6	15.	11	25.	—	5.	26	16.	8	27.	25	5.	26	15.	6	25.	14			
6.	7	16.	9	26.	15	6.	18	17.	14	28.	24	6.	14	16.	10	26.	6			
7.	7	17.	9	27.	17	7.	32	18.	16	29.	49	7.	11	17.	5	27.	—			
8.	9	18.	—	28.	11	8.	—	19.	28	30.	10	8.	20	18.	4	28.	11			
9.	10	19.	10	29.	14	9.	25	20.	26			9.	9	19.	3	29.	12			
10.	8	20.	16	30.	—	10.	26	21.	23			10.	9	20.	—	30.	7			
				31.	—	11.	33	22.	14							31.	4			

Allmählich wurde der Keimgehalt immer geringer. Zur Zeit des Septemberhochwassers betrug er 2—3 im Kubikzentimeter und erfuhr auch durch die Überschwemmung keine Vermehrung. Seit dem Dezember 1906 ist das Grundwasser andauernd keimfrei.

Das Oderwasser enthielt Anfang April 1906 über 10000 Keime im Kubikzentimeter, das Überschwemmungswasser hat sicherlich nicht weniger enthalten. Da ferner die oberen Bodenschichten Bakterien, und zwar meistens Sporenbildner, in ungeheuren Mengen enthalten, so mußte sich das in den Boden eindringende Überschwemmungswasser ganz mit Bodenbakterien beladen.

Nach der Durchlauftheorie bestand das nach der Überschwemmung, am 29. März, geförderte Wasser ganz und gar aus Überschwemmungswasser, nach einer weniger schroffen Annahme wies es mindestens sehr erhebliche Beimengungen von Oderwasser auf; mithin mußte auch die Keimzahl eine entsprechende Vermehrung zeigen. Aus der Tabelle 31 ergibt sich aber, daß am 29. März, als der Eisengehalt des Grundwassers schon außerordentlich vermehrt war, die Keimzahl ganz unverändert war. Erst nach 7 Tagen ist eine minimale Steigerung eingetreten, die etwas über einen Monat anhält.

Gegen die Gültigkeit dieses Arguments sind zwei Einwände geltend

gemacht worden. Zunächst soll der Boden seine filtrierende Wirkung, der ja die Keimfreiheit des Grundwassers im wesentlichen verdankt wird, auch bei dem behaupteten schnellen Durchtritt des Wassers ausüben. Es wurde dabei verwiesen auf die gewöhnlich guten Resultate der künstlichen Sandfiltration, bei der mit einer Sandschicht von 1 m und mit einer Filtriergeschwindigkeit von 100 mm in der Stunde gearbeitet werde, während das Wasser im Boden eine Sandschicht von mehr als 6 m durchdringen müsse und dabei eine wesentlich geringere Geschwindigkeit, 10—20 mm in der Stunde, habe¹⁾. Nun ist ja richtig, daß der gewachsene Boden ein vollständig bakteriendichtes Filter darstellt, — wenn er schwer durchlässig ist. Die Filtriergeschwindigkeit geht dann noch weit unter 1 mm in der Stunde hinunter. Aber die Durchlauftheorie behauptet ja, daß das Wasser eine Sandschicht von mehr als 6 m in 12 Stunden durchlaufen habe, also mit einer Geschwindigkeit von 500 mm in der Stunde! Nach einer anderen Behauptung soll es durch grobe Risse und Spalten im Boden mit ungeheurer Geschwindigkeit hindurchschießen. Daß dabei kein Abfiltrieren der Bakterien stattfinden kann, ist einleuchtend. Nun könnte ja gesagt werden: Wenn auch in künstlichen Sandfiltern die Resultate bei 500 mm Filtriergeschwindigkeit meist schlecht sind, so genügt diese Geschwindigkeit doch im gewachsenen Boden, der erheblich besser filtriert als künstliche Filter. In der Tat läßt sich kaum theoretisch eine Grenze angeben, bei deren Überschreitung im gewachsenen Boden keine Filtrationswirkung mehr zustande kommt. Wohl aber liegen darüber praktische Erfahrungen vor. Wir sehen in zahlreichen Fällen, daß keimreiches Wasser, das in 24 Stunden oder in einigen Tagen durch den Boden hindurchgetreten ist, schlecht filtriert ist und dem Grundwasser zahlreiche Keime zuführt.

Das Dresdener Saloppenwerk z. B. liegt in einem sehr grobkörnigen Kiesboden. Die Keimzahl, die gewöhnlich ca. 30 im Kubikzentimeter beträgt, steigt bei jedem Hochwasser binnen 24 Stunden auf mehrere Tausend (—6000 im Kubikzentimeter) an²⁾).

Das Grundwasser von Dorpat liegt in sehr grobporigem, schlecht filtrierendem Sande, und „ein bedeutender Regenguß genügt, die Zahl der Bakterien schon am 3. Tage bedeutend zu vermehren“⁴⁾. Danach würde auch ein Durchtritt durch den Boden, der 3 Tage erfordert hat, also erheblich langsamer gewesen ist, als der von der Durchlauftheorie für unser Gelände vorausgesetzte, noch nicht eine ausreichende

1) Debusmann, Ergebnisse u. s. w., I., S. 169.

2) Schill, Meinert und Renk, Über die mit den Hochfluten der Elbe eintretende Verunreinigung des Dresdener Leitungswassers. Jahresbericht der Gesellschaft f. Natur- und Heilkunde in Dresden 1895/96.

3) Gärtner, Die Dresdener Wasserfrage. Hyg. Rundschau, 1897, Nr. 2, 3.

4) Tager, Bakteriologische Untersuchungen des Grundwassers in Jurjew. Dissertation Dorpat 1893.

Filtration gewährleisten. Dafür spricht auch die Beobachtung, die bei uns gemacht werden konnte (Tabelle 31): die Vermehrung der Keime sieben Tage nach der Überflutung des Geländes. Diese Vermehrung ist allerdings so geringfügig, daß man nur mit großer Vorsicht Schlüsse daraus ziehen darf. Immerhin wird man an die Möglichkeit denken, daß um diese Zeit die ersten Spuren des Überschwemmungswassers, die an den leichtest durchlässigen Partien, etwa in der Brunnenstrecke, durchflossen, dem Grundwasser beigemischt waren. Auch dieses Wasser würde noch keine vollständige Filtration erfahren haben, so daß geringe Mengen davon im Grundwasser eine kleine, aber merkliche Steigerung der Keimzahl bewirkten. Daß bei einer so großen Bodendurchlässigkeit, wie die Durchlauftheorie sie voraussetzt, die Bakterien nicht vollständig zurückgehalten werden, darf mit Sicherheit behauptet werden.

Nun soll allerdings für die fehlende Filtration ein Ersatz eingetreten sein. Lührig¹⁾ behauptet, die im Wasser vorhandene freie Schwefelsäure habe die Bakterien abgetötet. Er schreibt: „Nach diesseitiger Auffassung dürfte in erster Linie das Ferrosulfat und die aus diesem abspaltbare freie Schwefelsäure die mit dem Wasser eindringenden Bakterien in ihrer Entwicklungsfähigkeit gehemmt oder abgetötet haben. Über die Wirkung der Schwefelsäure als Desinfiziens und Bakteriengift bedarf es besonderer Ausführungen hier nicht.“ Lührig hat einige Versuche über die Wirkung ferrosulfathaltigen Wassers auf das Wachstum von Wasserbakterien angestellt. Auf je 10 ccm rohen Oderwassers ließ er in sterilen Röhren 3 Stunden lang wechselnde Mengen (0,2—3 ccm) einer 1-proz. Ferrosulfatlösung einwirken und ermittelte nach dieser Zeit den Keimgehalt der Mischungen. Rohes Oderwasser enthielt in 1 ccm 560 Keime.

10 ccm davon	+ 0,2 ccm FeSO ₄ -Lösung	(200 mg im Lit.):	295 Keime im ccm
10 "	" + 0,4 "	(400 " " " "):	143 " " "
10 "	" + 0,6 "	(600 " " " "):	77 " " "
10 "	" + 0,8 "	(800 " " " "):	50 " " "
10 "	" + 1,0 "	(1000 " " " "):	9 " " "
10 "	" + 2,0 "	(2000 " " " "):	10 " " "
10 "	" + 3,0 "	(3000 " " " "):	9 " " "

Daß freie Schwefelsäure namentlich in höheren Konzentrationen ein wirksames keimtötendes Mittel ist, ist zweifellos. Für die Keimfreiheit des Breslauer Grundwassers aber kann ihre Desinfektionskraft unmöglich verantwortlich gemacht werden, weil dieses freie Schwefelsäure nicht enthalten hat. Erst wenn das Wasser längere Zeit stand, spaltete sich, bei der Oxydation des Ferrosulfats, freie Schwefelsäure ab. Im Gelände mag ja an einigen engumschriebenen Stellen des Schlicks freie Schwefelsäure in höheren Konzentrationen vorhanden

1) Lührig, l. c., Bd. 13, S. 469.

gewesen sein. Nach der Ansicht von Lührig wurde sie aber beim Durchtritt durch den Boden durch dessen Karbonate neutralisiert; jedenfalls war im Grundwasser, so wie es in die Sammelbrunnen, in die Druckleitung und aus dieser zur bakteriologischen Untersuchung kam, freie Schwefelsäure nicht enthalten. Für die behauptete Desinfektionswirkung kann daher nur das Ferrosulfat in Betracht kommen, und auch dieses nur in den Konzentrationen, die im Grundwasser wirklich vorhanden waren, also 80—100 mg im Liter. Deshalb interessieren uns namentlich die ersten unter den von Lührig mitgeteilten Zahlen. Wir sehen aus ihnen, daß Ferrosulfat in einer Konzentration, die doppelt so stark war wie im Grundwasser, das Oderwasser keineswegs keimfrei machte, sondern den Keimgehalt nur um etwa die Hälfte herabsetzte. Allerdings war die Dauer der Einwirkung des Ferrosulfats sehr kurz.

In der folgenden Zeit wurden im Hygienischen Institut einige Versuche angestellt, um die Desinfektionswirkung des Ferrosulfats näher kennen zu lernen.

Zunächst wurde Oderwasser mit dem eisenhaltigen Grundwasser aus dem Sammelbrunnen II gemischt. Fünf Glasstöpselfläschchen von 40 ccm Inhalt wurden mit je 4 ccm Oderwasser und 36 ccm Grundwasser gefüllt. Sie enthielten ca. 3200 Keime im Kubikzentimeter (der Keimgehalt des unverdünnten Oderwassers war 37 000 im Kubikzentimeter). Nach 3¹/₂, 16, 24 und 48 Stunden wurden Gelatineplatten mit je 1 ccm des Fläschcheninhalts gegossen und nach 48-stündigem Aufenthalt im 22°-Brutschrank untersucht. Nach 3¹/₂ Stunden war eine Verminderung auf 45 Proz. eingetreten, die späteren Proben wiesen keine Unterschiede gegenüber dem Kontrollfläschchen auf, das 4 ccm Oderwasser und 36 ccm Aqua dest. enthielt.

In einem zweiten Versuch wurde dem Oderwasser anstatt des Grundwassers Ferrosulfatlösung von bekannter Konzentration zugesetzt. Das Resultat ist in der Tabelle 32 niedergelegt.

Tabelle 32.

Gehalt an FeSO ₄	Zeitdauer der Einwirkung Keimzahl im Kubikzentimeter		
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 15 Std.
100 mg im Lit.	25 160	18 000	13 500
200 " " "		14 000	22 500
500 " " "		2 500	19 500
1000 " " "		1 000	10 500
0 " (Kontrolle)	24 570		

Es wurde dann noch die Wirkung des Ferrosulfats auf einige im Wasser vorkommende Bazillen in Reinkultur untersucht. Außer

einer älteren Kultur von *Bacillus fluorescens non liquefaciens* wurden zwei frisch aus dem Oderwasser gezüchtete Bazillen (a und g) benutzt. Die Resultate sind in den Tabellen 33—35 verzeichnet.

Tabelle 33.

Bacillus fluorescens non liquefaciens.

Gehalt an FeSO ₄	Zeitdauer der Einwirkung Keimzahl im Kubikzentimeter		
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 40 Std.
100 mg im Lit.	115 000	56 000	
500 " " "	119 000	46 000	
1000 " " "	98 000	18 000	36
0 " (Kontrolle)	270 000	228 000	600 000

Tabelle 34.

Oderbazillus a.

Gehalt an FeSO ₄	Zeitdauer der Einwirkung Keimzahl im Kubikzentimeter				
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 7 Std.	Nach 20 Std.	Nach 27 Std.
30 mg im Lit.	80 000	40 000	9 700	715	350
50 " " "	38 000	15 000	1 074	78	28
100 " " "	60 000	8 200	787	30	19
0 " (Kontr.)	92 000	67 000	62 000	318 000	600 000

Tabelle 35.

Oderbazillus g.

Gehalt an FeSO ₄	Zeitdauer der Einwirkung Keimzahl im Kubikzentimeter				
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 7 Std.	Nach 20 Std.	Nach 27 Std.
30 mg im Lit.	27 000	77 000	66 000	153 000	218 000
50 " " "	15 000	90 000	100 000	180 000	205 000
100 " " "	12 000	84 000	83 000	23 200	31 000
0 " (Kontr.)	79 000	114 000	42 000	17 500	

Während der *Oderbacillus a* vom Ferrosulfat in einer Verdünnung von 100 mg im Liter bereits nach 3 Stunden zum Teil und nach 27 Stunden fast ganz abgetötet ist, ist der *Oderbazillus g* durchaus nicht ungünstig beeinflusst worden.

Sodann wurde noch je ein frisch aus den Faeces gezüchteter Typhus- und *Colistamm* untersucht.

Tabelle 36.

Bacterium coli.

Gehalt an FeSO ₄	Einwirkungsdauer des FeSO ₄ Keimzahl im Kubikzentimeter			
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 20 Std.	Nach 40 Std.
30 mg im Lit.	140 000	110 000	4 000	900
50 " " "	140 000	130 000	4 500	1 200
100 " " "	140 000	80 000	1 500	52
300 " " "	130 000	120 000	2 000	420
500 " " "	120 000	115 000	1 000	56
1000 " " "	120 000	125 000	3 000	616
0 " (Kontr.)	230 000	185 000	125 000	135 000

Tabelle 37.

Bacterium typhi abdominalis.

Gehalt an FeSO ₄	Einwirkungsdauer des FeSO ₄ Keimzahl im Kubikzentimeter			
	Sofort	Nach 3 Std.	Nach 20 Std.	Nach 44 Std.
30 mg im Lit.	650 000	160 000	45 000	1 000
50 " " "	1 290 000	340 000	37 000	625
100 " " "	750 000	180 000	7 000	70
300 " " "	590 000	80 000	1 850	28
500 " " "	540 000	118 000	600	13
1000 " " "	215 000	3 000	6	1
0 " (Kontr.)	625 000	660 000	600 000	600 000

Auch hier ist eine deutliche Beeinflussung vorhanden, in den niedrigeren Konzentrationen allerdings erst nach längerer Einwirkungsdauer.

Wir sehen also, daß sich die Oderwasserbazillen verschieden verhalten. Solchen, die vom Ferrosulfat in den hier in Frage kommenden Konzentrationen mehr oder weniger schnell, teilweise oder vollkommen abgetötet werden, stehen andere gegenüber, die in diesen Lösungen üppig gedeihen. Versetzt man Oderwasser selbst mit Ferrosulfat, so tritt eine Abnahme der Keime um etwa 50 Proz. ein.

Nun kommen aber für die Infektion des Grundwassers nicht nur die Oderwasserbazillen in Betracht, sondern auch die Bodenbakterien, mit denen sich das eindringende Wasser in den obersten Schichten beladen muß. Daß diese, die überwiegend zu den Sporenbildnern gehören, vom Ferrosulfat irgendwie beeinflußt werden sollten, ist von vornherein unwahrscheinlich. Desinfektionsversuche mit mehreren Sporenbildnern, die frisch aus dem Oderwasser und aus dem Boden gezüchtet waren, bestätigen das durchaus. Selbst nach mehrtägiger Einwirkung von Ferrosulfat in einer Verdünnung von 1000 mg im

Liter waren sie in ihrer Entwicklungsfähigkeit nicht im geringsten beeinflusst.

Ja selbst die eisen- und manganhaltigen Schlickschichten, in denen die Oxydationsprozesse vor sich gegangen waren, und die deutlich sauer reagierten, waren, wie mehrfache Untersuchungen ergeben haben, angefüllt mit Bakterien, die keinerlei Entwicklungshemmung zeigten.

Wir können also zusammenfassend feststellen: Die Keimfreiheit des Grundwassers läßt sich durch die desinfizierende Wirkung der Schwefelsäure nicht erklären, da das Grundwasser freie Schwefelsäure nicht enthalten hat. Sie läßt sich nicht durch die Wirkung des Ferrosulfats erklären, da dieses in den vorhandenen Konzentrationen (bis zu 100 mg im Liter), Oderwasserbazillen nur teilweise und sporenbildende Bodenbakterien gar nicht abtötet. Die Tatsache, daß bei der Katastrophe eine Vermehrung der Keime nicht eintrat, ist daher ausschließlich auf die filtrierende Wirkung des Bodens zurückzuführen. Eine filtrierende Wirkung entfaltet der Boden erfahrungsgemäß nur bei langsamem Durchtritt des Wassers, dessen Geschwindigkeit ja häufig bis auf Bruchteile von 1 mm in der Stunde herabgeht. Ist der Boden so durchlässig, daß das Wasser eine Schicht von 6 m in 12—18 Stunden durchläuft, dann hält er auch erfahrungsgemäß die Keime nicht zurück.

Das Gleichbleiben des Keimgehalts bestätigt daher die Resultate unserer Bodenanalyse und beweist, daß dem Grundwasser zur Zeit der Katastrophe Überschwemmungswasser noch nicht beigemischt war.

Die Temperatur des Grundwassers.

Ganz im Einklang mit dieser Feststellung steht das Verhalten der Temperatur. Das Grundwasser hat in der Tiefe, in der unsere Brunnen es entnehmen, eine fast konstante Temperatur von ca. 9°. Ein Zusatz von fremdem, anders temperiertem Wasser muß sich also sofort durch eine Veränderung der Temperatur bemerkbar machen. Wenn das fremde Wasser vorher eine größere Strecke im Boden zurückzulegen hatte, so kann allerdings ein gewisser Temperatúrausgleich zwischen dem Boden und dem Wasser eingetreten sein. Der Temperatúrausgleich wird um so unvollkommener sein, je rascher das Wasser den Boden durchläuft, je kürzere Zeit es mit ihm in Berührung ist. Es ist daher völlig unverständlich, wenn Beyschlag¹⁾ ausführt, daß „selbstverständlich der Boden, durch den das Überschwemmungswasser hindurchgeht, eine gewisse Wärme hat, und daß diese Wärme sich natürlich dem nach der Tiefe durchgehenden Wasser mitteilt, und daß dabei eine gewisse Zeit erforderlich ist,

1) Beyschlag, Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w., Teil I, S. 153.

bis der Boden die Temperatur des darüberlaufenden Überschwemmungswassers angenommen hat. Dazu bedarf es mehrerer Tage, aber nach mehreren Tagen ist tatsächlich und positiv beobachtet die Temperaturerniedrigung vorhanden gewesen“. Nach der Durchlauftheorie war doch die Temperatur, die im Wasserwerk gemessen wurde, nicht die des Bodens, sondern die des Überschwemmungswassers, das nur einige Stunden im Boden geweilt hatte. Wenn also in der Tat mehrere Tage dazu nötig sind, bis der Boden die Temperatur des Wassers angenommen hat, das heißt doch also, bis ein Ausgleich zwischen den beiden Temperaturen eingetreten ist, dann kann nach wenigen Stunden die Temperatur des Wassers noch gar keine nennenswerte Veränderung durch den wärmeren Boden erfahren haben. Das geförderte Wasser hätte dann noch dieselbe Temperatur haben müssen, mit der es wenige Stunden vorher das Gelände überschwemmt hatte. Oder sollte Beyschlag etwa von der Vorstellung ausgehen, daß der Boden ein so unerschöpfliches Wärmereservoir bilde, daß er zunächst im stande war, das ganze hindurchströmende Wasser — also nach Beyschlags Ansicht einige Millionen Kubikmeter, die Hälfte des Bodenvolumens — ohne erheblichen Verlust an Wärme auf seine Temperatur zu bringen? Eine solche Auffassung stünde in striktem Widerspruch zu den tatsächlichen Verhältnissen, da die spezifische Wärme des Bodens sehr viel geringer ist als die des Wassers. Auch wäre dann gar nicht einzusehen, warum sich die Temperatur nach einigen Tagen doch noch geändert hätte; neues Wasser konnte doch nicht mehr zuströmen, da ja die Bewegung damit, daß das Überschwemmungswasser zum Grundwasser gelangt war und die Bodenporen erfüllt hatte, abgeschlossen war.

Die für die Durchlauftheorie günstigste Annahme ist natürlich die, daß der Temperatenausgleich sehr schnell, momentan, eintritt, und diese Annahme wollen wir unseren Ausführungen zu Grunde legen. Auch dann bringt es die hohe spezifische Wärme des Wassers mit sich, daß die Temperatur des Gemisches Boden + Wasser näher an der ursprünglichen Temperatur des Wassers liegt, als an der des Bodens. Wenn Lührig¹⁾ dagegen unter Berufung auf die mitgeteilten Ausführungen Beyschlags aus der hohen spezifischen Wärme des Wassers folgert, daß „das Wasser seine Wärme nur sehr schwer an den Boden und das in ihm befindliche Wasser abgibt“, so kann diese Annahme nur auf einem Mißverständnis beruhen.

Über die spezifische Wärme des Bodens liegt bereits eine ganze Reihe von exakten Untersuchungen vor, deren Resultate ganz eindeutig sind. Manche älteren Untersuchungen allerdings sind für uns kaum verwertbar. So sind die Versuche von Pfaundler mit Erd-

1) Lührig, „Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w.“, Teil I, S. 161.

arten ausgeführt worden, deren Beschaffenheit nicht genügend gekennzeichnet ist, so daß man kaum Schlußfolgerungen aus ihnen ableiten kann. Für uns ist in erster Linie die Wärmekapazität des Quarzsandes wichtig. Bei Lang¹⁾ finden wir die Ergebnisse einiger älteren Untersuchungen mitgeteilt: so fand Schuhmacher²⁾ für die spezifische Wärme des trockenen Sandes die Zahl 0,1282. Spätere Untersucher haben etwas höhere Werte gefunden:

E. G. Fischer	für Kiessand	0,190
Neumann	„ Quarz (chemisch rein)	0,1883
Regnault	„ „ „	0,1913
Kopp	„ „ „	0,183

Lang selbst fand im Durchschnitt von je acht Proben für groben Quarzsand 0,198, für feinen Quarzsand 0,194, im Mittel also 0,196. v. Liebenberg³⁾ hat, ähnlich wie Pfaundler, nicht die einzelnen Bodenkonstituenten für sich untersucht, sondern natürliche Bodengemische. Einige der von ihm gefundenen Werte sind in der Tabelle 38 zusammengestellt.

Tabelle 38.

Bezeichnung des Bodens	Spezif. Wärme, auf das Gewicht bezogen
1. grober Tertiärsand	0,268
2. feiner „	0,275
3. grober Diluvialsand	0,192
4. feiner „	0,162
5. Kalksand	0,191
6. Diluviallehm	0,225
7. Diluvialmergel	0,257
8. Lösslehm	0,227
9. Humoser Lösslehm	0,329
10. Aulehm	0,322

v. Liebenberg fand, daß die Wärmekapazität der natürlichen Bodengemische besonders vom Humusgehalt beeinflußt wird. Da er aber ausdrücklich hervorhebt, daß es sich bei den unter 1—5 genannten Bodenproben um völlig humusfreie Sande gehandelt habe, so können wir die für sie ermittelten Werte mit den früheren vergleichen.

Die beiden Diluvialsande stimmen gut mit den Zahlen von Fischer, Regnault, Neumann, Kopp und Lang überein. Warum die beiden Tertiärsande eine um so viel höhere spezifische Wärme zeigten, bezeichnet v. Liebenberg selbst als unerklärlich.

1) Lang, Über die Wärmekapazität der Bodenkonstituenten. Forschungen etc., Bd. 1.

2) Schuhmacher, Die Physik des Bodens in ihren theoretischen und praktischen Beziehungen zur Landwirtschaft, Berlin 1864.

3) v. Liebenberg, Untersuchungen über die Bodenwärme. Habilitationsschrift, Halle 1875.

Ulrich¹⁾ erhebt gegen die Technik der früheren Untersuchungen einige Einwendungen. Er hat infolgedessen selbst noch einmal zahlreiche, sehr sorgfältige Bestimmungen ausgeführt, unter möglichster Vermeidung der von ihm näher studierten Fehlerquellen. Dennoch bestätigen seine Zahlen durchaus die Resultate der früheren Untersuchungen. Er fand für

Quarzsand mit der Korngröße	0,01 — 0,07	mm	0,18904
„ „ „	0,071 — 0,114	„	0,19042
„ „ „	0,114 — 0,171	„	0,19198
„ „ „	0,171 — 0,250	„	0,19190
„ „ „	0,250 — 0,5	„	0,19220
„ „ „	0,5 — 1,0	„	0,19088
„ „ „	1,0 — 2,0	„	0,19126
„ Gemisch aller Korngrößen			0,19066
„ Mittel aus allen Bestimmungen			0,1909

Die bisher mitgeteilten Zahlen beziehen sich sämtlich auf die Gewichtseinheit des Bodens. v. Liebenberg und Ulrich bemerken mit Recht, daß für die meisten Fälle, namentlich in der Landwirtschaft, die Kenntnis der spezifischen Wärme, bezogen auf die Volumeneinheit, wichtiger ist. Man ermittelt sie sehr einfach, indem man die für die Gewichtseinheit gefundenen Werte mit dem Gewicht der Volumeneinheit des Bodens, d. h. des Sandes inkl. der Poren, multipliziert. Ulrich benutzte dazu die Zahlen, die Wollny²⁾ für das Gewicht der Volumeneinheit Boden gefunden hatte. Es betrug für das Gemisch aller Korngrößen 1,7995, und so berechnet Ulrich die spezifische Wärme, auf das Volumen bezogen, = $0,1909 \times 1,7995 = 0,3435$. v. Liebenberg ermittelte selbst das Gewicht der Volumeneinheit seiner Bodenarten und berechnete danach ihre spezifische Wärme:

Tabelle 39.

Bezeichnung des Bodens	Volumengewicht	Spez. Wärme, auf das Volumen bezogen
1. grober Tertiärsand	1,73	0,464
2. feiner „	1,65	0,454
3. grober Diluvialsand	1,80	0,346
4. feiner „	1,66	0,269
5. Kalksand	1,16	0,222
6. Diluviallehm	1,43	0,322
7. Diluvialmergel	1,40	0,360
8. Lößlehm	1,24	0,343
9. Humoser Lößlehm	1,16	0,382
10. Aulehm	1,28	0,412

Da das Porenvolumen von Sandböden durchschnittlich 33 Proz. beträgt, und das spezifische Gewicht des Sandes 2,63 ist, so beträgt das Gewicht der Volumeneinheit Boden im allgemeinen $0,66 \times 2,63 =$

1) Ulrich, Untersuchungen über die Wärmekapazität der Bodenkonstituenten. Forschungen etc., Bd. 17.

2) Wollny, l. c. Forschungen etc., Bd. 8.

1,7358; diese Zahl stimmt mit dem Mittelwert der von Wollny und v. Liebenberg durch direkte Wägung gefundenen Zahlen, 1,728, ausgezeichnet überein.

Lang hat ebenfalls die spezifische Wärme, die er für die Gewichtseinheit gefunden hatte, auf das Volumen umgerechnet. Er verstand darunter aber nicht die Volumeneinheit des Bodens, also des Sandes mit den Poren, sondern die Volumeneinheit des Sandes, also der in der Volumeneinheit Boden enthaltenen festen Bestandteile. Die spezifische Wärme, bezogen auf die Volumeneinheit des Sandes, erhält man, wenn man die Werte für die Gewichtseinheit mit dem spezifischen Gewicht des Sandes multipliziert. Lang, der für diese Berechnung das spezifische Gewicht untersuchte und es = 2,64 fand, berechnete also die spezifische Wärme, auf das Volumen bezogen, auf 0,51744. Führt man dieselbe Rechnung mit den Zahlen von Ulrich aus, so findet man in sehr guter Übereinstimmung damit 0,504 für das Mittel aus allen Bestimmungen.

Die von Ulrich und v. Liebenberg berechnete spezifische Wärme der Volumeneinheit des Bodens hat v. Schwarz¹⁾ noch direkt gemessen; er fand sie = 0,341. Will man daraus die spezifische Wärme der Volumeneinheit des Sandes berechnen, so muß man natürlich die gefundene Zahl durch das Volumen des Sandes dividieren, also bei einem Porenvolumen von 33 Proz. mit 1,5 multiplizieren. Man erhält dann in ausgezeichneter Übereinstimmung mit Lang und Ulrich $0,341 \times 1,5 = 0,5115$.

Nun dürfen wir allerdings nicht lediglich den Sand berücksichtigen, der nach Ebermayer²⁾ von allen Bodenbestandteilen die geringste Wärmekapazität hat, sondern wir müssen auch den Humus in Betracht ziehen, dessen spezifische Wärme, auf das Gewicht bezogen, wesentlich größer ist. Das wird aber durch das geringe spezifische Gewicht des Humus wieder ausgeglichen, so daß die Wärmekapazität des Humus und des Sandes, auf das Volumen bezogen, annähernd gleich ist. Nach Lang³⁾ ist die spezifische Wärme des Humus 0,477, und auf das Volumen berechnet, 0,601, da sein spezifisches Gewicht nur 1,26 beträgt (nach Trommer 1,246, nach Schübler 1,370, nach Wollny 1,462).

Die spezifische Wärme des Bodens, bezogen auf die Volumeneinheit, ist also nur halb so groß wie die des Wassers. Da sich nun beim Durchtritt des Wassers durch den Boden zwei Volumina Sand mit einem Volumen Wasser berühren, so sind die Wärmewerte der miteinander reagierenden Boden- und Wassermengen gleich. Die Temperatur der Mischung muß annähernd in der Mitte liegen. Daher

1) v. Schwarz, l. c.

2) Ebermayer, Untersuchungen über das Verhalten verschiedener Bodenarten gegen Wärme. Forschungen etc., Bd. 14.

3) Lang, l. c.

konnte schon oft die Beobachtung gemacht werden, daß selbst ein geringer Zusatz von Oberflächenwasser die Temperatur des Grundwassers deutlich verändert; die Temperatur ist ein außerordentlich feines Reagens für den Zusatz von fremdem Wasser zum Grundwasser. Daß das Verhalten der Temperatur diese Bedeutung hat, ist allgemein anerkannt. So schreibt Jäger¹⁾: „Wir besitzen noch ein weiteres Kennzeichen für die Qualität der miteinander zu vergleichenden Wässer: ihre Temperatur. Bekanntlich bewegt sich die Bodentemperatur in der Tiefe von wenigen Metern mit nur noch geringen Schwankungen im Verlauf eines Jahres auf der Höhe der mittleren Jahrestemperatur des betreffenden Ortes. Dieselbe Temperatur muß auch das Grundwasser haben. Andererseits macht die Temperatur des Flußwassers alle Veränderungen der Lufttemperatur, den Jahreszeiten entsprechend, mit. Tritt also Flußwasser zum Grundwasser hinzu, so wird dieses, der Flußwassertemperatur entsprechend, eine Erwärmung oder Abkühlung erfahren, die um so größer sein wird, je mehr Flußwasser zum Grundwasser hinzutritt...“

Eine der ersten Beobachtungen dieser Art wurde wohl wieder in Dresden gemacht^{2) 3)}. Hier bringt jedes Sommerhochwasser einen plötzlichen Anstieg der Temperatur um 3—5° in 1—2 Tagen, jedes Hochwasser im Winter einen ebenso rapiden Abfall um ca. 3° (Vergl. die Kurve XXIII.)

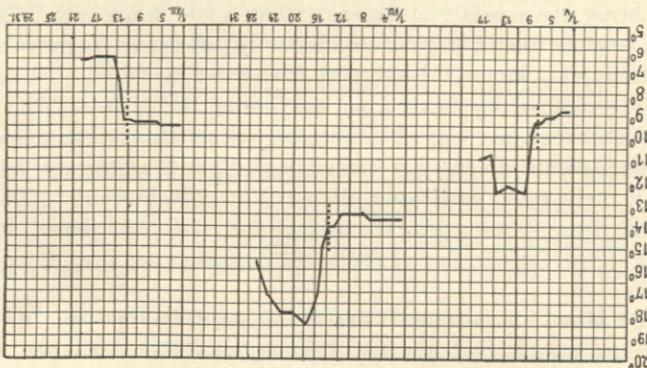
Kurve XXIII.

Temperaturen des Grundwassers des Dresdener Saloppenwerks.

Mai

August

Dezember



Maßstab: Auf der Abscisse 1 Teilstrich = 2 Tage,
 „ „ Ordinate 1 „ = 1/2°.
 : = Eintritt des Hochwassers.

1) Jäger, Die Wechselwirkung zwischen Fluß- und Grundwasser in hygienischer Beziehung. Hygien. Rundsch., 1898, S. 622.

2) Meinert, Schill und Renk, l. c.

3) Gärtner, Die Dresdener Wasserfrage. Hyg. Rundsch., 1897, Nr. 2 u. 3.

Dieses Beispiel ist aber keineswegs vereinzelt geblieben. Auch das Grundwasser der Würzburger Wasserversorgungsanlage erhält zu Hochwasserzeiten erhebliche Beimengungen von Mainwasser. Lehmann¹⁾ betont ebenfalls die Bedeutung sorgfältiger Temperaturbeobachtungen zur Entscheidung der Frage, ob dem Grundwasser zu irgend einer Zeit Oberflächenwasser beigemischt ist. Auf seine Veranlassung wurden in Würzburg solche Beobachtungen angestellt. Sie haben ergeben, daß „im Winter jedes Mainhochwasser eine Senkung der Leitungswassertemperatur bewirkt, während umgekehrt im Sommer die Leitungswassertemperatur bei jeder plötzlichen Mainsteigerung eine vorübergehende Erhöhung erfährt“. Bei einer besonders gut beobachteten Hochflut im Februar hatte das Leitungswasser 6,8°, das Mainwasser 0,2°. Deutliche chemische Veränderungen und eine starke Erhöhung der Keimzahl beweisen, daß nach kurzer Zeit dem Grundwasser größere Mengen Mainwasser beigemischt waren. Genau zu derselben Zeit war auch die Temperatur des Leitungswassers von 6,8° auf 3,8° gefallen. Nur langsam stieg sie wieder zu höheren Werten.

Wie waren nun die Temperaturverhältnisse während der Breslauer Katastrophe? Das Grundwasser hatte vorher eine Temperatur von 9,2°, das Überschwemmungswasser zeigte 3°. Wenn die Ansicht der Durchlauftheorie zu Recht besteht, wenn also das am 29. März geförderte Grundwasser nichts anderes war, als das Oderwasser, das 18 Stunden vorher ausgefuhrt war, dann mußte es auch die Temperatur des Oderwassers haben, mit der minimalen Veränderung, die es beim raschen Durchtritt durch den Boden trotz dessen geringer spezifischer Wärme etwa erfahren hatte. Aber auch, wenn man von dieser extremen Ansicht absieht: ganz zweifellos ist, daß jede irgendwie erhebliche Beimengung des um 6° kälteren Wassers sich durch eine deutliche Temperaturerniedrigung bemerkbar machen mußte. Diese Erniedrigung mußte gleichzeitig mit der Beimischung des Oberflächenwassers erfolgen; also wenn dieses die chemische Verschlechterung bewirkte, gleichzeitig mit dem Auftreten dieser Verschlechterung. Das Verhalten der Temperatur des Grundwassers vom 15. März bis zum 15. April 1906 ist in der Tabelle 40 verzeichnet (vergl. auch die Kurve II).

Am 29. März, als das Gebiet der 1. und der 3. Gruppe seit 18 Stunden unter Wasser stand, und als das Wasser im Sammelbrunnen I schon den stark gesteigerten Eisengehalt zeigte; und auch am 30. März, wo auch das Wasser der Gruppe 2 nach ihrer Überschwemmung die starke chemische Veränderung erfahren hatte, ist noch nicht die geringste Veränderung der Temperatur zu bemerken. Erst am fünften und

1) Lehmann, Vier Gutachten über die Wasserversorgung Würzburgs. Würzburg 1900.

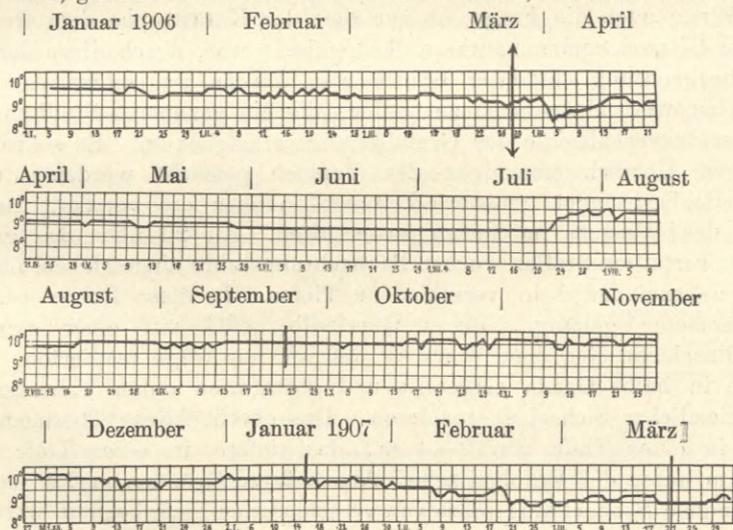
Tabelle 40.

Die Temperatur des Grundwassers vom 15. März bis zum 15. April 1906.
(Gemessen im Wasserhebewerk am Weidendamm., bevor das Wasser
auf den Enteisungsrieseler kam.)

März	Temperatur	März	Temperatur	April	Temperatur	April	Temperatur
15.	+ 9,4 °	23.	9,2 °	1.	—	9.	8,8 °
16.	9,4 „	24.	9,2 „	2.	9,4 °	10.	9,0 „
17.	9,4 „	25.	—	3.	9,0 „	11.	9,0 „
18.	9,4 „	26.	9,2 „	4.	8,4 „	12.	9,0 „
19.	9,4 „	27.	9,0 „	5.	8,6 „	13.	—
20.	9,4 „	28.	9,2 „	6.	8,6 „	14.	9,4 „
21.	9,2 „	29.	9,2 „	7.	8,8 „	15.	—
22.	9,4 „	30.	9,4 „	8.	—		
		31.	9,2 „				

Kurve II.

Die Temperatur des Breslauer Grundwassers vom 1. Januar 1906 bis zum 1. April 1907, gemessen im Wasserwerk am Weidendamm, vor dem Rieseler.



Maßstab: Auf der Abszisse 1 Teilstrich = 2 Tage

„ „ Ordinate 1 „ = 1/2 °

↑ = Eintritt der Katastrophe am 28. März 1906

↓ = Überschwemmung.

sechsten Tage nach der Katastrophe ist ein ganz geringfügiger Abfall der Temperatur um 0,6—0,8 ° aufgetreten. Dieser Temperaturabfall ist so gering, daß man sich nicht leicht dazu entschließen wird, ihm überhaupt Bedeutung beizulegen. Andererseits ist er doch deutlich, denn

eine Temperatur von $8,4^{\circ}$ ist im Grundwasser weder vorher noch nachher jemals — bei unveränderter Messungsart — beobachtet worden (vergl. die Kurve II).

Erinnert man sich noch, daß zu der gleichen Zeit, als diese minimale Erniedrigung der Temperatur sich bemerkbar machte, eine verhältnismäßig ebenso geringfügige Erhöhung der Keimzahl auftrat, so gewinnen beide Beobachtungen entschieden an Bedeutung. Für sich allein würde wohl keine von beiden weitergehende Schlüsse gestatten, beide zusammen machen es immerhin wahrscheinlich, daß am 4. April zum ersten Male Spuren des Überschwemmungswassers dem Grundwasser beigemischt waren; Spuren, wie sie an den leichtest durchlässigen Stellen des Geländes rascher versickern konnten, sei es an den künstlich gelockerten Partien der Brunnenstrecke, sei es an Stellen von natürlicher Durchlässigkeit. Daß aber diese geringen Spuren, die fünf und sechs Tage nach der Überschwemmung das Grundwasser erreichten, nicht 18 Stunden nach der Überschwemmung die Katastrophe verursacht haben können, das braucht nicht betont zu werden.

Wenn auch die Frage, ob zur Zeit der Katastrophe dem Grundwasser Überschwemmungswasser beigemischt war, durch diese Temperaturbeobachtung eindeutig beantwortet worden ist, schien es doch wünschenswert Maßnahmen zu treffen, die ein genaueres Studium der Temperaturverhältnisse des Grundwassers ermöglichten. Es sollte bei späteren Überschwemmungen der Versuch gemacht werden, durch diese Beobachtungen genauere Zeitangaben über die vertikale Bewegung des Wassers im Boden zu erhalten. An 22 über das ganze Gebiet verteilten Stellen wurden Beobachtungsrohre eingetrieben, immer zwei nebeneinander in verschiedene Tiefen. In diese Rohre wurden Thermometer gehängt, deren Quecksilbergefäß mit einer starken Paraffinschicht überzogen war, so daß sie nur träge reagierten. Sie waren in halbe Grade eingeteilt und gestatteten daher Viertelgrade mit ziemlicher Sicherheit abzulesen. Das oberflächliche Thermometer hing in einer Tiefe von 2—4 m, das tiefere in einer Tiefe von 7—8 m unter der Erdoberfläche. Aus äußeren Gründen mußten schon vorhandene Beobachtungsrohre von verschiedener Tiefe benutzt werden, daher war es nicht möglich in der Tiefenlage der Thermometer Gleichmäßigkeit herzustellen.

Durch Vorversuche im Garten des Hygienischen Instituts überzeugten wir uns zunächst von der Brauchbarkeit der Methode. Die Beobachtungsrohre waren unten offen und daher bis zur Höhe des Grundwasserspiegels mit Wasser gefüllt. Die Verwertung der Messungen geht von der Voraussetzung aus, daß das Wasser im Rohr in jeder Schicht die Temperatur des umgebenden Erdreichs habe. Wenn nun das eindringende kalte Überschwemmungswasser die obersten Bodenschichten stark abkühlt und mit ihnen auch die obersten Schichten

des Wassers im Beobachtungsrohr, so liegt die Befürchtung nahe, daß dieses abgekühlte Wasser im Rohre infolge seiner größeren Schwere zu Boden sinken und durch eine Beeinflussung des tiefen Thermometers ein Eindringen des Wassers in die tiefen Bodenschichten vortäuschen könnte. Eine weitere Fehlerquelle konnte darin liegen, daß die obersten, den Erdboden um etwa $1\frac{1}{2}$ m überragenden Teile der Beobachtungsrohre durch das umgebende Überschwemmungswasser stark abgekühlt oder erwärmt werden könnten, und daß so infolge der Wärmeleitung des Eisens ebenfalls eine Beeinflussung der tiefen Thermometer hervorgerufen werden könnte, ohne daß Wasser in den Boden oder gar in größere Tiefen eingedrungen wäre. Beide Fehlerquellen mußten näher untersucht werden.

Im Institutsgarten wurden vier Beobachtungsrohre eingebracht. Zwei reichten bis in eine Tiefe von 9 m. Von ihnen war das eine (II) unten offen und daher mit Wasser gefüllt, das andere (I) war vollständig wasserdicht verschlossen. Das dritte (III) reichte bis in eine Tiefe von 6 m, das vierte (IV) bis 3 m; beide waren unten offen. Das geschlossene Rohr (I) wurde durch Rammen eingebracht, die anderen durch Bohren. In alle Rohre wurden träge reagierende, in Zehntelgrade eingeteilte Thermometer bis zum Grunde versenkt. Um jedes Einsickern von Wasser zunächst zu verhindern, wurde der Boden mit einer ca. 20 cm starken, festgestampften Lehmschicht bedeckt. Die Rohre, die ca. 70 cm über das Terrain hinausragten, wurden mit einem Blechzylinder umgeben, der in der Lehmschicht befestigt wurde. Alle Spalten und Fugen wurden sorgfältig mit Lehm verklebt. Zu-

Tabelle 41.

Beobachtung der Temperaturen in verschiedenen Bodentiefen im Garten des Hygienischen Instituts (vergl. die Kurve III, S. 77).

Tag und Stunde		Temperatur im B. R.			
		I (9 m)	II (9 m)	III (6 m)	IV (3 m)
24.	April 5 nachm.	—	9,6 °	8,58 °	6,65 °
24.	" 7 "	—	9,6 "	8,58 "	6,75 "
25.	" 9 ³⁰ vorm.	—	9,4 "	8,58 "	6,75 "
25.	" 11 ³⁰ "	—	9,4 "	8,58 "	6,75 "
25.	" 6 nachm.	—	9,4 "	8,58 "	6,75 "
26.	" 9 ³⁰ vorm.	—	9,3 "	8,38 "	6,8 "
26.	" 11 ³⁰ "	9,5 °	9,35 "	8,48 "	6,75 "
26.	" 1 ³⁰ nachm.	9,5 "	9,5 "	8,48 "	6,8 "
26.	" 5 "	9,5 "	9,5 "	8,38 "	6,8 "
26.	" 7 "	9,5 "	9,5 "	8,48 "	6,8 "
27.	" 10 vorm.	9,5 "	9,45 "	8,43 "	6,85 "
27.	" 12 "	9,5 "	9,55 "	8,48 "	6,85 "
27.	" 5 ³⁰ nachm.	9,5 "	9,55 "	8,48 "	6,85 "
28.	" 11 ³⁰ vorm.	9,5 "	9,5 "	8,48 "	6,85 "
29.	" 9 ³⁰ "	9,5 "	9,3 "	8,28 "	6,95 "
29.	" 12 ⁴⁵ nachm.	9,5 "	9,3 "	8,33 "	6,95 "

nächst wurden die Temperaturen einige Tage beobachtet (Tabelle 41, Kurve III, S. 77).

Nunmehr wurden einige Eimer Leitungswasser in den vom Blechzylinder eingeschlossenen Hohlraum gegossen. Nach einiger Zeit wurde festgestellt, daß durch den Lehmboden kein Wasser versickert war. Das Wasser wurde wieder herausgepumpt, in den Hohlraum wurden 150 kg Eis eingefüllt und eisgekühltes Wasser wurde eingegossen, bis die Rohre noch 10 cm aus dem Wasser herausragten. Das Eingießen des Eiswassers erfolgte am 29. April, 1 Uhr nachmittags. Die Temperatur des Eiswassers war 1°, die Bodentemperaturen sind in der Tabelle 42 verzeichnet (Kurve III).

Tabelle 42.

Veränderungen der Temperatur bei verhindertem Einsickern des Eiswassers (vergl. die Kurve III).

Tag und Stunde	Temperatur im B. R.				Bemerkungen
	I (9 m)	II (9 m)	III (6 m)	IV (3 m)	
29. April 12 ⁴⁵ nachm.	9,5 °	9,3 °	8,33 °	6,95 °	Vor Beginn d. Versuchs. 1 Uhr nachm.: Eingießen des Eiswassers
29. „ 1 ³⁰ „	9,45 „	9,45 „	8,43 „	6,95 „	
29. „ 4 ³⁰ „	9,45 „	9,45 „	8,33 „	6,95 „	Um 12 mittags 100 kg Eis zugefügt
29. „ 7 ¹⁵ „	9,5 „	9,50 „	8,38 „	6,95 „	
30. „ 9 ³⁰ vorm.	9,45 „	9,35 „	8,38 „	6,95 „	
30. „ 1 nachm.	9,5 „	9,4 „	8,38 „	6,95 „	
30. „ 4 ³⁰ „	9,45 „	9,4 „	8,33 „	6,95 „	Mittags 100 kg Eis nachgefüllt
1. Mai 10 vorm.	9,45 „	9,4 „	8,43 „	6,95 „	
1. „ 5 nachm.	9,45 „	9,4 „	8,38 „	7,0 „	
2. „ 10 vorm.	9,45 „	9,4 „	8,43 „	7,05 „	
3. „ 6 nachm.	9,4 „	9,4 „	8,38 „	7,05 „	

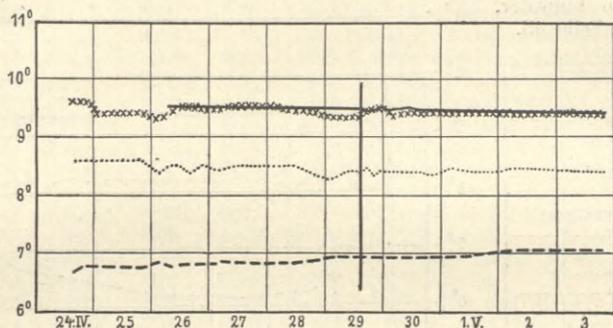
Es ergibt sich aus dieser Tabelle, daß bei sicher verhindertem Einsickern des Wassers durch die Abkühlung des oberen Rohrabschnittes eine meßbare Beeinflussung der Temperatur des Wassers im Rohr nicht stattfindet (vergl. die Kurve III).

In einem zweiten Versuch sollte festgestellt werden, ob eine Beeinflussung der Temperatur eintritt, wenn das Wasser im allgemeinen durch eine undurchlässige Schicht am Versickern verhindert ist und nur an den Wandungen der etwas lockeren Rohre eindringen kann. Daher wurden zunächst die eingebrachte Lehmschicht und die darunter befindliche natürliche Lettenschicht entfernt, so daß in einer Tiefe von 115 cm unter dem Terrain Sand zu Tage lag. Auf den Sand kam wieder eine festgestampfte Lehmschicht von 10 cm Stärke, nur die unmittelbaren Umgebungen der vier Beobachtungsrohre blieben

frei. Die Rohre ließen sich im Sande ziemlich leicht hin- und herdrehen und stoßen, da der Sand — wenigstens oben — nicht sehr fest anlag. Der Gang des Versuchs ist aus der Tabelle 43 und der Kurve IV A ersichtlich.

Kurve III.

Bodentemperatur im Garten des Hygienischen Instituts, bei verhindertem Einsickern des Eiswassers (vergl. die Tabellen 41 und 42).



— B. R. I (9 m, unten geschlossen)
 ××××× B. R. II (9 m, „ offen)
 B. R. III (6 m)
 - - - - B. R. IV (3 m)

Der senkrechte Strich bedeutet das Aufgießen des Eiswassers.

Tabelle 43.

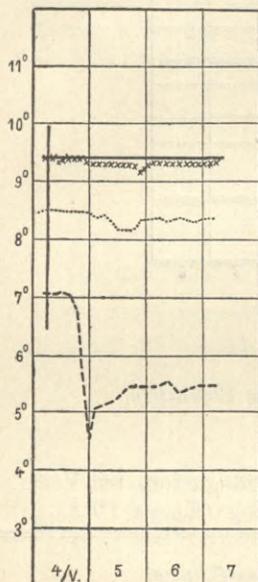
Temperaturen in den Beobachtungsrohren im Institutsgarten, bei Versickern von kaltem Wasser an den Rohren entlang (Kurve IV A).

Tag und Stunde	Temperatur im B. R.				Bemerkungen
	I (9m)	II (9m)	III (6m)	IV (3m)	
4. Mai 10 vorm.	9,4 °	9,4 °	8,43 °	7,05 °	4. Mai. Vor Beginn des Versuchs.
4. „ 11 „	9,4 „	9,4 „	8,48 „	7,1 „	Um 10 ¹⁵ vorm. wurden eisgekühltes Wasser von ca. 1° und Eis eingegossen. Wasserstand ca. 38 cm.
4. „ 12 mittags	9,4 „	9,35 „	8,43 „	7,1 „	Um 5 nachm. Wasser nachgefüllt. Wasserstand ca. 38 cm.
4. „ 1 nachm.	9,4 „	9,4 „	8,43 „	7,05 „	Um 11 vorm. Wasserstand 30 cm, um 12 mittags Wasserstand 14 cm, um 12 mittags wird Wasser nachgefüllt, so daß der Wasserstand 54 cm.
4. „ 5 „	9,4 „	9,35 „	8,43 „	7,0 „	Wasserstand 14 cm, um 12 mittags wird Wasser nachgefüllt, so daß der Wasserstand 54 cm.
4. „ 5 ⁴⁵ „	—	—	—	6,8 „	Temperatur des Wassers 4°.
4. „ 6 ³⁰ „	9,4 „	9,4 „	8,43 „	5,8 „	Um 1 nachm. Wasserstand: 42 cm.
4. „ 7 ³⁰ „	9,4 „	9,35 „	8,43 „	4,55 „	Um 3 nachm. 100 kg Eis und Wasser nachgefüllt
5. „ 9 vorm.	9,4 „	9,32 „	8,35 „	5,05 „	Um 5 nachm. Wasser nachgefüllt bis zum Rand des Zylinders
5. „ 10 ³⁰ „	9,4 „	9,3 „	8,38 „	5,15 „	Um 5 nachm. Wasser nachgefüllt bis zum Rand des Zylinders
5. „ 12 mittags	9,4 „	9,3 „	8,13 „	5,25 „	Um 6 ³⁰ Wasserstand ca. 50 cm, um 7 ³⁰ ca. 7 cm Wasser nachgegossen
5. „ 5 nachm.	9,4 „	9,3 „	8,13 „	5,45 „	5. Mai. In der Nacht zum 5. läuft andauernd etwas Wasser zu. Früh (6 Uhr) ist alles Eis geschmolzen. 250 kg Eis nachgefüllt, Wasser tropft stets zu, so daß der Wasserstand unverändert bleibt.
5. „ 6 ³⁰ „	9,4 „	9,2 „	8,28 „	5,45 „	6 ³⁰ nachm. 150 kg Eis eingefüllt. Wasser tropft ständig zu.
6. „ 9 vorm.	9,4 „	9,35 „	8,3 „	5,45 „	
6. „ 11 ³⁰ „	9,4 „	9,32 „	8,28 „	5,55 „	
6. „ 1 nachm.	9,4 „	9,32 „	8,33 „	5,35 „	
6. „ 5 „	9,4 „	9,3 „	8,28 „	5,45 „	
7. „ 9 vorm.	9,4 „	9,35 „	8,33 „	5,45 „	

Nunmehr wurde die Lehmschicht vollständig entfernt, so daß der Sand frei zu Tage lag. Alsdann wurde der Versuch fortgesetzt.

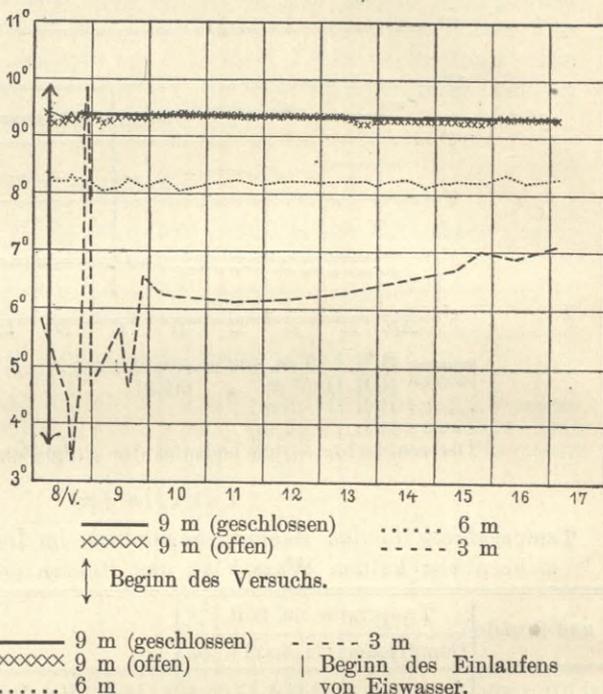
Kurve IV A.

Bodentemperatur im Institutsgarten bei Versickern von kaltem Wasser. A. Nur an den Röhren hinunter. Vergl. die Tabelle 43.



Kurve IV B.

Bodentemperatur im Institutsgarten bei Versickern von kaltem Wasser. B. Bei völlig ungehindertem Versickern (vergl. die Tabelle 44).



Den Gang des Versuchs und die Temperaturveränderungen gibt die Tabelle 44 und die Kurve IV B wieder.

Bei der außerordentlich hohen Lufttemperatur war es unmöglich, andauernd einen Zufluß von eisgekühltem Wasser zu unterhalten. Der Versuch wurde daher am 9. Mai nachmittags abgebrochen. Als die Temperatur wieder den normalen Stand erreicht hatte, wurde der Versuch wieder aufgenommen, und zwar mit erwärmtem Wasser. Zunächst wurde Wasser von 25° eingefüllt, so daß es im Zylinder etwa 35 cm hoch stand. Dann wurde ein dauernder Zufluß von Wasser unterhalten, das durch einen Junkerschen Gasofen auf 25° erwärmt worden war. Die Resultate der Temperaturmessungen sind in der Tabelle 45 und der Kurve V verzeichnet.

Tabelle 44.

Temperaturen in den Beobachtungsröhren im Institutsgarten, bei ungehindertem Versickern von kaltem Wasser (vergl. die Kurve IV B).

Tag und Stunde	Temperatur im B. R.				Bemerkungen
	I (9m)	II (9m)	III (6m)	IV (3m)	
8. Mai 10 vorm.	9,4 °	9,4 °	8,33 °	5,8 °	8. Mai. Vor Beginn des Versuchs. Um 10 vorm. werden 250 kg Eis und eisgekühltes Wasser (1 ^o) in größeren Mengen eingefüllt. Das Wasser dringt schnell und in großen Mengen in den Boden ein. Es wird ein dauernder Zufluß unterhalten. Zwischen 12 mittags und 1 ^o nachm. ist alles Eis geschmolzen, so daß das Wasser von jetzt ab ungekühlt zuläuft, da der Wasserzufluß anhält. Es versickern andauernd große Mengen. Um 5 ^{1/2} nachm. werden ca. 100 kg Eis zugefügt, 6 ³⁰ noch weitere 250 kg. 9 nachm. 250 kg Eis nachgefüllt. Das Wasser steht in den B. R. ca. 50 cm höher als zu Beginn des Versuchs. 9. Mai. 9 ³⁰ vorm. 300 kg Eis eingefüllt. Um 5 nachm. alles Eis weggeschmolzen. Der Versuch wird wegen der Unmöglichkeit genügende Eismengen zu beschaffen eingestellt. 6 ³⁰ nachm. ist alles Wasser versickert. Grundwasserstand in den Beobachtungsröhren 350 cm unter der Oberkante der Rohre (280 cm unter der Erdoberfläche, 160 cm unter der Oberfläche des zutage tretenden Sandes).
8. „ 11 „	9,4 „	9,2 „	8,18 „	5,35 „	
8. „ 12 mittags	9,3 „	9,2 „	8,18 „	4,65 „	
8. „ 1 nachm.	9,3 „	9,3 „	8,18 „	4,45 „	
8. „ 1 ³⁰ „	9,4 „	9,3 „	8,28 „	3,35 „	
8. „ 4 ³⁰ „	9,3 „	9,3 „	8,18 „	4,35 „	
8. „ 6 „	9,4 „	9,35 „	8,23 „	6,15 „	
8. „ 7 ³⁰ „	9,4 „	9,4 „	8,18 „	9,15 „	
8. „ 7 ⁴⁵ „	—	—	—	9,85 „	
8. „ 9 ¹⁵ „	9,4 „	—	8,18 „	4,65 „	
9. „ 9 ³⁰ vorm.	9,4 „	9,2 „	8,03 „	5,0 „	
9. „ 12 mittags	9,4 „	9,3 „	8,08 „	5,65 „	
9. „ 1 ¹⁵ nachm.	9,4 „	9,35 „	8,18 „	4,65 „	
9. „ 5 ¹⁵ „	9,4 „	9,3 „	8,13 „	5,75 „	
9. „ 6 ²⁰ „	9,4 „	9,3 „	8,08 „	6,55 „	
10. „ 9 vorm.	9,4 „	9,35 „	8,18 „	6,25 „	
10. „ 12 ¹⁵ nachm.	9,4 „	9,4 „	8,03 „	6,2 „	
10. „ 5 „	9,38 „	9,3 „	8,08 „	6,2 „	
11. „ 12 mittags	9,36 „	9,35 „	8,18 „	6,1 „	
11. „ 7 nachm.	9,36 „	9,3 „	8,13 „	6,15 „	
12. „ 12 mittags	9,36 „	9,35 „	8,18 „	6,15 „	
13. „ 11 vorm.	9,36 „	9,36 „	8,18 „	6,3 „	
13. „ 5 nachm.	9,36 „	9,2 „	8,18 „	6,4 „	
13. „ 7 ³⁰ „	9,36 „	9,25 „	8,13 „	6,4 „	
14. „ 12 mittags	9,36 „	9,25 „	8,18 „	6,5 „	
14. „ 7 nachm.	9,36 „	9,26 „	8,08 „	6,55 „	
15. „ 11 vorm.	9,36 „	9,26 „	8,18 „	6,7 „	
15. „ 7 nachm.	9,36 „	9,22 „	8,18 „	7,0 „	
16. „ 10 vorm.	9,33 „	9,3 „	8,28 „	6,9 „	
16. „ 1 nachm.	9,33 „	9,3 „	8,18 „	6,95 „	
16. „ 7 „	9,3 „	9,3 „	8,18 „	7,0 „	

Als Resultat dieser Vorversuche kann festgestellt werden, daß entsprechend dem Verhältnis der spezifischen Wärme des Wassers zu der des Bodens die Temperatur des eindringenden Wassers durch die Bodentemperatur sehr wenig beeinflusst wird. Nach wenigen Stunden bereits hat der Boden in 3 m Tiefe die Temperatur des eindringenden Wassers angenommen. Die Füllung der Rohre mit Wasser ist in der Tat nicht bedeutungslos. Denn während in dem mit Luft gefüllten Rohre I in der Tiefe die Temperatur andauernd ganz gleichmäßig ist, sind in dem mit Wasser gefüllten Rohre II kleine Schwankungen aufgetreten, die wohl darauf zurückzuführen sind. Da diese Schwankungen aber so geringfügig sind, daß sie bei den im Gelände verwendeten, in halbe Grade geteilten Thermometern innerhalb der Ablesungsfehler liegen, so kann diese Fehlerquelle vernachlässigt werden. Die Brauchbarkeit der

Tabelle 45.

Temperaturen in den Beobachtungsrohren im Institutsgarten bei un-
gehindertem Versickern von warmem Wasser (vergl. die Kurve V).

Tag und Stunde	Temperatur im B. R.				Bemerkungen	
	I (9 m)	II (9 m)	III (6 m)	IV (3 m)		
17. Mai 9 vorm.	9,3 °	9,3 °	8,23 °	7,1 °	Vor Beginn des Versuchs. Beginn 9 ³⁰ vorm.	
17. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,4 "	8,28 "	7,15 "	Temperatur des zufließenden Wassers an- dauernd 25 °.	
17. " 11 ⁴⁰ "	9,3 "	9,35 "	8,28 "	7,7 "		
17. " 12 ³⁰ nchm.	9,3 "	9,35 "	8,28 "	8,8 "	Temperatur des zufließenden Wassers 25 °.	
17. " 1 ³⁰ "	9,3 "	9,35 "	8,23 "	9,9 "		
17. " 3 ¹⁵ "	9,3 "	9,4 "	8,13 "	12,5 "		
17. " 4 ¹⁵ "	9,3 "	9,45 "	8,18 "	13,8 "		
17. " 5 ¹⁵ "	9,3 "	9,4 "	8,23 "	15,6 "		
17. " 6 ²⁰ "	9,3 "	9,4 "	8,23 "	17,4 "		
17. " 7 ³⁰ "	—	—	—	19,6 "		
18. " 9 vorm.	9,3 "	9,47 "	8,26 "	25,05 "		Temperatur des Zuflusses morgens 27 °. Re- gistriert auf 25 °.
18. " 12 mittgs	9,3 "	9,4 "	8,28 "	24,85 "		
18. " 5 ¹⁵ nchm.	9,3 "	9,35 "	8,23 "	24,55 "		Temperatur des zufließenden Wassers mor- gens 28 °. Reguliert auf 25 °.
18. " 7 "	9,3 "	9,35 "	8,23 "	—		
19. " 9 ³⁰ vorm.	9,3 "	9,35 "	8,28 "	22,1 "		
19. " 1 nchm.	9,3 "	9,4 "	8,28 "	22,45 "		
19. " 3 ¹⁵ "	9,3 "	9,4 "	8,28 "	22,45 "		
19. " 6 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	8,28 "	22,95 "		
20. " 9 vorm.	9,3 "	9,5 "	8,38 "	22,95 "		
20. " 12 mittgs	9,3 "	9,5 "	8,28 "	22,95 "		
20. " 6 ³⁰ nchm.	9,3 "	10,0 "	8,48 "	23,05 "		
21. " 9 vorm.	9,3 "	9,5 "	8,38 "	23,05 "		
21. " 12 ⁴⁵ nchm.	9,3 "	9,4 "	8,38 "	22,75 "	Temperatur des zulaufenden Wassers 27 °.	
21. " 4 ³⁰ "	9,3 "	9,4 "	8,48 "	22,85 "		
21. " 6 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	8,48 "	22,95 "		
22. " 9 vorm.	9,3 "	10,0 "	8,58 "	24,65 "		
22. " 12 ³⁰ nchm.	9,3 "	9,5 "	8,48 "	24,9 "		
22. " 5 "	9,3 "	9,5 "	8,58 "	25,05 "		
22. " 7 "	9,3 "	9,5 "	8,58 "	25,05 "		
23. " 11 vorm.	9,3 "	9,7 "	8,58 "	24,25 "		
23. " 7 nchm.	9,3 "	9,55 "	8,58 "	23,05 "		
24. " 11 vorm.	9,3 "	9,5 "	8,63 "	23,2 "		Am 24. Mai abends Wasserzufluß abgestellt. Der Zufluß hatte in der Stunde ca. 100 l betragen.
25. " nchm.	9,3 "	9,6 "	8,88 "	23,05 "		
26. " 11 vorm.	9,25 "	9,45 "	8,98 "	22,15 "		
27. " 10 ³⁰ "	9,25 "	9,65 "	9,18 "	20,95 "		
28. " 10 ³⁰ "	9,25 "	9,55 "	9,23 "	19,85 "		
29. " 10 ³⁰ "	9,25 "	9,5 "	9,28 "	18,7 "		
30. " 10 ³⁰ "	9,25 "	9,45 "	9,38 "	17,75 "		
31. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,38 "	17,0 "		
1. Juni 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	15,25 "		
2. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	15,25 "		
3. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	15,15 "		
4. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	14,9 "		
5. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	14,9 "		
6. " 10 ³⁰ "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	13,9 "		
7. " nchm.	9,3 "	9,5 "	9,53 "	13,6 "		
8. " "	—	—	—	—		
9. " "	—	9,5 "	9,53 "	13,25 "		
10. " vorm.	—	9,5 "	9,53 "	13,0 "		
11. " "	—	9,5 "	9,56 "	12,85 "		
12. " "	—	9,5 "	9,53 "	12,65 "		

Tag und Stunde	Temperatur im B. R.				Bemerkungen
	I (9 m)	II (9 m)	III (6 m)	IV (3 m)	
14. Juni vorm.	—	9,5 °	9,53 °	12,35 °	
17. "	—	9,5 "	9,53 "	12,1 "	
18. "	9,3 °	9,5 "	9,53 "	12,05 "	
21. "	9,3 "	9,5 "	9,48 "	12,2 "	
26. "	9,35 "	9,5 "	9,53 "	11,8 "	
1. Juli	9,37 "	9,5 "	9,55 "	11,75 "	
9. "	9,4 "	9,5 "	9,63 "	12,0 "	

Temperaturmessungen zur Entscheidung der Frage, ob zu irgend einem Zeitpunkte Oberflächenwasser dem Grundwasser beigemischt war, dürfte damit erwiesen sein.

Die Tabellen 46—51 und die Kurven VI—XXII geben die Resultate der Messungen wieder, die von Januar bis August 1907 im Gelände vorgenommen worden sind.

Tabelle 46 (vergl. die Kurven VI—IX S. 88).
Beobachtungsrohre im Querprofil I¹).

Beobach- tungsrohr	3	3a	4	4a	5	5a	6	6a	Bemerkungen
Tiefe des Thermo- meters	7,84 m	3,54 m	7,54 m	3,53 m	4,53 m	7,54 m	4,80 m	9 m	
Temp. am									
12. Jan.	10,25 °		10,5 °		10,5 °		9,25 °		
14. Jan.	9,75 "		10,0 "		10,75 "		8,75 "		
16.—19. Jan.	unter Wasser		unter Wasser		unter Wasser		unter Wasser		In der Nacht zum 16. Jan. wird das Gelände über- schwemmt
9. Febr.	9,75 °	7,5 °	9,75 °	7,75 °	—	11,25 °	7,5 °	8,75 °	Am 21. März Über- schwemmung
18. "	9,50 "	7,75 "	9,75 "	7,5 "	9,75 °	11,0 "	7,25 "	8,5 "	
25. "	9,25 "	6,5 "	9,75 "	7,5 "	6,75 "	10,75 "	7,5 "	9,75 "	
5. März	9,25 "	7,0 "	9,5 "	7,5 "	8,25 "	11,0 "	6,75 "	8,25 "	
25. "	9,0 "	6,0 "	8,75 "	6,25 "	9,5 "	10,0 "	6,25 "	8,0 "	
28. "	9,0 "	5,75 "	9,0 "	6,5 "	9,25 "	9,75 "	6,25 "	8,0 "	
5. April	8,5 "	6,25 "	8,5 "	6,25 "	8,75 "	9,5 "	6,0 "	8,0 "	
22. "	8,5 "	6,5 "	8,25 "	6,5 "	8,25 "	9,5 "	6,25 "	7,75 "	
6. Mai	8,75 "	6,75 "	8,75 "	6,75 "	8,5 "	9,5 "	6,5 "	7,75 "	
22. "	8,5 "	7,25 "	8,75 "	7,25 "	8,5 "	9,5 "	6,25 "	7,5 "	
18. Juni	8,5 "	8,75 "	9,0 "	8,25 "	8,5 "	9,25 "	7,5 "	7,5 "	
25. "	8,75 "	8,5 "	8,75 "	8,75 "	8,5 "	9,25 "	7,75 "	7,25 "	
11. Juli	8,5 "	9,25 "	9,0 "	9,25 "	8,5 "	9,25 "	8,5 "	7,25 "	
16. "	8,5 "	9,75 "	9,0 "	9,5 "	8,75 "	9,25 "	8,25 "	7,5 "	
18. "	8,75 "	9,25 "	9,0 "	9,5 "	8,75 "	9,25 "	8,25 "	7,5 "	Am 18. Juli Über- schwemmung
19. "	8,75 "	10,5 "	unzugänglich	unzugänglich	unzugänglich	unzugänglich	unzugänglich	unzugänglich	Bei 5a u. 6 ist auch das Aufsatzrohr unter Wasser
20. "	8,75 "	11,25 "	9,0 °	9,75 °	9,0 °	unter Wasser	7,5 °		
22. "	8,75 "	11,25 "	9,0 "	10,0 "	9,0 "	9,25 °	8,5 °	7,5 "	
24. "	8,75 "	11,25 "	9,0 "	10,0 "	unzugänglich	unzugänglich	unzugänglich		
26. "	8,75 "	11,25 "	9,0 "	10,0 "	9,0 °	9,25 °	9,0 °	7,75 °	
31. "	8,5 "	11,25 "	9,0 "	10,25 "	9,25 "	9,0 "	—	7,5 "	
19. Aug.	9,0 "	11,75 "	9,25 "	10,75 "	9,75 "	9,5 "	9,75 "	8,0 "	

1) Die Beobachtungsrohre sind in dem Übersichtsbild (S. 1) eingezeichnet.

Kurve V.

Bodentemperatur im Institutsgarten beim Versickern von warmem Wasser (25°
(vergl. die Tabelle 45, S. 80).

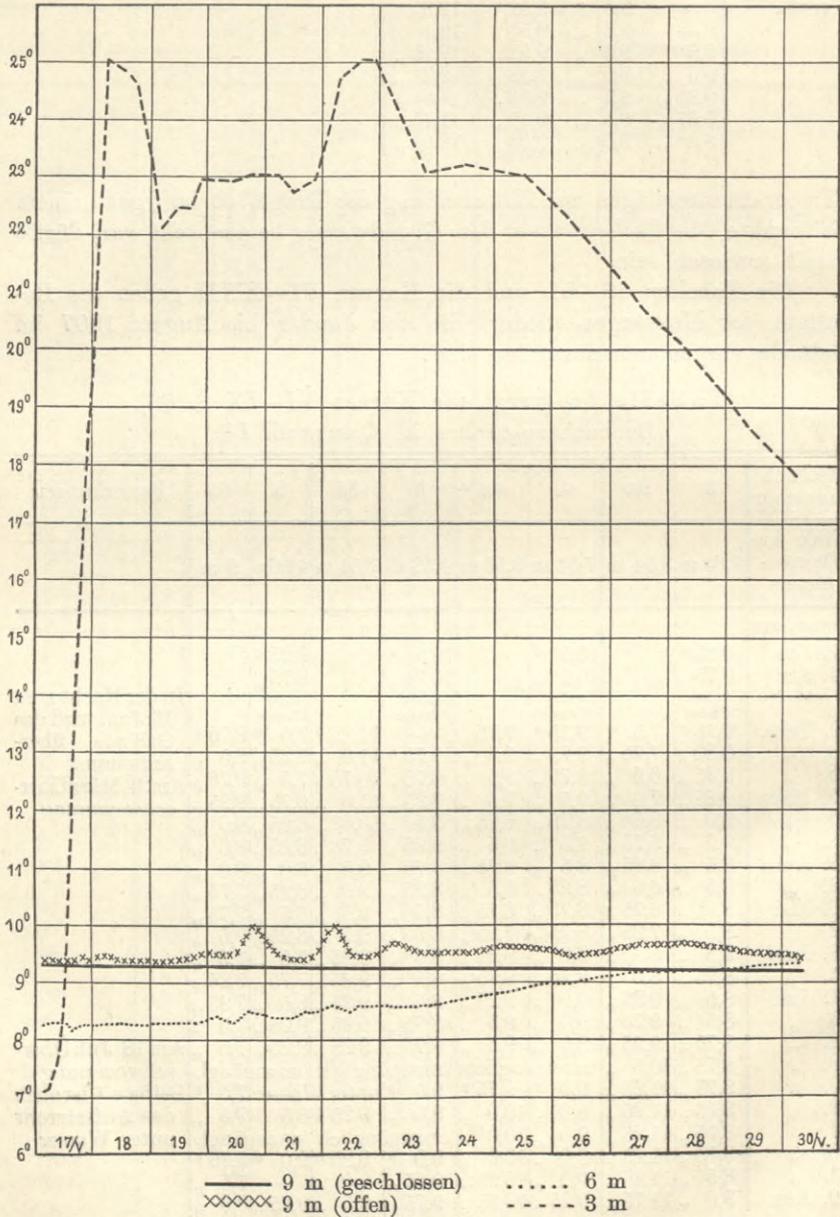


Tabelle 47.

Beobachtungsrohre im Querprofil II.

Beobach- tungsrohr	11	11a	9	9a	7	7a	Bemerkungen
Tiefe des Thermo- meters	8,30 m	5 m	9,25 m	5 m	4,45 m	9 m	
Temp. am							
11. Jan.	10,25 °		10,25 °		9,75 °		Die Beobachtungsrohre 7, 9 und 11 stehen im ein- gedeckten, überschwem- mungsfreien Gelände
14. "	10,0 "		10,0 "		9,25 "		
16. "	9,75 "		10,25 "		9,25 "		
18. "	10,0 "		10,0 "		9,75 "		
9. Febr.	9,75 "	8,25 °	9,75 "	8,25 °	8,0 "	9,25 °	
18. "	9,5 "	7,75 "	9,5 "	8,0 "	7,5 "	9,0 "	
25. "	9,25 "	7,75 "	9,5 "	7,5 "	7,25 "	9,25 "	
5. März	9,0 "	7,25 "	9,5 "	7,75 "	7,0 "	8,25 "	
21. "	8,5 "	6,25 "	8,75 "	6,75 "	6,75 "	8,5 "	
22. "	8,0 "	6,0 "	8,25 "	6,25 "	6,75 "	8,0 "	
23. "	9,0 "	5,25 "	8,75 "	6,75 "	6,5 "	8,25 "	
25. "	8,5 "	6,25 "	8,75 "	6,5 "	6,5 "	7,0 "	
28. "	8,5 "	6,25 "	8,75 "	6,25 "	6,25 "	8,25 "	
5. April	8,5 "	6,5 "	8,75 "	6,75 "	6,25 "	8,25 "	
22. "	8,5 "	6,75 "	8,75 "	6,75 "	6,25 "	8,5 "	
6. Mai	9,0 "	7,0 "	8,75 "	7,0 "	6,25 "	8,25 "	
22. "	8,5 "	7,25 "	8,75 "	7,25 "	6,75 "	8,25 "	
18. Juni	8,5 "	8,5 "	8,5 "	8,25 "	7,5 "	8,25 "	
25. "	8,75 "	9,0 "	8,25 "	9,25 "	8,0 "	8,5 "	
11. Juli	8,75 "	9,25 "	8,25 "	9,25 "	8,0 "	8,5 "	
16. "	8,75 "	9,5 "	8,5 "	9,5 "	8,0 "	8,0 "	
18. "	9,0 "	9,5 "	8,5 "	9,5 "	8,25 "	8,0 "	
19. "	8,75 "	9,5 "	8,75 "	9,5 "	8,25 "	8,25 "	
20. "	9,0 "	9,75 "	8,75 "	9,5 "	8,25 "	8,25 "	
22. "	9,0 "	10,0 "	8,75 "	9,75 "	8,25 "	8,25 "	
24. "	9,0 "	9,75 "	8,75 "	9,75 "	8,5 "	8,25 "	
26. "	9,0 "	9,75 "	8,75 "	9,5 "	8,5 "	8,25 "	
31. "	8,75 "	10,0 "	9,0 "	9,75 "	9,5 "	8,0 "	
19. Aug.	9,5 "	10,5 "	9,0 "	10,5 "	9,75 "	8,5 "	

In die Beobachtungszeit fallen 3 Überschwemmungen: die erste am 16. Januar, eine zweite am 21. März, die dritte am 18. Juli. Als die erste Überschwemmung eintrat, waren die Vorbereitungen zur Temperaturmessung noch nicht beendet. Die neuen Beobachtungsrohre waren — mit wenigen Ausnahmen — noch nicht eingebracht oder noch nicht mit Thermometern versehen. Leider waren auch die meisten Rohre noch lange Zeit nach der Überflutung von jedem Zugange abgesperrt. Es trat nämlich fast gleichzeitig mit der Überschwemmung Frost ein, so daß eine dünne Eisdecke sich bildete, die

Tabelle 48 (vergl. die Kurve X und XI, S. 88).
Beobachtungsrohre im Querprofil III.

Beobach- tungsrohr	15	15a	16	16a	Bemerkungen
Tiefe des Thermo- meters	7,51 m	3,53 m	8,14 m	4 m	
Temp. am					
11. Jan.	11,0 °		10,25 °		
14. "	10,75 "		9,75 "		
16. "	10,5 "		10,25 "		Am 16. Jan. Überschwemmung
18. "	10,5 "		10,25 "		
9. Febr.	10,0 "	7,0 °	10,0 "	7,75 °	
18. "	9,75 "	6,75 "	10,0 "	7,25 "	
25. "	9,75 "	6,75 "	9,75 "	7,5 "	
5. März	9,5 "	—	9,75 "	7,0 "	
21. "	8,25 "	6,25 "	8,25 "	6,0 "	Überschwemmung am 21. März
23. "	6,75 "	5,75 "	7,75 "	6,25 "	
25. "	8,0 "	6,25 "	8,25 "	6,25 "	
5. April	8,0 "	6,25 "	8,25 "	6,25 "	
22. "	8,75 "	6,25 "	8,25 "	6,5 "	
6. Mai	8,5 "	6,75 "	8,25 "	6,75 "	
22. "	8,5 "	7,25 "	8,25 "	7,0 "	
18. Juni	8,5 "	8,25 "	8,25 "	8,0 "	
25. "	8,5 "	8,5 "	8,5 "	8,5 "	
11. Juli	8,5 "	9,0 "	8,25 "	9,25 "	
16. "	8,75 "	9,5 "	8,25 "	9,25 "	
19. "	8,5 "	10,25 "	8,5 "	9,5 "	Am 18. Juli Überschwemmung
20. "	8,5 "	10,0 "	8,5 "	9,5 "	
24. "	8,5 "	10,0 "	8,5 "	9,5 "	
26. "	8,75 "	9,75 "	8,5 "	9,5 "	
31. "	8,25 "	10,0 "	8,5 "	9,75 "	
19. Aug.	9,0 "	10,5 "	8,75 "	10,5 "	

ein Befahren des Geländes im Kahn unmöglich machte. Andererseits war das Eis nicht genügend tragfähig, so daß keine Möglichkeit bestand, zu den Rohren zu gelangen. Daher konnte die erste Beobachtung an den meisten Stellen erst am 9. Februar erfolgen, mehr als 3 Wochen nach der Überschwemmung. Die Resultate der Messungen können daher keine Anhaltspunkte für die Schnelligkeit des Eindringens des Überschwemmungswassers geben.

Bei der Überschwemmung im März sind häufigere Untersuchungen möglich gewesen. Am besten beobachtet aber wurde die Wirkung des Julihochwassers. Ein oder zwei Tage vor Eintritt der Überschwemmung wurden in allen Beobachtungsrohren die Temperaturen abgelesen, nach der Überschwemmung wurde eine Woche lang täglich

Tabelle 49 (vergl. die Kurven XII—XIV, S. 89).

Beobachtungsrohre im Querprofil V.

Beobachtungsrohr	28	28a	29	29a	30	30a	31	31a	32	32a	Bemerkungen
Tiefe des Thermometers	8 m	4 m	7,38 m	4 m	5,90 m	9 m	5 m	8 m	3,20 m	7,60 m	
Temp. am											
11. Jan.	10,5 °		10,25 °		10,75 °		8,75 °		8,75 °		Die Beobachtungsrohre 30, 31 und 32 stehen im eingedeichten, überschwemmungsfreien Terrain
14. "	10,5 "		9,75 "		10,75 "		8,5 "		8,50 "		
16. "	9,5 "		9,5 "		10,25 "		6,5 "		7,75 "		
18. "	10,25 "		9,75 "		10,0 "	10,25 °	8,25 "		8,25 "		
19. "					10,0 "	9,25 "	9,5 "		8,25 "		
9. Febr.	9,25 "	6,75 °	8,75 "	6,25 "	9,75 "	10,25 "		9,5 °	7,0 "	9,5 °	Am 16. Jan. Überschwemmung
18. "	9,25 "	6,5 "	7,5 "	6,5 "	9,5 "	10,0 "	7,75 "	8,75 "	6,75 "	9,5 "	
25. "	9,5 "	6,5 "	7,75 "	6,25 "	9,25 "	9,75 "	7,5 "	9,25 "	6,5 "	9,25 "	
5. März	9,0 "	6,25 "	8,0 "	5,75 "	8,5 "	9,75 "	7,25 "	9,25 "	6,5 "	9,25 "	Überschwemm. am 21. März
21. "	8,0 "	6,0 "	7,25 "	5,75 "	8,0 "	9,25 "	6,5 "	8,25 "	6,25 "	8,75 "	
22. "	8,25 "	6,0 "	7,0 "	5,0 "	8,25 "	9,25 "	5,75 "	8,75 "	6,25 "	9,25 "	
23. "	8,5 "	5,25 "	7,75 "	5,5 "	8,5 "	8,75 "	4,5 "	8,25 "	6,5 "	8,25 "	
25. "	8,75 "	6,0 "	8,0 "	5,75 "	8,5 "	9,25 "	6,25 "	8,75 "	6,5 "	9,0 "	
28. "	8,25 "	6,0 "	7,75 "	5,5 "	7,5 "	9,25 "	6,75 "	8,25 "	5,25 "	8,25 "	
5. April	8,5 "	6,0 "	8,0 "	5,5 "	8,0 "	8,75 "	6,75 "	8,5 "	6,5 "	8,5 "	
22. "	8,5 "	6,5 "	7,75 "	5,5 "	7,5 "	8,75 "	6,75 "	8,5 "	6,5 "	8,5 "	
6. Mai	8,5 "	7,0 "	7,5 "	5,75 "	7,25 "	8,5 "	6,75 "	8,25 "	6,75 "	8,5 "	
22. "	8,25 "	7,25 "	7,75 "	6,5 "	7,5 "	8,25 "	7,25 "	8,25 "	8,25 "	7,25 "	
18. Juni	8,25 "	8,75 "	7,75 "	7,75 "	8,0 "	8,5 "	8,25 "	8,5 "	8,5 "	8,5 "	
25. "	8,25 "	9,5 "	7,5 "	8,0 "	8,5 "	8,5 "	8,5 "	8,5 "	8,75 "	8,5 "	
11. Juli	8,5 "	9,75 "	8,25 "	8,75 "	8,5 "	8,5 "	8,75 "	8,5 "	9,5 "	8,5 "	
16. "	8,25 "	10,0 "	8,25 "	9,0 "	8,75 "	8,75 "	9,25 "	8,75 "	9,75 "	8,5 "	
19. "	8,25 "	11,0 "	8,25 "	9,25 "	8,75 "	8,5 "	9,25 "	8,75 "	9,75 "	8,75 "	Überschwemm. am 18. Juli
20. "	8,25 "	11,0 "	8,25 "	9,5 "	8,75 "	8,5 "	9,25 "	8,75 "	9,75 "	8,75 "	
22. "	8,25 "	11,0 "	8,5 "	9,5 "	8,75 "	8,5 "	9,25 "	8,75 "	9,75 "	8,75 "	
24. "	8,5 "	11,0 "	8,5 "	9,5 "	8,75 "	8,5 "	9,5 "	8,75 "	9,75 "	8,75 "	
25. "	8,5 "	11,0 "	8,5 "	9,75 "	8,75 "	8,5 "	9,5 "	8,75 "	10,0 "	8,75 "	
31. "	8,25 "	11,0 "	8,5 "	10,0 "	9,0 "	8,5 "	9,25 "	8,75 "	10,0 "	8,75 "	
19. Aug.	9,0 "	11,5 "	9,0 "	10,75 "	9,25 "	8,75 "	10,0 "	9,0 "	10,5 "	9,0 "	

oder jeden zweiten Tag untersucht. Die Beobachtungen im Juli habe ich — mit wenigen Ausnahmen — selbst ausgeführt, wobei ich mich eines von der Wasserwerksverwaltung freundlichst zur Verfügung gestellten Kahnes bedienen konnte; die früheren Ablesungen waren größtenteils von Arbeitern des Wasserwerks ausgeführt worden. Der besseren Übersicht halber sind die Temperaturbeobachtungen auch in Kurvenform aufgezeichnet worden (Kurven VI—XXII). Dabei konnten die Rohre 7, 9, 11, 30, 31 und 32 weggelassen werden, da sie in eingedeichtem, überschwemmungsfreiem Terrain stehen. Nur die Temperaturen in einem

Tabelle 50 (vergl. die Kurven XVII—XX, S. 90).

Beobachtungsröhre im Querprofil VI.

Beobachtungsröhre	36	36a	35	35a	34	34a	33	33a	Bemerkungen
Tiefe des Thermomet.	4,52 m	7,53 m	7,02 m	3,52 m	6,29 m	3,31 m	2,02 m	7,52 m	
Temp. am									
11. Jan.			10,5 °		10,25 °		8,5 °		
14. "			10,0 "		9,25 "		9,75 "		
16. "	9,5 °		9,75 "		unter Wasser		unter Wasser		Am 16. Jan. Überschwemmung
18. "	9,5 "	9,25 °	9,75 "	9,5 °	unter Wasser		unter Wasser		
20. "	8,5 "	9,25 "							
9. Febr.	8,0 "	9,25 "	9,75 "	6,0 "	6,0 "	3,25 °	5,5 "	9,25 °	
18. "	8,0 "	9,25 "	9,25 "	6,75 "	5,75 "	2,0 "	6,5 "	9,0 "	
25. "	6,5 "	9,0 "	9,25 "	5,5 "	4,75 "	2,5 "	5,25 "	8,5 "	
5. März	7,25 "	9,25 "	9,25 "	5,25 "	4,25 "	1,75 "	5,0 "	8,75 "	
21. "	6,5 "	7,75 "	7,0 "	4,5 "	4,25 "	1,25 "	4,75 "	8,0 "	Am 21. März Überschwemmung
22. "	6,5 "	8,25 "	7,25 "	4,5 "	4,25 "	1,5 "	4,5 "	8,0 "	
23. "	6,25 "	7,75 "	7,25 "	4,25 "	4,25 "	1,5 "	4,5 "	8,25 "	
25. "	6,75 "	8,75 "	6,25 "	4,25 "	4,25 "	1,75 "	4,5 "	8,25 "	
28. "	6,5 "	8,25 "	7,0 "	4,0 "	4,25 "	2,5 "	4,5 "	6,25 "	
5. April	6,5 "	8,5 "	6,5 "	4,0 "	4,25 "	1,75 "	4,5 "	7,75 "	
12. "	6,25 "	8,25 "	6,25 "	4,25 "	4,0 "	2,5 "	5,25 "	8,25 "	
22. "	6,5 "	8,25 "	5,25 "	4,5 "	4,75 "	4,25 "	5,5 "	8,0 "	
6. Mai	6,75 "	8,25 "	4,75 "	4,5 "	7,25 "	6,0 "	6,25 "	7,75 "	
22. "	7,25 "	8,25 "	5,75 "	5,0 "	8,25 "	6,5 "	7,5 "	8,0 "	
19. Juni	8,25 "	8,25 "	6,25 "	6,75 "		8,75 "	8,75 "	8,0 "	
25. "	8,5 "	8,0 "	6,75 "	7,0 "	8,75 "	9,0 "	9,0 "	8,25 "	
11. Juli	8,25 "	8,25 "		7,75 "	9,0 "	9,75 "	9,75 "	8,25 "	
16. "	9,25 "	8,0 "	7,25 "	8,0 "	9,0 "	8,75 "	9,25 "	8,25 "	Am 18. Juli Überschwemmung
19. "	9,25 "	8,25 "	7,5 "	8,25 "	9,0 "	11,75 "	11,25 "	8,5 "	
20. "	9,25 "	8,25 "	7,5 "	8,5 "	9,0 "	12,25 "	12,0 "	8,5 "	
22. "	9,5 "	8,25 "	7,75 "	9,25 "	9,25 "	12,75 "	11,5 "	8,5 "	
24. "	9,5 "	8,25 "	7,75 "	9,75 "	9,25 "	12,75 "	11,5 "	8,25 "	
25. "	9,5 "	8,25 "	7,75 "	9,75 "			11,5 "	8,25 "	
31. "	9,75 "	8,5 "	8,25 "	11,25 "	9,75 "	12,0 "	11,5 "	8,25 "	
19. Aug.	10,25 "	8,25 "	8,75 "	11,5 "			12,0 "	8,5 "	

dieser Röhre (30) wurden des Vergleichs wegen ebenfalls aufgezeichnet und beigelegt (Kurve XIV). Ferner sind in der Kurve XXIII zum Vergleiche die Temperaturschwankungen im Dresdener Leitungswasser wiedergegeben.

Die punktierte Linie gibt die Temperatur des oberen Thermometers wieder, die ausgezogene die Temperatur des unteren. Die senkrechte punktierte Linie bedeutet den Eintritt der Überschwemmung. Der Maßstab ist in allen Kurven gleich (auf der Abscisse: Ein Teilstrich = 2 Tage; auf der Ordinate: Ein Teilstrich = $\frac{1}{2}$ °).

Tabelle 51 (vergl. die Kurven XV, XVI, XXI u. XXII, S. 89 u. 91).
Beobachtungsrohre im Querprofil VII.

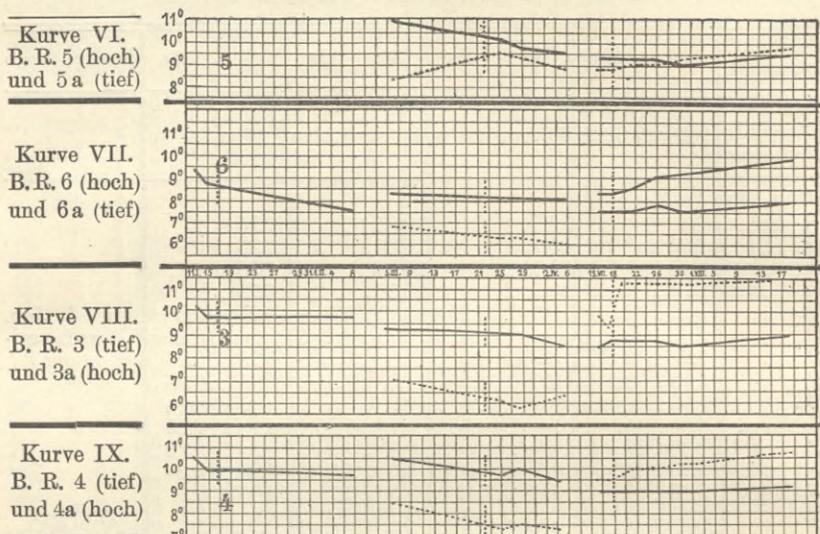
Beobach- tungsrohr	40	40a	41	41a	42	42a	43	43a	Bemerkungen
Tiefe des Thermomet. unt. Terrain	2,02 m	7,52 m	7,00 m	4,00 m	7,03 m	3,53 m	2,47 m	7,97 m	
Temp. am									
8. Jan.	7,5 °		10,5 °		10,25 °		7,25 °		
10. "	8,75 "		10,75 "		10,25 "		7,25 "		
11. "	8,75 "		10,75 "		10,25 "		7,25 "		
14. "	8,5 "		10,5 "		10,50 "		6,75 "		
16. "	8,25 "	12,5 °	10,5 "	9,25 °	10,75 "	9,5 °	5,75 "	10,0 °	Am 16. Jan.
18. "	7,75 "	12,0 "	unter	Wasser	10,75 "	8,75 "	unter	Wasser	Überschwem-
19. "	7,75 "	12,0 "	10,25 "	6,5 "	11,0 "	6,75 "	5,75 "	10,25 "	mung
20. "	5,75 "	12,5 "	9,5 "	6,25 "	11,0 "	7,25 "	5,75 "	10,25 "	
23. "	5,75 "	eingefror.	9,0 "	5,5 "	11,0 "	7,5 "	eingefroren		
9. Febr.	6,25 "	11,5 "	7,0 "	4,75 "	9,75 "	7,25 "	4,75 "	7,25 "	
18. "	6,25 "	11,5 "	8,0 "	6,0 "	9,5 "	7,0 "	5,5 "	9,75 "	
25. "	5,75 "	11,5 "	8,5 "	6,0 "	8,5 "	7,0 "	5,25 "	9,0 "	
5. März	5,75 "	11,5 "	8,25 "	6,0 "	9,0 "	6,75 "	5,0 "	9,5 "	
21. "	5,25 "	10,25 "	7,75 "	6,0 "	8,25 "	6,0 "	4,5 "	7,5 "	2. Über-
22. "	5,25 "	10,75 "	7,75 "	5,5 "	8,25 "	6,0 "	4,5 "	8,5 "	schwemmung
24. "	5,0 "	10,25 "	6,5 "	5,5 "	7,75 "	6,0 "	4,25 "	8,25 "	am 21. März
25. "							4,5 "	8,75 "	
26. "	5,0 "	10,25 "	5,75 "	3,75 "	8,5 "	5,75 "	4,25 "	8,5 "	
27. "	4,75 "	10,5 "	6,25 "	4,5 "	7,75 "	5,75 "	4,5 "	8,25 "	
5. April	5,25 "	10,5 "	6,75 "	4,75 "	8,0 "	5,75 "	4,5 "	8,75 "	
13. "	5,75 "	10,75 "	7,25 "	4,5 "	7,75 "	5,5 "	4,75 "	9,0 "	
22. "	6,5 "	10,25 "	7,0 "	5,0 "	7,25 "	5,5 "	5,25 "	9,5 "	
6. Mai	6,75 "	10,0 "	7,75 "	6,25 "	7,25 "	5,75 "	5,5 "	8,75 "	
22. "	8,25 "	9,5 "	8,25 "	7,5 "	6,75 "	6,0 "	7,5 "	9,0 "	
19. Juni	8,75 "	8,75 "	8,5 "	8,5 "	8,25 "	7,5 "	10,25 "	8,75 "	
25. "	9,0 "	9,75 "	8,5 "	9,0 "	7,5 "	7,25 "	11,25 "	9,0 "	
11. Juli	10,5 "	8,5 "	8,75 "	9,75 "	7,5 "	8,0 "	12,25 "	8,0 "	
16. "	11,25 "	8,5 "	8,75 "	10,0 "	7,75 "	8,0 "	12,5 "	9,0 "	3. Über-
19. "	11,5 "	8,5 "	8,75 "	10,25 "	8,0 "	8,0 "	12,25 "	9,0 "	schwemmung
20. "	11,5 "	8,25 "	8,75 "	10,50 "	7,75 "	8,5 "	12,25 "	9,0 "	am 18. Juli
22. "	11,75 "	8,5 "	9,0 "	11,0 "	7,75 "	8,5 "	12,25 "	9,0 "	
24. "	11,5 "	8,5 "	9,25 "	11,25 "	8,0 "	8,5 "	12,5 "	9,0 "	
25. "	11,75 "	8,5 "	9,0 "	11,25 "	8,0 "	8,75 "	12,5 "	9,25 "	
31. "	11,75 "	8,5 "	9,5 "	11,75 "	8,25 "	9,0 "	12,25 "	9,0 "	
19. Aug.	12,25 "	8,75 "	9,75 "	12,25 "	8,25 "	9,75 "	12,5 "	9,0 "	

Die tiefen Thermometer zeigen in den Beobachtungsrohren 3, 4, 5, 6, 15, 16, 28, 29, 30, 35, 36, 40, 42 und 43 keinerlei Beeinflussung durch die Überschwemmungen. In acht Rohren (15, 16, 28, 29, 30, 35, 40 und 43), sind zwar beim Märzhochwasser kleine Schwankungen der Temperatur beobachtet worden, so daß die Kurven kleine Zacken

Kurven VI—IX.

Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsrohren 3, 4, 5 und 6 (Querprofil I).
(Vergl. die Tabellen 46, S. 81.)

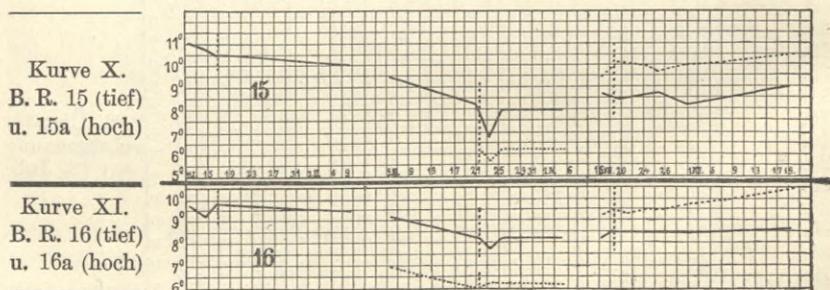
Januar Febr. März April Juli August



Kurven X. u. XI.

Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsrohren 15 und 16 (Querprofil III).
(Vergl. die Tabelle 48, S. 84.)

Januar Febr. März April Juli August



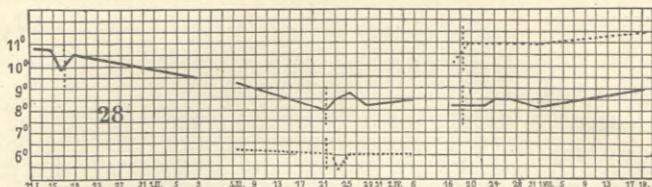
zeigen. Diese kleinen Schwankungen sind aber sicherlich nicht auf das Eindringen von kaltem Überschwemmungswasser zurückzuführen. Denn das Beobachtungsrohr 30 steht im überschwemmungsfreien, eingedeichten Terrain; ferner ist nur bei drei Rohren (15, 16 und 35) die Schwankung nach unten gerichtet. Die Kurven der Rohre 42 und 43 aber weisen dieselben Zacken auf, jedoch in umgekehrtem

Kurven XII—XIV.

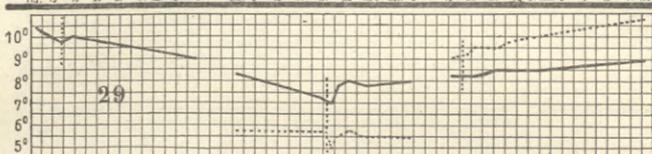
Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsrohren 28, 29 u. 30 (Querprofil V).
(Vergl. die Tabelle 49, S. 85.)

Januar Febr. März April Juli August

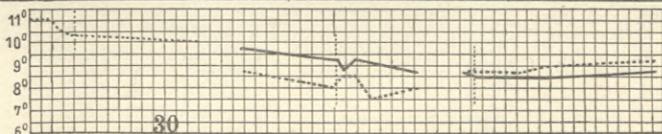
Kurve XII.
B. R. 28 (tief)
u. 28a (hoch)



Kurve XIII.
B. R. 29 (tief)
u. 29a (hoch)



Kurve XIV.
B.R. 30 (hoch)
und 30a (tief)

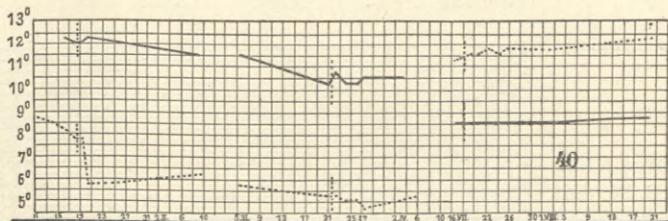


Kurven XV u. XVI.

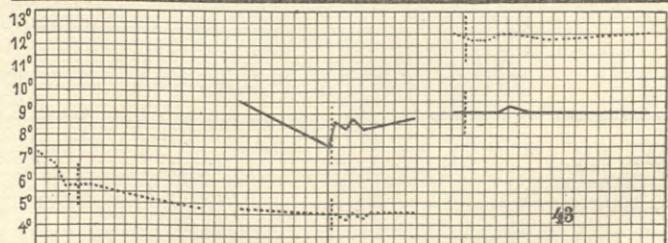
Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsrohren 40 und 43 (Querprofil VII).
(Vergl. die Tabelle 51, S. 87.)

Januar Febr. März April Juli August

Kurve XV.
B.R. 40 (hoch)
und 40a (tief)



Kurve XVI.
B.R. 43 (hoch)
und 43a (tief)

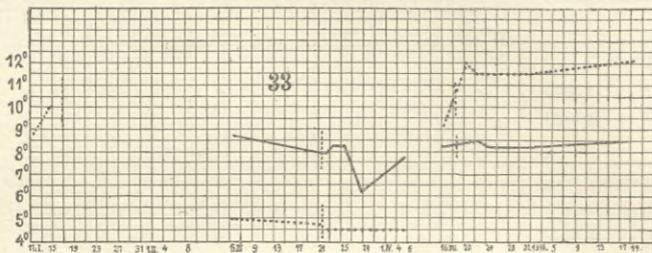


Kurven XVII u. XVIII.

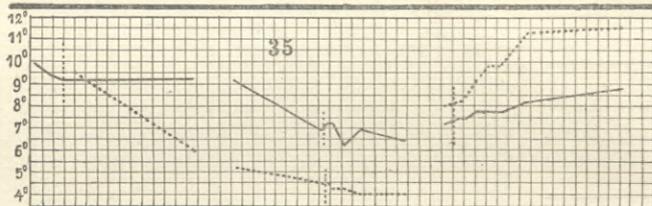
Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsröhren 33 und 35 (Querprofil VI).
(Vergl. die Tabelle 50, S. 86.)

Januar Febr. März April Juli August

Kurve XVII.
Beobach-
tungsrohre 33
(hoch) und
33a (tief)



Kurve XVIII.
B. R. 35 (tief)
u. 35a (hoch)

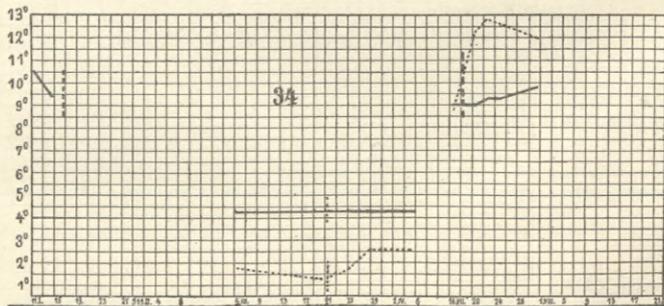


Kurven XIX u. XX.

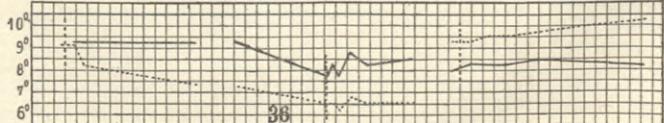
Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsröhren 34 und 36 (Querprofil VI).
(Vergl. die Tabelle 50, S. 86.)

Januar Febr. März April Juli August

Kurve XIX.
B. R. 34 (tief)
u. 34a (hoch)



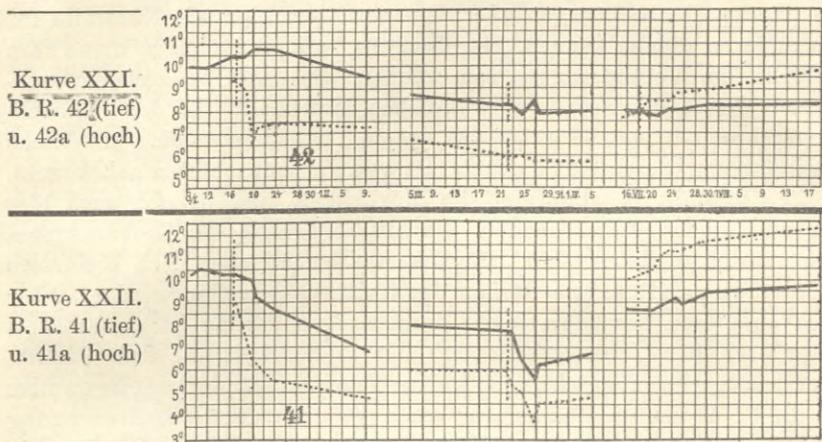
Kurve XX.
B. R. 36 (hoch)
und 36a (tief)



Kurven XXI u. XXII.

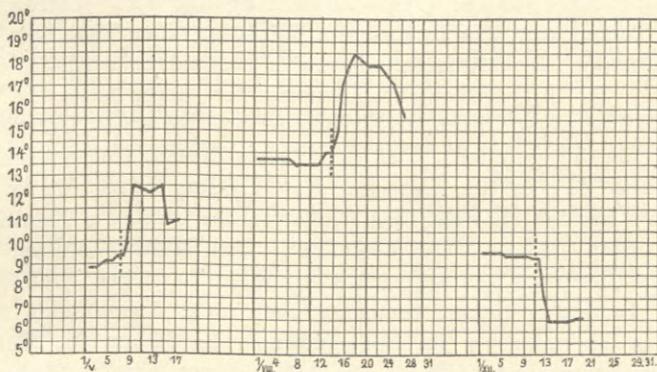
Temperaturbeobachtungen in den Beobachtungsröhren 41 und 42 (Querprofil VII).
(Vergl. die Tabelle 51, S. 87.)

Januar Febr. März April Juli August



Kurve XXIII.

Temperaturen des Grundwassers des Dresdener Saloppenwerks.
Mai August Dezember



Maßstab: Auf der Abscisse 1 Teilstrich = 2 Tage,
" " Ordinate 1 " = $\frac{1}{2}^{\circ}$.
: : = Eintritt des Hochwassers.

Sinne, nach oben gerichtet, und auch in den Röhren 28 und 29 ist eine minimale Steigerung gemessen worden. Diese kleinen Zacken sind offenbar nur auf die häufigen Ablesungen, zum Teil seitens verschiedener Beobachter, zurückzuführen. Sie unterscheiden

sich deutlich und ganz unverkennbar von den Temperaturveränderungen, die von eindringendem Wasser verursacht werden, wie ein Blick auf die Dresdener Kurve (XXIII) zeigt. Beim Julihochwasser, bei dem die Beobachtungen von mir persönlich mit besonderer Sorgfalt angestellt wurden, sind diese Schwankungen nicht aufgetreten.

Einige Beobachtungen aber, die gewissermaßen als Kontrolle für die anderen dienen können, beweisen uns, wie groß auch in unserem Gelände die Veränderungen sein können, die das Überschwemmungswasser dort hervorruft, wo es wirklich hinkommt. In den Beobachtungsrohren 33 und 41 zeigt das untere Thermometer eine erhebliche Beeinflussung, deren Größe der in Dresden beobachteten nahekommt.

Es besteht ja allerdings die Möglichkeit, daß es sich auch hier nur um Undichtigkeiten handelt, die vom Einbringen der Beobachtungsrohre zurückgeblieben sind. Möglicherweise sind aber doch besonders leicht durchlässige Stellen des Geländes getroffen worden. Aber auch an diesen besonders leicht durchlässigen Partien ist am ersten Tage nach der Überschwemmung, also zu der Zeit, die dem Eintritt der Katastrophe entspricht, noch keine Temperaturänderung eingetreten. Im B. R. 41 ist die Temperatur am Tage nach der Überschwemmung (22. März) noch unverändert $7,75^{\circ}$. Erst nach zwei Tagen beginnt sie zu sinken und erreicht am fünften Tage $5,75^{\circ}$. Im B. R. 33 blieb die Temperatur vier Tage lang unverändert; erst dann begann der Abfall, der am siebenten Tage (28. März) ebenfalls 2° erreichte. Im B. R. 34 konnte das Märzhochwasser eine Veränderung nicht bewirken, da die Temperatur hier vor der Überschwemmung nur $4,25^{\circ}$ betrug. Diese niedrige Temperatur, die in unserem Klima in einer Tiefe von 7—8 m unter normalen Verhältnissen niemals beobachtet wird, ist offenbar eine Folge der Januarüberschwemmung. Vor dieser hatte die Temperatur $9,25^{\circ}$ betragen; nach drei Wochen, bei der ersten Untersuchung, war sie um 3° gefallen. Daß es sich an diesen drei Stellen (B. R. 33, 34 und 41) in der Tat um die Wirkung eingedrungener Wassers handelt, beweist das Verhalten der oberen Thermometer. Diese wurden noch stärker beeinflusst. Das Märzhochwasser konnte bei ihnen allerdings keine Veränderung mehr bewirken, weil die Einwirkung der Januarüberschwemmung noch nicht überwunden war. So zeigte das Thermometer im Beobachtungsrohr 34 am 21. März, vor der Überschwemmung, $1,25^{\circ}$. Die Überflutung brachte daher sogar eine geringe Steigerung. Im B. R. 33 blieb die Temperatur nahezu unverändert, ca. $4,5^{\circ}$. An beiden Stellen aber brachte die Überschwemmung im Juli einen erheblichen Temperaturanstieg hervor. Im B. R. 34 ist die Temperatur schon am ersten Tage nach der Überschwemmung um 3° gestiegen, am vierten Tage um 4° . Im Beobachtungsrohr 33 betrug die Steigerung am ersten Tage 2° , am folgenden $2\frac{3}{4}^{\circ}$. Am B. R. 41 läßt sich schon die Einwirkung des Januarhochwassers gut

verfolgen: am ersten Tage nach der Überschwemmung ist die Temperatur um $2\frac{3}{4}^{\circ}$ gesunken, fünf Tage später um $3\frac{3}{4}^{\circ}$, nach drei Wochen um $4\frac{1}{2}^{\circ}$. Vor der Überschwemmung im März hatte sich die Temperatur wieder auf 6° gehoben, unter dem Einfluß der Überschwemmung sank sie wieder um $2\frac{1}{4}^{\circ}$.

Auch an anderen Stellen ist die Temperatur des oberen Thermometers durch die Überschwemmungen sichtlich beeinflußt worden, so im B. R. 40 (Januar), 42 (Januar), 3 (Juli), 35 (Januar, Juli). An anderen Stellen aber ist auch in den oberen Schichten die Temperatur unverändert geblieben.

Die Temperaturbeobachtungen zeigen also, daß nur an wenigen, besonders leicht durchlässigen Stellen des Geländes Überschwemmungswasser in relativ kurzer Zeit bis zu einer gewissen Tiefe im Boden vordringt. Aber auch an diesen Stellen braucht es mehrere Tage, ehe es die Tiefe der Brunnenöffnungen erreicht. Irgend eine Stelle, bei der bereits 12—18 Stunden nach der Überflutung des Geländes Überschwemmungswasser die tiefen Schichten erreichte, sind auch durch die Temperaturbeobachtungen nicht ermittelt worden.

Damit ist natürlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß doch an ganz vereinzelt Stellen die Durchlässigkeit des Bodens noch größer gewesen sei; so groß, daß das Wasser an ihnen in wenigen Stunden in die Tiefe gelangen konnte. Ist es nun denkbar, daß ein Eindringen von Wasser an solchen, möglicherweise vorhandenen, Stellen die Katastrophe verursacht hat? Diese Frage ist mit Bestimmtheit zu verneinen. Wenn die Menge des Überschwemmungswassers so groß war, daß die chemische Beschaffenheit des Wassers die starken Veränderungen erfuhr, so mußte auch eine deutliche Veränderung der Temperatur eintreten. Auch die Annahme, daß die an ganz wenigen engumschriebenen Stellen von besonderer Durchlässigkeit versickernden minimalen Wassermengen das Ferrosulfat in so hoher Konzentration enthalten hätten, daß sie bereits genügten, den Eisengehalt zu steigern, während sie eine meßbare Temperaturerniedrigung noch nicht bewirken konnten, ist unzulässig, da der Verlauf der Katastrophe damit in Widerspruch steht. Denn nach einigen Tagen zeigte ja die Temperatur eine deutliche Beeinflussung. Die Beimischung von Oberflächenwasser mußte also zu dieser Zeit erheblich größer sein, als kurz nach der Katastrophe, wo sie noch zu gering war, ein Sinken der Temperatur zu bewirken. Bis zu diesem Zeitpunkt hätte also — wenn jene Annahme zuträfe — auch der Eisen- und Mangangehalt fortgesetzt steigen und am fünften und sechsten Tage ein Vielfaches des Gehaltes bei der Katastrophe betragen müssen.

In welcher Weise eine Beimischung von Oberflächenwasser zum Grundwasser in unserem Gelände sich geltend macht, das lehrt das Verhalten der Temperatur bei der Berieselung des Terrains, die

seit dem 10. Juni 1907 stattfindet. Die Durchlässigkeit des Bodens wurde dabei allerdings durch eine Durchstechung und teilweise Entfernung der deckenden Lettenschicht künstlich vergrößert. Die Bewegung der Temperatur in den Sammelbrunnen gibt die Tabelle 52 wieder.

Tabelle 52 (vergl. die Kurve XXIV, S. 95).

Veränderung der Grundwassertemperatur bei der Berieselung des Geländes, gemessen in den Sammelbrunnen in Schwentnig.

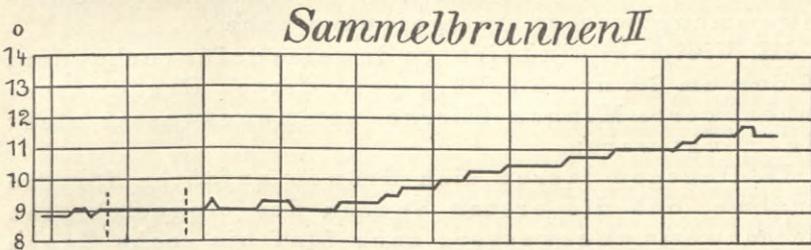
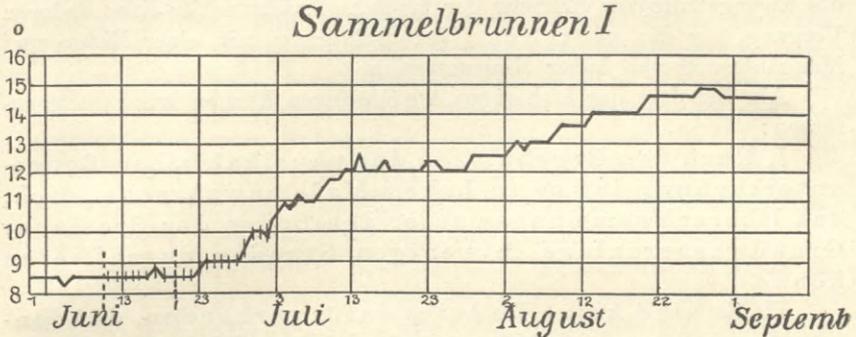
Tag	Temperatur im		Tag	Temperatur im		Tag	Temperatur im	
	S.-Br. I	S.-Br. II		S.-Br. I	S.-Br. II		S.-Br. I	S.-Br. II
1. Juni	8,5 °	8,75 °	4. Juli	11,0 °	9,25 °	8. Aug.	13,0 °	10,5 °
2. "	8,5 "	8,75 "	5. "	10,75 "	9,0 "	9. "	13,25 "	10,5 "
3. "	8,5 "	8,75 "	6. "	11,25 "	9,0 "	10. "	13,5 "	10,75 "
4. "	8,5 "	8,75 "	7. "	11,0 "	9,0 "	11. "	13,5 "	10,75 "
5. "	8,25 "	8,75 "	8. "	11,0 "	9,0 "	12. "	13,5 "	10,75 "
6. "	8,5 "	9,0 "	9. "	11,25 "	9,0 "	13. "	13,5 "	10,75 "
7. "	8,5 "	9,0 "	10. "	11,75 "	9,0 "	14. "	14,0 "	10,75 "
8. "	8,5 "	8,75 "	11. "	11,75 "	9,25 "	15. "	14,0 "	10,75 "
9. "	8,5 "	9,0 "	12. "	12,0 "	9,25 "	16. "	14,0 "	11,0 "
Beginn der			13. "	12,0 "	9,25 "	17. "	14,0 "	11,0 "
Berieselg.			14. "	12,5 "	9,25 "	18. "	14,0 "	11,0 "
10. Juni	8,5 "	9,0 "	15. "	12,0 "	9,25 "	19. "	14,0 "	11,0 "
11. "	8,5 "	9,0 "	16. "	12,0 "	9,25 "	20. "	14,0 "	11,0 "
12. "	8,5 "	9,0 "	17. "	12,25 "	9,5 "	21. "	14,5 "	11,0 "
13. "	8,5 "	9,0 "	18. "	12,0 "	9,5 "	22. "	14,5 "	11,0 "
14. "	8,5 "	9,0 "	19. "	12,0 "	9,75 "	23. "	14,5 "	11,0 "
15. "	8,5 "	9,0 "	20. "	12,0 "	9,75 "	24. "	14,5 "	11,0 "
16. "	8,5 "	9,0 "	21. "	12,0 "	9,75 "	25. "	14,5 "	11,25 "
17. "	8,75 "	9,0 "	22. "	12,0 "	9,75 "	26. "	14,5 "	11,25 "
18. "	8,5 "	9,0 "	23. "	12,25 "	9,75 "	27. "	14,5 "	11,5 "
19. "	8,5 "	9,0 "	24. "	12,25 "	10,0 "	28. "	14,75 "	11,5 "
20. "	8,5 "	9,0 "	25. "	12,0 "	10,0 "	29. "	14,75 "	11,5 "
21. "	8,5 "	9,0 "	26. "	12,0 "	10,0 "	30. "	14,75 "	11,5 "
22. "	8,5 "	9,0 "	27. "	12,0 "	10,0 "	31. "	14,5 "	11,5 "
23. "	8,75 "	9,0 "	28. "	12,0 "	10,25 "	1. Sept.	14,5 "	11,5 "
24. "	9,0 "	9,25 "	29. "	12,5 "	10,25 "	2. "	14,5 "	11,75 "
25. "	9,0 "	9,0 "	30. "	12,5 "	10,25 "	3. "	14,5 "	11,75 "
26. "	9,0 "	9,0 "	31. "	12,5 "	10,25 "	4. "	14,5 "	11,5 "
27. "	8,75 "	9,0 "	1. Aug.	12,5 "	10,25 "	5. "	14,5 "	11,5 "
28. "	9,0 "	9,0 "	2. "	12,5 "	10,5 "	6. "	14,5 "	11,5 "
29. "	9,5 "	9,0 "	3. "	12,75 "	10,5 "	7. "	14,5 "	11,5 "
30. "	10,0 "	9,0 "	4. "	13,0 "	10,5 "			
1. Juli	10,0 "	9,25 "	5. "	12,75 "	10,5 "			
2. "	9,75 "	9,25 "	6. "	13,0 "	10,5 "			
3. "	10,5 "	9,25 "	7. "	13,0 "	10,5 "			

Im Sammelbrunnen I zeigt sich am 23. Juni die erste, noch ganz geringe Erhöhung der Temperatur. Allmählich aber steigt sie immer mehr, und am 28. August, also nach mehr als 2½ Monaten, hat das Grundwasser die Temperatur des Oberflächenwassers angenommen,

nachdem es insgesamt um 6° gestiegen ist. Im Sammelbrunnen II ist die erste Steigerung der Temperatur am 11. Juli zu bemerken.

Kurve XXIV.

Temperaturveränderungen bei der Berieselung des Geländes, gemessen in dem Sammelbrunnen in Schwentnig (vergl. die Tabelle 52).

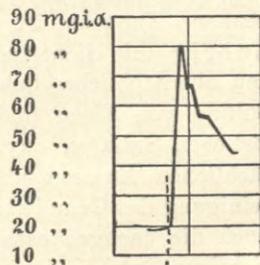


Bis zum Anfang September steigt sie allmählich um $3-4^{\circ}$. In der Kurve XXIV ist diese Bewegung der Temperatur aufgezeichnet. Diese Kurve ist das typische Bild des Zutritts von Oberflächenwasser zum Grundwasser in feinkörnigem, schwer durchlässigem Boden, wobei sich notwendigerweise, erst ganz geringe, später allmählich wachsende Mengen beimischen, bis schließlich das Grundwasser ganz und gar aus früherem Oberflächenwasser besteht. Jede Kurve, die diesen Vorgang darstellt, muß so beschaffen sein, mag man nun die Temperatur, oder mag man den Eisengehalt oder einen anderen chemischen Bestandteil des Überschwemmungswassers als Indikator wählen.

Nun vergleiche man damit die in dem-

Kurve XXV.

Anstieg des Eisengehalts bei der Katastrophe.



selben Maßstab gehaltene Kurve XXV, die das Ansteigen des Eisengehalts bei der Katastrophe darstellt: Mit einem Schlage, wenige Stunden nach der Überflutung des Geländes, ist die höchste Konzentration erreicht, und allmählich findet ein Abfall statt. Daß die beiden Vorgänge, die in den Kurven XXIV und XXV ihren Ausdruck finden, miteinander identisch seien, ist nimmermehr anzunehmen. Die Kurve des Eisengehalts ist vielmehr der typische Ausdruck für einen anderen Vorgang, für die plötzliche Verunreinigung mit einer Eisen- und Manganlösung von hoher Konzentration.

Als Resultat der bisherigen Ausführungen können wir zusammenfassen:

I. Nach den Ergebnissen der physikalischen Bodenuntersuchung ist es in hohem Maße unwahrscheinlich, daß Überschwemmungswasser den Boden der Breslauer Grundwasseranlage in wenigen Stunden durchfließen könne.

II. Es sind keine Beweise dafür vorhanden, daß dennoch am 28. und 29. März 1906 ein Durchtritt von Überschwemmungswasser stattgefunden habe.

III. Vielmehr sind sichere Beweise dafür vorhanden, daß dem am 29. und 30. März geförderten Grundwasser nennenswerte Mengen Überschwemmungswasser nicht beigemischt waren.

IV. Dagegen lassen sich Gründe anführen für die Annahme, daß die ersten Spuren des eingesickerten Überschwemmungswassers nach fünf bis sechs Tagen dem Grundwasser beigemischt waren.

V. Danach ist die Durchlaufhypothese in einem wesentlichen Punkte als irrig erwiesen. Sie kann zur Erklärung der Katastrophe ebensowenig herangezogen werden, wie die Hypothese eines Durchbruchs tertiären Wassers.

Wenn uns auch die Durchlauftheorie keine einwandfreie Erklärung der Katastrophe bietet, so hat sie uns doch einige sichere Tatsachen kennen gelehrt, die zur Grundlage weiterer Erklärungsversuche dienen können. Zunächst ist die von Lüdecke als erstem mitgeteilte, von Lührig mit Sicherheit nachgewiesene Tatsache zu nennen, daß in den oberflächlichen Schlickschichten eines Teils des Geländes unlösliche Sulfide von Eisen und Mangan sich befinden, die bei Luftzutritt zu löslichen Sulfaten oxydiert werden. Ist es nun möglich, einen ursächlichen Zusammenhang zwischen diesen Sulfaten und der Verunreinigung des Grundwassers mit Eisen und Mangan zu finden, und dabei doch die nachgewiesene geringe Durchlässigkeit des Bodens zu berücksichtigen, und nicht in Widerspruch zu kommen mit dem Ausbleiben

einer Keimvermehrung und Temperaturenniedrigung? Einen Versuch, diesen Zusammenhang zu erklären und dabei in Übereinstimmung mit allen übrigen Tatsachen zu bleiben, hat Lührig unternommen.

Er geht ebenfalls von der Anschauung aus, daß sich über dem abgesenkten Grundwasserspiegel eine Durchgangszone befindet, in der große Wassermengen durch Flächenattraktion dauernd festgehalten werden. Das Überschwemmungswasser drang nun in die Trockenzone ein, laugte die hier befindlichen Schlickschichten aus und reicherte sich dadurch mit den löslichen Sulfaten an. „Im Momente der Berührung der vom Wasser mitgeführten Salzlösung mit den wassergetränkten, unteren Bodenschichten sinken die Salze in dem unteren Wasser nach unten und kommen viel eher an die Unterkante der Heberrohre, als das obere Wasser selbst; dieses lagert sich über das Grundwasser und vermischt sich erst nach und nach damit . . . wir müssen also erst die Wirkung der fremden Salze im Grundwasser verspüren und später die Temperaturveränderungen, wie es auch tatsächlich geschehen ist¹⁾.“ Demselben Gedanken gibt Lührig an anderen Stellen zum Teil noch deutlicheren Ausdruck: „Nach dem Vorhergesagten kann das Überflutungswasser mit größerer Geschwindigkeit nur bis zum Spiegel der Durchgangszone bezw. des Grundwassers in den Boden eindringen. Ist diese Grenze erreicht, dann sinken wohl die schwereren Salze schnell im Wasser nach unten, die Bakterien aber bewegen sich nur in dem Maße abwärts, als das Wasser selbst nach unten vordringt. Dies geschieht aber so langsam — Abhängigkeit von der Entnahme —, daß man bei solch mäßiger Geschwindigkeit ohne weiteres analog bisherigen Erfahrungen eine vollständig filtrierende Wirkung des feinen Sandes voraussetzen kann²⁾.“ An einer anderen Stelle³⁾ heißt es: „Das eindringende 5—6° kältere Überflutungswasser konnte sich nach Erreichung der Durchgangszone — derjenigen Bodenschichten mit stets gleichbleibendem Wassergehalt, entsprechend der wasserhaltenden Kraft derselben — nicht sofort mit dem darunter befindlichen Grundwasser mischen, sondern unter Auflagerung auf das Wasser der ersteren nur einen Druck auf das letztere ausüben . . . Erst nach Verdrängung des alten Wasservorrats durch Entnahme konnte das von oben nachdringende kältere Wasser in die Heberrohre gelangen, nachdem es einen Teil seiner, sagen wir in diesem Falle ‚Kälte‘ an das wärmere Erdreich und die darin befindliche Feuchtigkeit bezw. das Grundwasser abgegeben hatte.“ Ferner auf S. 45: „Bei Berührung mit dem Spiegel des Grundwassers sanken die Salze vermöge ihrer Schwere schnell in die Tiefe, während sich

1) Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w. Teil I, S. 184.

2) Lührig, I. c., Bd. 14, S. 54.

3) Lührig, I. c., S. 46.

das von oben eingetretene kältere Wasser größtenteils auf das Grundwasser lagerte.“

Dieser Erklärungsversuch wird uns nur dann befriedigen können, wenn Beweise für die Möglichkeit eines solchen Verhaltens der Salzlösungen vorliegen. Lührig erinnert zu ihrer Begründung an einen einfachen Versuch: Hängt man ein gefärbtes Salz, z. B. Kupfervitriol in einem Beutel in einen mit Wasser gefüllten Zylinder, so sieht man, wie die Salzlösung infolge ihrer Schwere sofort nach unten sinkt. Sind wir nun berechtigt, diesen bekannten Vorgang ohne weiteres auf den Boden zu übertragen, wo sich dem Hinuntersinken der Salzlösungen sehr große Widerstände entgegenstellen, wo sich der einzelne Wasserfaden durch eine Unzahl von feinsten Poren hindurchwinden muß? Lührig leitet die Berechtigung her aus zwei Versuchen, die er mit zwei in Glaszylinder eingeschütteten Bodenproben angestellt hat¹⁾.

In eine zylindrische, unten mit Korkstopfen verschlossene und mit Abschlußhahn versehene Glasröhre wurde ausgewaschener, trockener Sand in einer Höhe von 57,5 cm gefüllt. Das Volumen dieser Sandschicht betrug 874 ccm. Zur Ausfüllung der Poren zwischen den Sandkörnern wurde Wasser aufgegossen, und zwar waren zur vollständigen Füllung 260 ccm notwendig. Darauf wurde so lange destilliertes Wasser durch den Sand filtriert, bis ein klares und farbloses Filtrat erzielt war. Der untere Hahnablauf wurde geschlossen, als der Wasserspiegel in einer Ebene mit der Oberkante der Sandschicht stand. Alsdann wurden 200 g grobgepulverten Schlickbodens auf den Sand gegeben und destilliertes Wasser darauf gegossen, zugleich wurde der untere Abfluß wieder geöffnet und das ziemlich rasch abtropfende Wasser in Glasgefäßen von bekanntem Inhalt aufgefangen. Das Resultat des Versuchs gibt Lührig folgendermaßen wieder: „Wenn wir es lediglich mit einer Auflagerung des von oben eingedrungene Wassers auf das in der Sandschicht befindliche zu tun hätten, dann würde sich erst nach Verdrängung des letzteren das Erscheinen des ersteren bemerkbar machen dürfen. Statt dessen wurden die ersten sichtbaren Veränderungen schon nach Ablauf von 210 ccm beobachtet, während 260 ccm des ursprünglich vorhandenen Wassers hätten verdrängt werden müssen. Das Niedersinken der Salze erfolgt somit schneller, als die Abwärtsbewegung des Wassers selbst, die hauptsächlich von dem Ablauf abhängig ist.“

Der zweite, zeitlich aber anscheinend vorangegangene, Versuch hatte im wesentlichen dieselbe Versuchsanordnung; nur wurde das abtropfende Wasser nicht in mehreren kleineren Gefäßen von bekanntem Inhalt aufgefangen, sondern in einem einzigen Gefäß von ca. 400 ccm.

1) Lührig, l. c., Bd. 14, S. 47.

Das Resultat dieses Versuchs ist aber von dem des anderen ganz verschieden. Die ersten Spuren des darauf gegossenen Wassers traten bereits im Ablauf auf, als erst „etwa 100 ccm“ Wasser abgetropft waren. Die Beimengungen wurden an einer Braunfärbung des Ablaufs erkannt.

Während also in diesem zweiten Versuche eine entschiedene Beschleunigung der Salzlösung zu bemerken ist, fehlt sie im ersten Versuche fast ganz. Hier waren bereits 210 ccm von den ursprünglich vorhandenen 260 abgetropft, als die ersten Spuren der eindringenden Salzlösung im Ablauf erschienen. Es erfolgte also ein Verschieben des vorhandenen Wassers, ohne daß das größere spezifische Gewicht der Salzlösung sich geltend machte. Ein so verschiedenes Resultat bei zwei Versuchen von anscheinend gleicher Versuchsanordnung wird gewiß überraschen. Die Erklärung dürfte wohl, wenigstens zum Teil, in der verschiedenen Art und Weise des Aufnehmens des abtropfenden Wassers zu suchen sein. Im zweiten Versuche ist keine genaue Messung des vor dem Auftreten der Salzlösung abgetropften Wasserquantums erfolgt, da die ersten 400 ccm gemeinsam in einem Gefäße aufgefangen wurden. Die Angabe „etwa 100 ccm“, beruht daher nur auf Schätzung, was auch durch ihre unbestimmte Fassung ausgedrückt ist. In dem anderen Versuche wurde das abtropfende Wasser in Abschnitten von je 100 ccm aufgefangen, so daß eine genauere Bestimmung möglich war. Es dürfte daher richtig sein, diesen Versuch zur Grundlage der Beurteilung zu wählen. Aber auch wenn man das ungenauere Ergebnis des zweiten Versuchs ebenso einschätzt, so ist nur ein Schluß berechtigt, nämlich der, daß sich aus den mitgeteilten beiden Versuchen ein gesetzmäßiges Verhalten nicht ableiten läßt. Die geringfügige Vermischung des im Boden befindlichen Wassers mit dem oben aufgegossenen, die auch im ersten Versuche eintrat, beruht keineswegs auf dem höheren spezifischen Gewicht des aufgegossenen. Das läßt sich durch einen einfachen Kontrollversuch erweisen. Gießt man nämlich auf einen Boden, dessen Poren mit Salzlösung erfüllt sind, destilliertes Wasser auf, so tritt im Ablauf eine merkliche Verringerung des Salzgehalts ein, noch bevor die gesamte ursprünglich im Boden vorhandene Wassermenge abgetropft ist.

Es ist aber nicht zulässig, aus dem negativen Ausfall dieser Laboratoriumsversuche den Schluß zu ziehen, daß auch im Gelände kein rascheres Hinuntersinken der schweren Salzlösungen erfolgen könne, da im Versuch der gewünschte Erfolg, die Beschleunigung der Salzlösung, bei dieser Versuchsanordnung unmöglich eintreten konnte. Wenn sich eine schwere Salzlösung auf das in den Poren bereits befindliche Wasser anlagert und nun in die Tiefe sinkt, so muß sie das in den Poren befindliche Wasser verdrängen. Im engen Rohre, wo die gesamte

Oberfläche gleichmäßig mit derselben konzentrierten Salzlösung bedeckt ist, kann dieses Verdrängen nur nach unten geschehen, d. h. die Salzlösung muß das Wasser vor sich herschieben und kann erst zum Ablauf kommen, wenn das ursprünglich vorhandene Wasser abgetropft ist. An der Berührungsstelle erfolgt aber natürlich eine Vermischung, so daß Spuren des aufgegossenen Wassers schon etwas früher im Ablauf auftreten. Dieser Vorgang spielte sich in den Lührigschen Versuchen ab. Ganz anders sind die Vorgänge im Gelände: Wenn sich hier an einer ganz engumschriebenen Stelle eine konzentrierte Salzlösung dem Wasser auflagert, so kann sie das Wasser aus den Poren seitlich verdrängen und somit in der Tat im Wasser des Bodens in die Tiefe sinken, auch wenn gar kein Abfluß und keine Entnahme des Bodenwassers erfolgt. Ja dieses Heruntersinken muß sogar eintreten, wofern nicht bei dem doch eine gewisse Zeit erfordernden Prozesse durch Diffusion ein allmählicher Konzentrationsausgleich eintritt, durch den sich schließlich der ganze Boden gleichmäßig mit einer entsprechend schwächeren Salzlösung füllen würde.

Über die Diffusion von Salzlösungen im Boden und insbesondere im feinporigen Boden habe ich genaue, zahlenmäßige Angaben nicht gefunden. Es sprechen aber manche Beobachtungen dafür, daß sich Salzlösungen im Boden in dieser Beziehung anders verhalten als sonst. Wenn im Boden die Diffusion ohne Einschränkung zur Geltung käme, dann würden sich niemals an nahe gelegenen Stellen Salzlösungen von ganz verschiedener Konzentration halten können. In der Tat pflegt auch in sehr grobporigem Boden das Grundwasser eines Gebietes an verschiedenen Stellen die gleiche chemische Zusammensetzung zu haben. In feinporigem Boden dagegen hat das Wasser häufig an Stellen, die nur wenige Meter voneinander entfernt sind, eine ganz verschiedene chemische Beschaffenheit. Auch an derselben Stelle ist die Konzentration der im Wasser gelösten Salze in den verschiedenen Schichten durchaus nicht gleich, wie z. B. auch zahlreiche Untersuchungen des Grundwassers in unserem Gelände ergeben haben. Daß auch beim Transport von Salzlösungen in feinporigem Boden die Wirkung der Diffusion nicht uneingeschränkt ist, geht daraus hervor, daß die Fortbewegung solcher Lösungen zur Messung der Geschwindigkeit von Grundwasserströmen benutzt wird. Thiem¹⁾ hat z. B. eine solche Methode angegeben. Namentlich bei geringen Geschwindigkeiten müßte die Diffusion entschieden störend wirken und gegebenenfalls die Anwendbarkeit der Methode in Frage stellen. Die Kurven der Thiem'schen Arbeit zeigen aber, daß in den Zeiträumen, die dort beobachtet wurden, d. h. in einigen Tagen, ein Ausgleich der Konzentration im ganzen Gebiet sicher nicht stattfand, daß vielmehr die Salzlösung

1) Thiem, Neue Messungsart natürlicher Grundwassergeschwindigkeiten. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 1888.

längere Zeit und auf größere Strecken in ihrer ursprünglichen Konzentration transportiert werden kann.

Einen Beitrag zu dieser Frage liefern auch die bekannten Versuche von Hofmann¹⁾ über das Eindringen von Verunreinigungen in den Boden und in das Grundwasser. In diesen Versuchen kommt der Unterschied zwischen grobkörnigem und feinkörnigem Sande besonders deutlich zum Ausdruck. Der Versuch mit dem feinporigen Sande lehrte, „daß das Eindringen der gelösten Stoffe in den Boden unter auffallend geringer Vermischung mit dem schon vorhandenen Bodenwasser erfolgt“.

Das Hinuntersinken der schwereren Salzlösungen im feinporigen Boden, ohne Konzentrationsausgleich durch Diffusion, ist danach als wohl möglich anzusehen. Über den zeitlichen Verlauf dieses Hinuntersinkens brauchen wir dabei noch keine Annahme zu machen, da wir keinerlei Anhaltspunkte dafür haben.

Lührig nimmt zwar an, daß das Hinuntersinken in wenigen Stunden erfolge, ein experimenteller Beweis dafür ist aber nicht erbracht worden. Die Frage kann offen bleiben: denn in jedem Falle, mag das Hinuntersinken so schnell erfolgen wie Lührig annimmt, oder mag es längere Zeit in Anspruch nehmen, in jedem Falle muß es denselben Zustand zur Folge gehabt haben, nämlich die Ansammlung von Salzen in der Tiefe; und die Erkennung dieses Zustandes gibt uns wieder einen neuen Anhaltspunkt für die Erklärung der Katastrophe.

Danach würde man von den Vorgängen, die möglicherweise die Katastrophe verursacht haben, folgendes Bild entwerfen können. Wie wir schon zu Beginn unserer Ausführungen festgestellt haben, mußte die Bildung löslicher Sulfate in den sulfidreichen Schlickschichten des Geländes seit ungezählten Jahrhunderten stattfinden, so oft in dürren Sommern die oberen Bodenschichten vollständig oder auch nur teilweise austrockneten. Erfolgte nun ein starker Regenguß oder eine Überschwemmung, oder stieg am Ende der Trockenperiode das Grundwasser wieder an, so konnten sich an zahlreichen Stellen im Gelände — bald hier, bald dort — konzentrierte Lösungen bilden, die nun vermöge ihres höheren spezifischen Gewichts mehr oder weniger schnell zu Boden sanken. Sie sanken bis zur undurchlässigen Schicht, auf der der Grundwasserträger ruht, und breiteten sich auf ihr aus.

Hier ist eine Prüfung der Hypothese an der Hand von Tatsachen möglich. Finden sich am Grunde des Alluviums, auf dem Geschiebemergel, solche Ansammlungen?

Das eine wenigstens scheint in zahlreichen Bohrungen erwiesen zu sein, daß das dem Geschiebemergel direkt aufgelagerte Wasser am

1) Hofmann, Über das Eindringen von Verunreinigungen in Boden und Grundwasser. Archiv für Hygiene, Bd. 2.

stärksten verunreinigt ist. So schreibt Lührig¹⁾: „Daß sich unter oder in der Nähe der Lagerstätten des Schlicks infolge der durch Witterungsverhältnisse oder sonstige Umstände veranlaßten Senkungen und Hebungen des unberührten Grundwassers oben ausgelaugte konzentrierte Salzlösungen ansammeln konnten, die als präformierte Vorräte in verschiedenen Tiefen, meist auf der Sohle des Grundwasserträgers anzutreffen sind, ist ganz zweifellos, wie die Beispiele vom Friedhof Kosel auf das klarste beweisen. Damit stimmen auch die bei Untersuchung der vielen Wässer aus den Bohrlöchern gesammelten Erfahrungen überein, daß das dem undurchlässigen Geschiebemergel zunächst aufgelagerte Wasser das konzentriertere ist.“ Ebenso wird in einem Bericht der Herren Stadtbaurat Wirtz²⁾ und Direktor Debusmann²⁾ bemerkt: „Es ist durch das Chemische Untersuchungsamt ermittelt worden, daß das meiste Eisen und Mangan sich in den tiefsten Schichten befindet und das Grundwasser nach oben hin allmählich besser wird.“ Genauere Angaben liegen allerdings nur in geringer Zahl vor. Sehr ausgeprägte Unterschiede zwischen den höheren und tieferen Schichten kann man im Gelände selbst jetzt nicht mehr erwarten. Denn die Katastrophe hat zur Durchmischung geführt und muß so etwaige Differenzen verwischt haben. Dazu kommt, daß gerade im Gebiete der 3. Gruppe, wo die verhängnisvollen sulfidhaltigen Schlickschichten lagern, nur sehr wenige Bohrungen ausgeführt worden sind. Um so beweisender ist es, daß von den sehr spärlich ausgeführten Bohrungen einige zur Aufdeckung größerer Tiefenansammlungen geführt haben. So fanden wir bei 13 Bohrungen einmal, beim Bohrloch 79, dicht über der undurchlässigen Schicht einen Eisengehalt von 138 mg im Liter, etwa doppelt so viel, wie in den oberen Schichten. Ferner ist das Bohrloch 4C, bei Rohrbrunnen 300, zu erwähnen, wo im Kies bei 9—10 m Tiefe 824 mg Schwefelsäure und 199,4 mg Eisen im Liter gefunden worden sind.

In den von der Katastrophe nicht berührten Teilen des Gebietes aber sind tiefe Ansammlungen schon deshalb nicht zu erwarten, weil, wie festgestellt worden ist, hier auch die Sulfide des Eisens und Mangans in den oberen Schlickschichten wenig verbreitet sind. Wohl aber geben einige Bohrungen in anderen Gebieten wichtige Aufschlüsse, da dort keine Katastrophe verwirrend und verwischend gewirkt hat, Bohrungen auf dem Koseler Friedhof und auf dem Versuchsfeld in Rosental.

Auf dem Koseler Friedhof wurde das Wasser aus 8 Bohrlöchern untersucht; in allen wurde Schwefelsäure, Mangan und Eisen nachgewiesen und namentlich in der Tiefe, dicht über dem undurchlässigen Geschiebemergel fand man hohe Konzentrationen. Die Tabelle 54

1) Lührig, l. c., Bd. 14, S. 56.

2) „Ergebnisse der Untersuchungen u. s. w.“, Teil II, S. 76.

gibt die im Bohrloch 5 gewonnenen Zahlen wieder; in diesem sind die Unterschiede am stärksten ausgeprägt.

Tabelle 54.

Chemische Zusammensetzung des Grundwassers aus einer Bohrung auf dem Friedhofe in Kosel.

Nummer der Probe	Tiefe der Entnahme	Trockenrückstand mg im Liter	Schwefelsäure (SO ₃) mg im Liter	Mangansulfat (MnSO ₄) mg im Liter	Eisenoxyd (Fe ₂ O ₃) mg im Liter	Reaktion beim Stehen an der Luft
1.	5 m	485,0	171,5	4,7	58,6	neutral
2.	7 "	512,5	150,9	4,7	12,3	alkalisch
3.	9 "	2985,0	1471,7	59,1	106,1	sauer
4.	11 "	5994,0	2863,9	186,6	800,0	sauer
	Geschiebemergel bei 11,1 m					

Man wende nicht ein, daß an anderen Stellen bereits 1—2 m über dem Geschiebemergel ebenso hohe Konzentrationen gefunden wurden, wie unmittelbar darauf, oder daß an einer Stelle gar schon in 3—4 m Tiefe die stärkste Ansammlung angetroffen wurde. Es soll gar nicht behauptet werden, daß die Salze ausschließlich in der Tiefe lagern. Vielmehr genügt die Feststellung, daß in der Tiefe überhaupt solche Ansammlungen vorkommen.

Dieses Beispiel vom Koseler Friedhof ist noch in anderer Beziehung lehrreich. Es beweist, daß die Entstehung der löslichen Sulfate durchaus nicht von der künstlichen Absenkung des Grundwasserspiegels abhängig ist, denn hier hat eine solche niemals stattgefunden. Ja, die Tatsache, daß auf dem Koseler Friedhofe sulfidhaltige Schlickschichten völlig fehlen, läßt Zweifel zu an der ausschließlichen Bedeutung des Schlicks als Ursprung der Eisen- und Manganverunreinigungen im Gelände. Möglicherweise haben aber in früheren Perioden Schlickschichten bestanden, deren Eisen- und Mangangehalt allmählich aufgelöst und in die Tiefe geführt worden ist, und die später von schlickfreiem Boden überlagert worden sind. Auf dem Versuchsfelde in Rosental fehlt der Schlick nicht; aber auch hier hat niemals eine künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels stattgefunden, und trotzdem enthält das Grundwasser bis zu 322 mg Schwefelsäure, bis zu 160 mg Eisen im Liter.

So dürfen wir es als erwiesen ansehen, daß in der Tiefe des Alluviums, dicht über dem Geschiebemergel, Eisen- und Manganansammlungen vorkommen. Dort lagerten sie lange Zeit völlig un-

schädlich; auch die Entnahme des Grundwassers, die höher oben erfolgte, ließ sie zunächst unberührt. Der mit fortschreitender Förderung allmählich ansteigende Eisengehalt allerdings dürfte schon darauf zurückzuführen sein, daß auch diese Schichten zur Wasserlieferung in geringem, aber langsam zunehmendem Maße herangezogen wurden. Da trat plötzlich die Überschwemmung des Geländes ein, und wenige Stunden später fanden sich die verunreinigenden Salze in dem geförderten Grundwasser. Welche Rolle spielte dabei die Überschwemmung, wodurch führte sie die Eisen- und Manganlösungen den Grundwasserbrunnen zu? Auf diese Frage können wir nur Vermutungen mit aller Vorsicht äußern. Als die Überschwemmung eintrat, stand der Grundwasserspiegel nur noch wenige Zentimeter über der Unterkante der Heberrohre. Wenige Stunden nach der Überschwemmung trat Luft in die Heberleitungen ein; nach 12-stündigem Auspumpen von Luft wurde wieder Grundwasser gefördert. Aus diesen Vorgängen können wir vielleicht Anhaltspunkte dafür gewinnen, wie die Wirkung der Überschwemmung zu erklären sei. Das Überschwemmungswasser fand eine stark ausgedehnte Trockenzone vor. Denn die Niederschläge des Jahres 1905 werden zwar die obersten Schichten des Bodens angefeuchtet haben, konnten aber kaum die ganze Verdunstungszone des ungewöhnlich trockenen Jahres 1904 wieder anfüllen. Die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens dürften der Beschreibung Wollnys¹⁾ entsprochen haben: Wenn die Austrocknungszone sich sehr tief erstreckt, so kann die ganze Menge der Spätsommer- und Herbstniederschläge darin Platz finden, ohne daß die Füllung der kapillaren Poren bis zu ihrer unteren Grenze hinabreicht. „Es ist dann also noch eine unterbrechende trockene Schicht zwischen der äußersten, durch Niederschläge befeuchteten Oberfläche, und den tieferen, wasserführenden Schichten.“ Das Überschwemmungswasser drang rasch in die Trockenzone ein. Die Luft, die nach oben nicht entweichen konnte, wurde stark komprimiert, drückte die niedrige Wassersäule beiseite, die sich noch zwischen dem Grundwasserspiegel und der Unterkante der Heberrohre befand, und trat in die Heberrohre ein. Nun begann man die Luft auszupumpen, und in dem Maße, als das geschah, mußte das vorher verdrängte Grundwasser wieder zurückströmen, um in die Rohre wieder einzutreten, als durch die Entfernung eines gewissen Quantums Luft der ursprüngliche Druck wieder hergestellt war. Dabei aber hatte es die verhängnisvollen Veränderungen erfahren. Wir können uns vorstellen, daß sich das weggedrängte und wieder zurückströmende Wasser mit dem dicht über dem Geschiebemergel lagernden ver-

1) Wollny, Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse der Bodenarten. Forschungen etc., Bd. 18, S. 27.

mischt hatte — möglicherweise infolge des Einpressens der Luft. Daß dieses ein vorzügliches Durchmischungsmittel ist, ist bekannt; ob es auch im Boden als solches wirken kann, darüber wissen wir allerdings nichts. Vielleicht hatte auch bei dem gewaltsamen Zurückströmen des Wassers ein Aufrühren auch der tieferen Schichten und eine Vermischung des Grundwassers mit dem Wasser dieser Schichten stattgefunden. Ich bin mir des hypothetischen Charakters dieser Auffassung wohl bewußt. Es soll durchaus nicht behauptet werden, daß die Tatsachen zu dieser Annahme zwingen. Aber es bietet sich hier doch eine Möglichkeit, wie das vorliegende Tatsachenmaterial zu einer Erklärung der Katastrophe verknüpft werden könnte. Feststehend ist das Vorkommen von konzentrierten Salzlösungen in den Schichten über dem Geschiebemergel; wahrscheinlich ist, daß sie sich in den oberen Schlickschichten gebildet hatten, und möglich, daß sie der Schwere folgend zum Grunde gesunken waren. Davon, wie alsdann die Überschwemmung eine Durchmischung bewirkt, kann man sich wenigstens ein Bild machen.

Wenn wir uns jetzt wieder der drei Hypothesen erinnern, die unmittelbar nach der Ueberschwemmung die Verschlechterung des Grundwassers zu erklären versuchten, so kommen wir zu einem bemerkenswerten Ergebnis. Die Ansicht, die wir uns hier durch eine Zusammenfassung aller uns bekannten Tatsachen gebildet haben, stimmt in ihren Grundzügen mit der einen dieser Hypothesen überein, und zwar mit der zweiten, die damals meines Wissens von Herrn Stadtbaurat v. Scholtz aufgestellt worden ist¹⁾.

Neuerdings ist noch ein anderer Versuch gemacht worden, einen Zusammenhang zwischen den Sulfiden des Schlicks und der Verunreinigung des Grundwassers aufzufinden, der ebenfalls die Ermittlungen über die Schwerdurchlässigkeit des Bodens durchaus berücksichtigt. Dieser Erklärungsversuch, der den Vorgängen eine recht ungezwungene Deutung gibt, wurde von Herrn Generaldirektor Dr. E. Richters in einer Sitzung des „Bezirksvereins deutscher Chemiker“ und in der „Chemischen Gesellschaft“ in Breslau vortragen. Sein Gedankengang ist etwa folgender: Daß die löslichen Sulfate, die sich seit Jahrhunderten in den oberen Schlickschichten bildeten, und die häufig durch Überflutungswasser in die Tiefe gespült werden mußten, weder zur Zeit der Vorarbeiten, noch während des ersten Betriebsjahres im Grundwasser auftraten, erklärt sich am einfachsten daraus, daß sie durch ihre Aufnahme vom Grundwasser unter Reduktionsbedingungen gekommen und wieder zu unlöslichen Verbindungen reduziert worden waren. So war das ganze Alluvium durchsetzt mit unlöslichen Eisen- und Manganverbindungen. Durch die

1) Siehe S. 12.

künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels nach der Inbetriebnahme des Werks wurde der Boden zwar nicht wasserfrei, wohl aber wurde ein — je nach der Beschaffenheit des Bodens größerer oder geringerer — Teil des Bodenwassers durch Luft ersetzt. Dieser Luftzutritt genügte völlig die Oxydationsprozesse hervorzurufen, die ja bei gleichzeitiger Anwesenheit von Wasser noch energischer verlaufen, als in völlig trockenem Zustande. Da die Absenkung immer tiefer wurde, wurden auch immer tiefere Schichten dem Luftzutritt und damit der Oxydation ihrer unlöslichen Salze ausgesetzt, so daß schließlich unmittelbar vor der Katastrophe das ganze Alluvium mit löslichen und zum Teil gelösten Verbindungen erfüllt war. Auch die untersten Schichten der Durchgangszone enthielten sie. Als das Überschwemmungswasser die obersten Schichten der Durchgangszone erreichte und einzudringen begann, erhielt auch sofort die unterste Schicht Zufluß aus der nächsthöheren. Die salzhaltigen unteren Schichten der Durchgangszone verwandelten sich dadurch wieder in Grundwasser, und dieses stark verunreinigte Grundwasser strömte durch die Filterkörbe, die ja mit ihren oberen Teilen in den Bereich der Durchgangszone hineingeragt hatten, in die Brunnen ein.

Diese Erklärung entspricht durchaus unseren Vorstellungen über die Bewegung des Wassers im Boden. Der beschriebene Vorgang muß sich in dieser Weise abgespielt haben, wenn alle Voraussetzungen zutreffen. Diese Voraussetzungen wird man noch näher prüfen müssen. Wir müssen z. B. festzustellen suchen, ob die Verwandlung der Grundwasserzone in Durchgangszone, d. h. die Ersetzung von 10—20 Proz. des Bodenwassers durch Luft, für die Oxydation der Sulfide genügte. Daß zur Oxydation keine völlige Austrocknung notwendig ist, geht aus einer Angabe Lührigs¹⁾ hervor, wonach eine Schlickprobe, in der sich lebhaft oxydationsprozesse abgespielt hatten, noch 24 Gewichtsprozente Wasser enthielt, also noch sehr feucht war. Damit ist erwiesen, daß die verhängnisvollen Oxydationsprozesse sich bei sehr reichlichem Wassergehalt abspielen können, wie er bei der Absenkung des Grundwasserspiegels im Boden zurückbleibt. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß der Sauerstoffgehalt der Bodenluft mit zunehmender Tiefe geringer wird. Er beträgt nach v. Fodor²⁾ 17,906 Proz. in 4 m Tiefe, nach Fleck³⁾ 15 Proz. in 6 m Tiefe. Da aber die Absenkung des Grundwasserspiegels sehr schnell erfolgte —

1) Lührig, l. c., Bd. 14, S. 51.

2) v. Fodor, Hygiene des Bodens. Weyls Handbuch der Hygiene, Bd. 1, S. 108.

3) Fleck, Boden- und Bodengasuntersuchungen, 1873, zit. nach Soyka, Der Boden. Pettenkofer-Ziemssens Handbuch der Hygiene, Bd. 1, 2, S. 69.

in der 3. Gruppe senkte sich der Grundwasserspiegel in den ersten 24 Stunden des Betriebs um 4 bis 5 m — so läßt sich annehmen, daß die rasch einströmende Luft noch ihren normalen Sauerstoffgehalt hatte. Wenn nun die Möglichkeit bestand, daß der verbrauchte Sauerstoff sich allmählich wieder ersetzte, dann würde die Entstehung auch größerer Mengen von Sulfaten auf diese Weise sehr wohl erklärt werden können.

Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß der in allen diesen Erklärungsversuchen als sicher angenommene Zusammenhang der Grundwasserverunreinigungen mit den oberflächlichen Schlickschichten und ihrem Gehalt an Sulfiden keineswegs unbestritten ist. Professor Frech führt die Katastrophe lediglich auf präformierte Lösungen von Eisen und Mangan in der Tiefe zurück. Ihre Träger sind die Schliefsande, die den Geschiebemergel durchsetzen, und die ihm zum Teil unmittelbar aufgelagert sind. Neuerdings ist eine Beobachtung mitgeteilt worden, die geeignet sein soll, über die Herkunft des Mangans weiteren Aufschluß zu geben. In Schweden sind ungeheure Manganlager aufgefunden worden. Da nun der Geschiebemergel, der den Grund unseres Grundwasserträgers bildet, ein Überrest alter Gletscher ist, die zur Eiszeit ein Teil der einheitlichen nordischen Vereisung waren, so ist die Vermutung nicht von der Hand zu weisen, daß sein Mangangehalt seine Entstehung auf jene schwedischen Manganlager und auf einen Transport mit den von Norden herannahenden Gletschern zurückführt.

Wenn wir auf alle Hypothesen, die zur Erklärung der Breslauer Grundwasserverschlechterung aufgestellt worden sind, einen kurzen, kritischen Rückblick werfen, so müssen wir an eine befriedigende Hypothese zwei Anforderungen stellen. Sie muß alle beobachteten Tatsachen, oder doch wenigstens die wichtigsten erklären; und sie darf vor allem mit keiner der beobachteten Tatsachen in Widerspruch stehen. Danach können wir zwei Hypothesen von vornherein als verfehlt ausscheiden. Die eine, die „Durchbruchtheorie“, die einen Durchbruch tertiären Wassers annahm, führte die Verunreinigungen damit auf Schichten zurück, in deren Wasser Eisen und Mangan nachgewiesenermaßen gar nicht in größeren Mengen vorhanden ist. Die andere, die „Durchlauftheorie“, hat zwar über die Herkunft der verunreinigenden Salze wohl begründete Behauptungen aufgestellt (Lüdecke, Lührig): aber ihre Vorstellungen über die Art und Weise der Beimischung dieser Verunreinigungen zum Grundwasser, wie sie namentlich von Beyschlag, Debusmann und Wirtz vertreten werden, stehen in Widerspruch mit den Feststellungen über die Durchlässigkeit des Bodens. Überdies beweist das Verhalten zweier scharfer Indikatoren, des Bakterien-

gehalts und der Temperatur des Grundwassers, daß ihre Annahmen in dieser Hinsicht falsch sind.

Von den übrigen vier Hypothesen, die betrachtet worden sind, führen drei die Verunreinigungen auf die Sulfide der oberen Schlickschichten zurück, während die vierte annimmt, daß ihre Entstehung bereits Jahrtausende zurückliegt, und daß sie zur Eiszeit von ungeheuren Manganlagern in Schweden aus in unser Gebiet gebracht worden sind.

Daß wenigstens ein Teil des Mangans im Gelände unserer Grundwasserversorgung seinen Ursprung darauf zurückführen könne, läßt sich natürlich nicht bestreiten. Namentlich kann man zu Gunsten dieser Annahme anführen, daß tiefe Manganansammlungen auch in solchen Gegenden vorkommen, wo oberflächliche Schlickschichten nicht vorhanden sind. Wenn wir aber andererseits bedenken, daß in den in der 3. Gruppe weit verbreiteten Schlickschichten Luftzutritt nachgewiesenermaßen zur Bildung löslicher Sulfate von Eisen und Mangan führt, daß ferner gerade in den Gegenden, wo die Schlickschichten besonders reich an Sulfiden sind, auch die Verunreinigung des Grundwassers am stärksten war, so wird ein Zusammenhang dieser Verunreinigung mit den sulfidhaltigen Schlickschichten doch in hohem Maße wahrscheinlich. Welcher Art dieser Zusammenhang sei, mag dabei noch dahingestellt bleiben. In dieser Beziehung gehen denn auch die drei anderen Hypothesen auseinander. Insbesondere divergieren sie in ihren Annahmen über die Lage der Salze unmittelbar vor der Katastrophe und über die Art und Weise ihrer Beimischung zum Grundwasser infolge der Überschwemmung.

Die Lührigsche Hypothese, daß die Oxydation der unlöslichen Sulfide zu löslichen Sulfaten erst nach der Inbetriebnahme der Anlage stattgefunden hat; daß die löslichen Sulfate alsdann am Orte ihrer Entstehung blieben, bis sie vom Überschwemmungswasser gelöst und aufgenommen wurden; und daß ihre Beimischung zum Grundwasser im Momente der Berührung des Überschwemmungswassers mit dem Wasser der Durchgangszone erfolgte, indem die schwereren Salze schnell im Wasser in die Tiefe sanken, während das Überschwemmungswasser selbst nur langsam nachrückte, diese Hypothese ist in einem wesentlichen Punkte sicher falsch. Mit Bestimmtheit ist nachgewiesen, daß die Bedingungen für die Bildung löslicher Sulfate im Schlick nicht erst durch den Betrieb der Anlage geschaffen wurden, sondern daß sie bereits seit Jahrhunderten gegeben waren, so oft die oberen Bodenschichten völlig oder teilweise austrockneten. Eine unabweisbare Konsequenz dieser Tatsache ist aber, daß die Entstehung der Salzlösungen und auch ihr Hinuntersinken, mag dieses rasch oder langsam erfolgen, schon seit Jahrhunderten stattgefunden haben müssen.

Dazu kommt, daß die Lührigsche Hypothese zwei andere wichtige Tatsachen nicht zu erklären vermag: erstens das langsame aber ununterbrochene Steigen des Eisengehalts vor der Katastrophe; und zweitens die plötzlichen Hebungen, die nach der Katastrophe beim plötzlichen Stillstande der Anlage auftraten, und die gelegentlich größer waren als der Anstieg bei der Katastrophe selbst. Lührig¹⁾ versucht zwar, diese zweite Tatsache zu erklären: Mit dem Stillstande der Anlage ist eine Hebung des Grundwasserspiegels verbunden. „Durch kommt das Wasser mit bisher von ihm nicht benetzten Erdschichten in Berührung. Findet es lösliche Salze, — und diese bilden sich innerhalb gewisser Zeitabschnitte stets von neuem in den trocken gelegten Schlickschichten, — so werden diese gelöst und wandern, sobald Kommunikation vorhanden ist oder sich eingestellt hat, im Grundwasser in die Tiefe, wo sie durch die Heberrohre der Brunnen abgefangen werden und in das Sammelrohr gelangen, so den Salzgehalt des Wassers erhöhend.“ Diese Erklärung kann nicht befriedigen, da ihre Voraussetzungen nicht zutreffen. Der Grundwasserspiegel hat sich zwar, wenn die Anlage stehen blieb, stets rasch gehoben, aber er hat dadurch keineswegs die Schlickschichten erreicht und konnte sie daher auch nicht auslaugen. Nimmt man an, daß die Sulfate an den Ort ihrer Entstehung gebannt waren, also lediglich in den Schlickschichten lagerten, dann kann der Anstieg des Eisengehaltes beim Stillstand des Werkes nicht erklärt werden. Macht man aber diese Annahme nicht, so ist wieder die andere Schwierigkeit zu überwinden: Hätten nicht die schon in früheren Zeiten häufig entstandenen und immer wieder in die Tiefe geführten Sulfate beim Betriebe des Probebrunnens im Wasser gefunden werden müssen? Und wie ist es zu erklären, daß die Anlage 14 Monate hindurch gutes Wasser geliefert hat?

Dieser Schwierigkeit suchen die beiden noch übrigen Hypothesen gerecht zu werden, wiederum in verschiedener Weise. Die eine, die v. Scholtz zuerst aufgestellt hat, und zu der auch wir durch unsere Untersuchungen hingeführt worden sind, nimmt an, daß die herabgesunkenen Salze sich nicht mehr im Bereiche der Grundwasserentnahme befanden. Sie lagerten unmittelbar über dem Geschiebemergel; die Entnahme des Grundwassers, die — wenn auch nur wenig — höher oben erfolgte, ließ sie zunächst ungestört. Erst als dem Boden immer mehr Grundwasser entzogen wurde, trugen auch diese tieferen Schichten in geringem, aber langsam steigendem Maße zur Lieferung des Wassers bei, und so erklärt sich das Ansteigen des Eisengehalts vor der Katastrophe. Als aber bei der Überschwemmung plötzlich große Mengen von Luft aus der Verdunstungszone in die Tiefe ge-

1) Lührig, l. c. Bd. 14, S. 54.

preßt wurden, fand eine Durchmischung der unteren Schichten statt, die die Verunreinigungen den Grundwasserbrunnen in großen Mengen zuführte.

Die andere Hypothese (Richters) stimmt damit insoweit überein, als auch nach ihrer Anschauung die von jeher gebildeten löslichen Salze tiefer gesunken waren. Ihre Unschädlichkeit aber führt sie darauf zurück, daß sie wieder in unlöslichen Zustand übergegangen waren. Erst während des Betriebes der Anlage wurden sie infolge des Luftzutritts wieder zu löslichen Verbindungen oxydiert, die dann bei der ersten Gelegenheit — und das war die Umwandlung der Durchgangszone in Grundwasserzone durch die Überschwemmung — von den Grundwasserbrunnen aufgenommen wurden.

Auch für diese beiden Hypothesen bietet die Erklärung der Eisenvermehrung bei einem Stillstande der Anlage gewisse Schwierigkeiten. Sieht man als Ursache der Katastrophe ein Aufrühren der in der Tiefe lagernden präformierten Lösungen und eine Durchmischung der unteren Schichten an, so könnte man daran denken, daß auch solche Betriebsstörungen, namentlich das plötzliche Wiederbeginnen des Abpumpens, eine Durchmischung bewirkt hätten. Nimmt man die Richterssche Hypothese zur Grundlage, so müßte man annehmen, daß in den immer von neuem frei gelegten Schichten über dem abgesenkten Grundwasserspiegel auch immer von neuem die Oxydationsprozesse sich abgespielt haben, so daß das beim Stillstand der Anlage steigende Grundwasser wieder größere Mengen der Salze aufnehmen konnte.

Als Resultat unserer Ausführungen glaube ich feststellen zu können: Eine vollkommen sichere und einwandfreie Erklärung, eine Erklärung, die alle Erscheinungen und Tatsachen berücksichtigt und sich lediglich auf sicher bewiesene Tatsachen stützt, ist zur Zeit nicht gegeben. Wohl aber haben wir genügend sichere Grundlagen gewonnen, um die wichtige Frage behandeln zu können, ob eine Abhilfe möglich sein werde, und in welcher Richtung sich zweckmäßige Maßnahmen zu bewegen hätten.

Daß mit allen Mitteln versucht werden muß, die Anlage wieder gebrauchsfähig zu machen, unterliegt keinem Zweifel. Wenn auch der inzwischen erfolgte Ausbau der Filteranlage die Möglichkeit geschaffen hat, größere Mengen Oderwasser als Trinkwasser zu verwerten, so erfüllt dieser Zustand durchaus nicht unsere berechtigten Anforderungen. Er darf daher nur als Notbehelf aufgefaßt werden, der uns gestattet, in Ruhe Maßnahmen zur Sanierung der Grundwasseranlage zu treffen; er kann aber keineswegs dauernd beibehalten werden. Denn alle Mißstände, die seiner Zeit die Veranlassung dazu gegeben haben, die Versorgung mit filtriertem Oderwasser aufzugeben, bestehen nach wie vor, zum Teil in erhöhtem Maße. Der von Jahr zu

Jahr gesteigerte Schiffsverkehr, die hohe Sommertemperatur machen das Oderwasser auch in filtriertem Zustande als Trinkwasser durchaus ungeeignet. Es sei nur erinnert an die stete Gefahr einer Cholera Invasion, die z. B. auch im Jahre 1905 wieder deutlich wurde, wo auf Oderschiffen mehrere Cholerafälle vorkamen. Ferner ist der in Dresden, Hamburg und anderen Städten geführte Nachweis zu beachten, daß der Gebrauch von Flußwasser zeitweilige Steigerungen der Säuglingssterblichkeit verschuldet hat. Auch daß neuerdings häufig die Entstehung leichterer Darmaffektionen in Verbindung mit dem Genuß von Flußwasser beobachtet worden ist, verdient Beachtung. Die gleichmäßig kühle Temperatur des Grundwassers ist nicht nur für die Geschmacksverbesserung des Wassers wichtig, sondern sie ist von außerordentlicher hygienischer Bedeutung. Die durchaus notwendige Abkühlung und Kühllhaltung der Säuglingsmilch wird im Hochsommer für die weitesten Kreise der Bevölkerung nur durch ein gleichmäßig kaltes Leitungswasser ermöglicht. Alle hygienischen Forderungen werden **nur** von einer Grundwasserversorgung erfüllt. Weder eine Verbesserung der künstlichen Sandfiltration, noch eine Gewinnung von natürlichem filtriertem Flußwasser kann als Ersatz eintreten. Wohl würde dadurch die Quantität leichter zu beschaffen sein; vielleicht wäre das Wasser auch für manche Wirtschafts- und Industriezwecke besser geeignet. Aber die hygienischen Forderungen müssen vorangestellt werden; und diese gehen dahin, daß die Grundwasserversorgung nicht ohne zwingenden Grund aufgegeben werden darf. Nur wenn alle erfolversprechenden Versuche zur Wiederherstellung der Anlage versagen sollten, würde man daran denken müssen, den besten Ersatz dafür zu suchen; als solcher würde eine Versorgung mit natürlichem filtriertem Flußwasser gewiß in erster Linie in Frage kommen. Solange aber noch kein Versuch zur Sanierung der Anlage gemacht worden ist, sind wir nicht berechtigt, Maßnahmen in anderer Richtung zu treffen. Es ist daher sehr bedauerlich, daß bereits jetzt, also bevor ein Versuch zur Rettung der Grundwasserversorgung gemacht worden ist, Vorbereitungen zu einer Versorgung mit natürlichem filtriertem Flußwasser getroffen werden. — Welchen günstigen Einfluß auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung die Einführung einer Grundwasserversorgung anstelle der Benutzung von künstlich filtriertem Flußwasser gerade auch an der Oder hat, das beweisen die Erfahrungen, die in Brieg gemacht wurden, und die kürzlich von Rieger¹⁾ veröffentlicht worden sind. Die Stadt Brieg, die 42 km oberhalb Breslaus an der Oder

1) Rieger, Wasserversorgung mit filtriertem Flußwasser und Darmtyphus. Klin. Jahrb., Bd. 18, Heft 3, 1908.

liegt, nahm im Frühjahr 1906 eine Grundwasseranlage in Benutzung. Seit dieser Zeit haben Typhuserkrankungen vollständig aufgehört. Von den 6 Typhusfällen, die vom Mai 1906 bis zum August 1907 in Brieg gemeldet worden sind, betrafen 3 Oderschiffer; bei den anderen ist festgestellt worden, daß die Infektion außerhalb Briegs stattgefunden hat. In den ersten 4 Monaten des Jahres 1906 dagegen waren noch 18 Typhusfälle, in den Vorjahren stets 30—40 Fälle vorgekommen.

Darüber also, daß die Wiederherstellung unserer Grundwasseranlage ein durchaus zu erstrebendes Ziel ist, ist ein Zweifel nicht möglich. Im einzelnen die Wege anzugeben, auf denen dieses Ziel zu erreichen ist, liegt außerhalb des Bereiches meiner Arbeit. Die Lösung dieser schwierigen Aufgabe muß vielmehr dem sachverständigen Hydrologen überlassen bleiben. Wohl aber glaube ich, daß die genaue Betrachtung des bisherigen Verlaufes der Katastrophe und alles dessen, was wir über ihre Entstehung wissen, uns in den Stand setzt, die Richtung zu erkennen, in der die Lösung gesucht werden muß und gefunden werden wird.

Zweierlei ist zu leisten: wir müssen den hohen Eisen- und Mangan Gehalt bekämpfen und für eine Vermehrung der unzureichenden Grundwassermenge sorgen.

Zur Verbesserung des Wassers sind theoretisch zwei verschiedene Wege möglich: entweder Maßnahmen, die den Zustand vor der Katastrophe wieder herstellen, also wieder die Förderung eines manganfreien, schwach eisenhaltigen Wassers ermöglichen; oder eine nachträgliche Entfernung des Mangans aus dem gefördertem Wasser, analog der schon lange geübten Enteisung. Dieser zweite Weg ist der näherliegende. Lührig¹⁾, der der künstlichen Entmanganung des Wassers besondere Aufmerksamkeit zugewandt hat, bezeichnet auf Grund sehr zahlreicher und gründlicher Untersuchungen als besonders aussichtsreich ein Verfahren, bei dem das Mangansulfat durch einen geringen Überschuß von Kalkwasser bei Luftzutritt zur Abscheidung und in Klärbassins zur Sedimentation gebracht wird; das entmangante Wasser müsse alsdann noch zur Befreiung von etwaigen Spuren freien Ätzkalkes durch eine etwa 75 cm hohe Schicht natürlichen zeolithischen Gesteins filtriert werden. Die praktische Erprobung dieses Verfahrens im großen Maßstabe steht aber noch aus.

1) Lührig, Bericht über die bislang vom Chemischen Untersuchungsamt ausgeführten Arbeiten, die künstliche Entmanganung des Wassers betreffend. Ergebnisse der Untersuchungen über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung in Breslau, Teil II, S. 78 ff.

Das andere Ziel, die Verbesserung des Grundwassers im Gelände, so daß es bereits eisen- und manganfrei zur Förderung gelangt, kann man wiederum auf zwei verschiedenen Wegen zu erreichen suchen.

Zunächst ist mehrfach behauptet worden, daß, da die Entstehung der löslichen Sulfate auf Oxydationsprozesse und Luftzutritt zurückzuführen sei, es genügen würde, die mit sulfathaltigem Wasser erfüllten Schichten wieder unter Reduktionsbedingungen, unter Luftabschluß, zu bringen. Die dann mit Sicherheit zu erwartenden Reduktionsprozesse würden die Sulfate wieder in unlösliche Verbindungen überführen. Man brauchte also zur Erreichung dieses Zieles nur den Grundwasserspiegel dauernd wieder hoch zu erhalten. Wenn auch die Möglichkeit dieser Rückbildungen nicht bestritten werden soll, so wissen wir doch, wie Lührig¹⁾ mit Recht hervorhebt, nichts über die Zeitdauer, die diese Prozesse etwa erfordern würden. Der bisherige Verlauf spricht jedenfalls nicht dafür, daß es in absehbarer Zeit zu einem spontanen Verschwinden des gelösten Eisens und Mangans aus dem Grundwasser kommen werde. Denn seit mehr als einem Jahre steht der Grundwasserspiegel im Gelände der 2. und 3. Gruppe dauernd hoch, so daß namentlich auch die Schlickschichten ohne Unterbrechung unter Wasser waren, ohne daß eine merkliche Abnahme des Eisen- und Mangangehalts eingetreten wäre.

Eine Verminderung des Eisen- und Mangangehalts kann aber auch auf andere Weise erreicht oder zum mindesten beschleunigt werden: durch Entfernung des gesamten verunreinigten Wassers oder des größten Teils davon und Zuführung von eisen- und manganfreiem Wasser, d. h. durch Abpumpen des Grundwassers der 2. und 3. Gruppe unter gleichzeitiger Berieselung. Zur Berieselung könnte Ohlewasser, oder aber, nach dem Vorschlag von Beyschlag und Michael²⁾, sowie von Debusmann³⁾, noch besser das kalkreiche artesische Wasser verwendet werden.

Lührig⁴⁾ hat auf Grund von Versuchen annähernd berechnet, daß eine große Zahl von Durchspülungen des Bodens dazu notwendig ist, die Salzlösungen daraus auszuwaschen. Er nimmt ferner an, daß eine einmalige Überschwemmung auch eine einmalige Sättigung der Bodenporen bedeute, so daß eine lange Reihe von Jahren vergehen müßte, ehe der Auswaschungsprozeß beendet wäre. Durch eine dauernde Berieselung ist aber der Prozeß sicher erheblich zu beschleunigen, die Einwirkung zahlreicher Überschwemmungen kann dadurch gewisser-

1) Ergebnisse u. s. w., Teil II, S. 78.

2) Beyschlag und Michael, Ergebnisse u. s. w., Teil I, S. 120.

3) Ibidem, S. 180.

4) Lührig, Zweiter Bericht über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung. Ergebnisse u. s. w., Teil II, S. 47 ff.

maßen auf einen kürzeren Zeitraum zusammengedrängt werden. Daß bei dem Abpumpen von Wasser aus der 3. Gruppe, das vom Mai 1906 ab einige Wochen lang ausgeführt wurde, eine Verminderung des Eisen- und Mangangehalts nicht festgestellt wurde, beweist nichts gegen die Zweckmäßigkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen. Ein „Auswaschen“ wurde damals gar nicht versucht und konnte nicht stattfinden, da das weggepumpte Wasser nicht durch anderes, eisenfreies ersetzt wurde. Die Berieselung ist entschieden eine notwendige Ergänzung des Abpumpens. Ob durch diese Maßnahmen das gesamte Grundwasser in absehbarer Zeit wieder eisen- und manganfrei werden wird, muß zunächst noch dahingestellt bleiben; mit großer Wahrscheinlichkeit aber kann man annehmen, daß die erst sekundär, durch das aus der gestauten 3. Gruppe einfließende Wasser, infizierten Teile der Anlage wieder gebrauchsfähig werden dürften. Namentlich die Berieselung mit artesischem Wasser bietet wegen seines hohen Kalkgehalts hierfür gute Aussichten.

Im Anschluß an diese Maßnahmen muß genau festgestellt werden, wieviel Wasser die Anlage dauernd liefern kann, sei es, daß sie in vollem Umfange nutzbar gemacht werden kann, sei es, daß ein Teil der Gruppe 3 dauernd ausgeschaltet bleiben muß. Über die Menge des dauernd verfügbaren Grundwassers sind irrige Anschauungen weit verbreitet. Daß die Anlage nicht die Ergiebigkeit von 60 000 Tageskubikmetern hat, die Thiem auf Grund der Betriebsergebnisse des Probebrunnens berechnet hatte, ist sicher. Es wird durch die Tatsache bewiesen, daß schon bei einer Förderung von 40 000 Tageskubikmetern ein Beharrungszustand nicht erzielt wurde, sondern daß der Grundwasserspiegel bis zu der Tiefe gesenkt werden mußte, die für eine Lieferung von 60 000 Kubikmetern vorgesehen war. Merkwürdigerweise ist daraus der Schluß gezogen worden, daß die Anlage überhaupt keinen Zufluß erhalte; es wurde mit Bestimmtheit behauptet und leider auch vielfach kritiklos geglaubt, daß das geförderte Grundwasser nur einem „Grundwasserbecken“ entstamme, das durch die Entnahme des Grundwassers einfach leer gepumpt werde, wenn Überschwemmungen einmal längere Zeit ausblieben. Diese Behauptung ist durch nichts begründet. Aus der Tatsache, daß bei einer Förderung von 40 000 Tageskubikmetern kein Beharrungszustand eintrat, kann nur gefolgert werden, daß der tägliche Zufluß kleiner war als 40 000 kbm. Um wieviel er dahinter zurückblieb, kann daraus aber natürlich nicht geschlossen werden, und daher entbehrt jeder weitergehende Schluß, wie etwa der, daß die Anlage überhaupt keinen Zufluß erhalte, einer gesicherten Grundlage. Damit ist aber natürlich noch nicht gesagt, daß dieser Schluß falsch sei; wir würden nur die Frage nicht entscheiden können, wenn uns nicht einige Beobachtungen eine richtige Beurteilung der Sachlage ermöglichen.

Erstens beweist die beim Stillstande der Anlage eintretende Erhöhung des Grundwasserspiegels, daß ein Wasserzufluß stattfindet; zweitens ist inzwischen einmal, bei der Förderung einer geringeren Wassermenge, längere Zeit ein Beharrungszustand erreicht worden, d. h. ein Zustand, bei dem sich der Zufluß und die Förderung des Grundwassers das Gleichgewicht hielten. Ja Debusmann¹⁾ konnte sogar auf Grund der Betriebsergebnisse berechnen, daß die Anlage bei einer bestimmten Absenkung eine dauernde Ergiebigkeit von etwa 33 000 Kubikmetern hat.

Nur scheinbar sprechen dagegen die Erfahrungen bei der Berieselung der 1. Gruppe. Die Tatsache, daß bei der Entnahme von 15 000 Tageskubikmetern aus den Brunnen 1—87 der Grundwasserspiegel im Bereiche dieser Brunnen immer tiefer sank, beweist natürlich auch wieder nur, daß die zufließende Menge hinter 15 000 kbm zurückblieb, sagt aber nichts darüber aus, um wieviel sie zurückbleibt, oder ob etwa gar nichts zufließe. Wichtiger aber scheint auf den ersten Blick, daß seit der Berieselung des Geländes nur dieselbe Menge gefördert werden kann, die oben auf das Gelände aufgepumpt wird. Hat doch diese Tatsache sogar die Verwaltung des Wasserwerks veranlaßt, trotz der Rechnung des Herrn Direktors Debusmann das Vorhandensein eines Grundwasserbeckens ohne jeden Zufluß anzunehmen. Bei näherer Überlegung sieht man aber, daß auch diese Tatsache nicht beweisend ist. Wenn z. B. ohne Berieselung die 87 Brunnen dauernd 8 000 kbm liefern²⁾, so darf man natürlich nicht erwarten, daß sie 23 000 liefern könnten, wenn man täglich 15 000 kbm in den Boden versickern läßt. Denn die 8 000 kbm waren doch selbstverständlich nur bei einer bestimmten Absenkung des Grundwasserspiegels zu gewinnen. Diese Absenkung wird aber nicht voll erreicht, wenn das Gelände berieselt wird, und das entnommene Grundwasser durch das einsickernde ersetzt werden kann. Daraus lassen sich Schlüsse über den Zufluß unter natürlichen Bedingungen nicht ableiten.

Daher sind genauere Berechnungen der dauernd verfügbaren Wassermengen durchaus notwendig. Vorläufig ist das einzige, was wir darüber sicher wissen, in der Rechnung von Debusmann gegeben, wonach bei einer Förderung von etwas über 30 000 Tageskubikmetern ein Beharrungszustand vorhanden ist. Dann wäre die Anlage also auch im günstigsten Falle, bei voller Betriebsfähigkeit, nicht imstande, den gesamten Bedarf der Stadt Breslau zu decken. Es wird daher notwendig sein, noch mehr Wasser zu schaffen.

1) Debusmann, Über die Absenkung des Grundwasserspiegels. Ergebnisse u. s. w., Teil II, S. 115.

2) Ergebnisse u. s. w., Teil II, S. 104.

Hierfür kommt zunächst eine Erweiterung der von der Katastrophe verschont gebliebenen Teile der Anlage in Betracht. Für diese Erweiterung hat Professor Frech ein Gebiet vorgeschlagen, das sich im Anschluß an die Gruppe 1 zwischen dem Schwentniger Wasserwerk, dem Schwentniger Wiesenhaus, Zedlitz und Pirscham erstreckt. Auch die Zedlitzer und Neuhauser Wiesen, und das Gelände zwischen Freigut Zedlitz, Pirschamer Damm und Wolfswinkel kämen in Betracht. Die Ergiebigkeit dieser Brunnen dürfte durch die größere Nähe der Oder günstig beeinflusst werden.

Außer durch die Erweiterung der Anlage kann eine Vermehrung des Grundwassers durch eine künstliche Zufuhr von Oberflächenwasser erfolgen. In welcher Form diese Berieselung am zweckmäßigsten erfolgen könnte, muß eingehender Prüfung vorbehalten bleiben.

Aber alle bisher besprochenen Maßnahmen, sowohl die zur Gewinnung manganfreien Wassers im Gelände, als auch die zur Vermehrung der verfügbaren Grundwassermenge, werden nur dann in Angriff genommen werden können, wenn eine Wiederholung der Katastrophe mit größter Wahrscheinlichkeit auszuschließen ist. Nur bei der Anwendung eines künstlichen Entmanganungsverfahrens könnte diese Gefahr außer acht gelassen werden. Bei allen anderen Verfahren müssen zu ihrer Vermeidung prophylaktische Maßnahmen getroffen werden; diese können aber sehr einfacher Natur sein.

Bei der Erweiterung der Anlage wird man Stellen, die in den oberen Schichten größere Mengen von Eisen- und Mangansulfiden enthalten, nach Möglichkeit zu vermeiden suchen. Ebenso wird man auf etwaige tiefe Ansammlungen achten müssen und Gegenden aufgeben, wo solche gefunden werden. Die Erweiterung der 1. Gruppe bietet auch in dieser Beziehung die besten Aussichten. Denn obwohl der Grundwasserspiegel hier ebenso tief abgesenkt worden ist wie in den anderen Gruppen, so daß die Gelegenheit zu den verhängnisvollen Oxydationsprozessen durchaus gegeben war, hat das Wasser dieser Gruppe stets seine tadellose Beschaffenheit bewahrt. Keine der sechs größeren Überschwemmungen hat hier irgend welche Verschlechterung gebracht. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß auch in Zukunft diese Gruppe nicht gefährdet ist.

Auch wenn es nicht möglich sein sollte, oberflächliche Sulfidansammlungen im Gelände ganz zu vermeiden, so würde keine erhebliche Gefahr drohen: man braucht nur ihre Oxydation zu verhindern, was die bereits oben zur Vermehrung der Grundwassermenge vorgeschlagene Berieselung mit Sicherheit leisten würde. Diese müßte auf alle Fälle in den sulfidhaltigen Teilen des jetzigen Geländes zur Anwendung kommen, wenn diese wieder benutzbar werden würden. Durch die Berieselung könnte die Neubildung von löslichen Sulfaten mit Sicher-

heit vermieden werden. Ob dazu eine dauernde Berieselung notwendig sein wird, oder ob eine zeitweilige in trockenen Jahreszeiten genügen würde, muß noch durch Untersuchungen im Gelände festgestellt werden. Eine Unterbrechung in der Frostperiode wäre jedenfalls belanglos. Etwa vorhandene und den Nachforschungen entgehende Eisen- und Manganansammlungen in der Tiefe würden nur dann gefährlich werden, wenn eine Überschwemmung eine ausgedehnte lufthaltige Trockenzone anträfe. Aber auch diese Gefahr könnte durch umsichtige und zweckmäßige Leitung der Berieselung sicherlich leicht vermieden werden

Die Berieselung hätte also drei Aufgaben: 1. Feuchthalten der Schlickschichten in trockenen Perioden (Verhinderung der Oxydationsprozesse); 2. Verhütung einer ausgedehnten Trockenzone, aus der bei Überflutungen große Luftmassen in die Tiefe gepreßt werden könnten; 3. Vermehrung des Wassers.

Die Wiederherstellung der früheren Verhältnisse im Gelände durch Auspumpen mit gleichzeitiger Berieselung, die Vermehrung der Grundwassermenge durch eine Erweiterung der Gruppe 1 oder durch Berieselung, und die Verhütung der Wiederkehr der Katastrophe, das sind also — neben der künstlichen Entmanganung — die Maßnahmen, von denen eine befriedigende Lösung der Grundwasserfrage für die Stadt Breslau mit Sicherheit erwartet werden kann.

Anmerkung. Erst während des Druckes habe ich eine (wohl 1896, nicht in einer Zeitschrift und ohne Angabe des Druckortes und der Jahreszahl publizierte) Mitteilung von Prof. B. Fischer in Kiel „Über die Wasserversorgung von Kiel in gesundheitlicher Beziehung“ einsehen können, in welcher über eine der Breslauer ähnliche Kalamität berichtet ist. 1893 wurde bei Kiel die „Poppenburger Fassung“ angelegt, aus 38 Röhrenbrunnen bestehend. 5 Monate hindurch gab diese bei $4\frac{1}{2}$ m Absenkung täglich 10—11 000 cbm tadelloses, nur belanglose Eisenmengen führendes Wasser. Als aber die Fördermenge auf 7000 cbm und die Absenkung auf nur $2\frac{1}{2}$ m reduziert wurde, zeigte das Wasser bis 13 mgr Eisen, die Schwefelsäure stieg auf das 3-fache; die Oxydationsstufen des Eisens trübten das Wasser so, daß es ungenießbar wurde. Diese Beschaffenheit hielt ein volles Jahr in gleicher Weise an, und man gab daher die Anlage auf. — Fischer meint, daß bei dem anfangs stärkeren Absenken in den zunächst über dem Grundwasser befindlichen Bodenschichten durch Luftzutritt Oxydationen eingetreten und Verbindungen gebildet seien, die beim Höhersteigen des Grundwassers von diesem aufgenommen wurden — also eine der Richtersschen Ansicht ähnliche Hypothese, die freilich kaum zu erklären vermag, warum nach Konstanterhaltung des Grundwasserspiegels die schlechte Beschaffenheit des Wassers unverändert über ein Jahr anhielt.

  
Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena — 3437
  

8-20

5-98

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297529