



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Die Städtereinigung**

**Büsing, F. W.**

**Stuttgart, 1897**

VI. Abschn. Menge und Beschaffenheit der Abwasser

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83772](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83772)

## VI. Abschnitt.

### Menge und Beschaffenheit der Abwasser.

#### 1. Kapitel.

#### Allgemeines über Fabrikwasser.

§ 88. Die Aufgabe der Bestimmung der Wassermengen, welche durch eine Kanalisationsanlage innerhalb einer gegebenen Zeit (Zeiteinheit) abgeführt werden müssen, damit die Anlage vollkommen ihrem Zwecke entspricht, ist eine der schwierigsten unter allen Aufgaben, welche dem Ingenieur gestellt werden können, da ihre Lösung das Vorhandensein von mehreren Unterlagen voraussetzt, welche theils gar nicht, theils nur in unzulänglichem Maße beschafft werden können.

Die Abflussmengen setzen sich im allgemeinen aus zwei Teilen zusammen: den häuslichen Brauchwassern und den Meteorwassern, welche auf Straßen, Höfe, Dächer u. s. w. niederfallen. Wenn der betreffende Ort einige Fabrikthätigkeit besitzt, treten die durch dieselbe erzeugten verunreinigten Wasser, die gewerblichen oder Fabrikwasser, und in Badeorten Thermalwasser hinzu.

§ 89. Die Menge der zur Zeit erzeugten Fabrikwasser kann ohne große Mühe annähernd genau festgestellt werden; es bleibt jedoch die Zukunft unbestimmt, weil gewöhnlich nicht vorausgesehen werden kann, ob und welche Aenderungen in der Wassermenge dieselbe etwa bringen wird. Bei den vielen Faktoren, von welchen die Fabrikthätigkeit eines Ortes abhängt, sind die möglichen Aenderungen vielleicht sehr große. Es bleibt daher nur eine auf dem bisherigen Entwicklungsgange fußende Schätzung übrig, bei der die ganze Entwicklungsfähigkeit der Stadt sowohl als der besonderen Arten ihrer industriellen Thätigkeiten in Betracht gezogen werden muß.

Die Fabrikwassermengen sind oft unerwartet groß. Um welche Mengen es sich dabei handeln kann, ersieht sich aus folgenden Angaben:

Es kamen auf 1 Kopf der Stadtbevölkerung in 1 Tag:

		30 l Wasserverbrauch für gewerbliche Zwecke					
in Halle	1889/90	49	"	"	"	"	"
" Zürich	1888	65	"	"	"	"	"
" Elberfeld	1889/90	94	"	"	"	"	"
" Duisburg	1888/89	103	"	"	"	"	"
" Bochum	1888/89		"	"	"	"	"



Für den Plan der Entwässerung der sehr industriereichen Stadt Mülhausen i. E. wurde auf Grund sorgfältiger Einzelermittelungen die Annahme gemacht, daß der Wasserverbrauch für gewerbliche Zwecke das Vierfache des häuslichen Verbrauchs sein werde. Für die Entwässerungsanlage von Aachen hat man neben 100 l häuslichem Wasserverbrauch auf 80 l gewerbliche und Thermalwasser pro Tag und Kopf gerechnet. Da die tägliche Menge des Thermalwassers etwa 777 cbm, d. h. 7,5 l der Bevölkerungszahl von 1895 (103 000) ist, so beträgt die Menge der gewerblichen Wasser mehr als 70 l.

In ein paar großen ausländischen Fabrikstädten wurden als Verbrauch für gewerbliche Zwecke 222 l (Birmingham), 363 l (Glasgow), 406 l (Reims) festgestellt. Schlößing und Durand-Claye veranschlagten für industriereiche Städte den Verbrauch für gewerbliche Zwecke auf 200–300 l pro Kopf und Tag.

Für Städte mit nur mittlerer industrieller Thätigkeit wird man keinen großen Fehlgriff thun, wenn man jenen Verbrauch doppelt so hoch annimmt, als den für häusliche Zwecke.

§ 90. Ein Teil der Fabrikwasser ist so wenig verunreinigt, daß die Einführung derselben in die öffentlichen Wasserläufe unbedenklich geschehen kann. Das ist z. B. gewöhnlich der Fall bei den Kondensations- und Kühlwassern. Wo Reinigungsanlagen für die Abwasser eingerichtet werden müssen, oder wo man sonstiger Gründe wegen die Zumischung dieser Wasser zu dem häuslichen Brauchwasser zu vermeiden Ursache hat, empfiehlt es sich, für die Kondensations- und Kühlwasser gesonderte Leitungen, die zum nächsten Flußlauf, oder einem sonstigen Rezipienten führen, anzulegen.

In Berlin sind (bis Anfang 1895) 166 derartige Leitungen angelegt worden, durch welche jährlich etwa 19,25 Millionen Kubikmeter, oder pro Tag fast 53 000 cbm Wasser von den Rieselfeldern ferngehalten werden. Dies macht ein Weniger von rund 22,5 % der sonst zu bewältigenden Gesamtförderung aus. — Die Frage, ob Aufnahme in die Kanäle oder gesonderte Ableitung, entscheidet sich — genügenden Reinheitszustand des Wassers vorausgesetzt — nach dem Kostenpunkt. Wenn die kapitalisierten Kosten der Förderung (und sonstigen Behandlung des Wassers) sich gleich oder höher herausstellen, als die Kosten des Baues und der dauernden Unterhaltung einer gesonderten Ableitung, wird letztere ausgeführt, im umgekehrten Falle davon abgesehen.

Uebrigens bedürfen die Kondensations- und Kühlwasser, bevor sie sowohl in einen Wasserlauf als in unterirdische Kanäle aufgenommen werden, der Herabsetzung ihrer Temperatur auf eine bestimmte obere Grenze, etwa 30 bis höchstens 40°. Durch hohe Temperatur der Kanalwässer werden Fäulnisvorgänge in denselben beschleunigt, wird das Mikrobenleben gefördert, die Beschaffenheit der Luft in den Kanälen verschlechtert und der Angriff der Kanalwände durch physikalische und chemische Agentien vermehrt. Beim Einlaß höher erwärmter Wasser in offene Gewässer handelt es sich insbesondere um Schädigungen des Fischlebens (vergl. S. 84).

§ 91. Den gewerblichen Wassern können auch die Thermalwasser in Badeorten zugerechnet werden. Mengen und Verteilung derselben auf die Tagesstunden sind bekannt. Durch die Benutzung zum Baden werden die Thermalwasser zu Schmutzwässern, welche in die Kanäle aufgenommen werden müssen. Gewöhnlich geben dieselben bei Berührung mit der Luft einen mehr oder weniger großen Niederschlag aus Kalk. In Oeynhaus (Bad Rehme) beträgt der größte stündliche Abfluß 100 cbm oder 28 l pro Sekunde u. s. w. gegenüber 24 l Hauswasser und 47 l Regenwasser. In Wiesbaden sind an dem Abfluß in regenfreien Tagen die Thermalwasser mit etwa 15 % beteiligt.



§ 92. Der Abfluß der häuslichen Brauchwasser verteilt sich auf die einzelnen Tagesstunden sehr ungleichmäßig; bei den gewerblichen Wassern sind die Schwankungen im Abfluß geringer; daher bietet die Aufnahme derselben in die unterirdischen Kanäle den Vorteil, daß sie ausgleichend auf die Wasserführung in den Kanälen wirkt, was der Profilgestaltung und der Reinhaltung der Wände derselben zu statten kommt.

In Bezug auf die Beschaffenheit der Fabrikwasser findet ein Ausgleich nicht statt, vielmehr öfter eine Verschlechterung der Beschaffenheit der Kanalwässer, da manche Fabrikwasser erheblich stärker verunreinigt sind als häusliche Brauchwasser.

§ 93. Beschaffenheit und spezifische Schädlichkeiten der gewerblichen Abwasser für die Gesundheit und die öffentlichen Wasserläufe können hier nur leicht gestreift werden. Ein näheres Eingehen darauf fällt durchaus in ein Gebiet, auf welchem fast nur der Chemiker eine maßgebende Ansicht hat. Längere Betrachtungen hierzu sind um so mehr ausgeschlossen, als die Fabrikationsprozesse mancherlei Abweichungen aufweisen, durch welche die Beschaffenheit der betreffenden Abwasser wesentlich beeinflusst wird. Wegen eingehenderer Verfolgung dieses Gegenstandes kann u. a. auf folgende litterarische Quellen verwiesen werden: König, Die Verunreinigung der Gewässer u. s. w., Berlin 1887. — Jurisch, Die Verunreinigung der Gewässer, Berlin 1890. — Fischer, Das Wasser u. s. w.; mit besonderer Berücksichtigung der gewerblichen Abwasser, Hannover 1891.

An dieser Stelle handelt es sich auch nur um diejenigen Abwasser, welche aus Betrieben erfolgen, die innerhalb der Städte ihren Sitz haben. Danach scheiden die Abwasser aus Grubenbetrieben, in großem Maßstabe durchgeführten metallurgischen Thätigkeiten und aus den sogen. landwirtschaftlichen Gewerben aus. Was übrig bleibt, sind die Abwasser aus Betrieben, bei denen die Frage der Aufnahme oder Nichtaufnahme in die städtische Entwässerungsanlage auftritt. Dieselbe kann hervorgerufen sein teils dadurch, daß die Zumischung der gewerblichen Abwasser die Abwasser der Stadt noch stärker verunreinigt, oder daß dadurch die Reinigung (bezw. landwirtschaftliche Nutzung) der städtischen Abwasser erschwert wird, oder durch die Vermehrung der Gefahr der Ausbreitung von üblen Gerüchen oder besonderen gesundheitlichen Schädlichkeiten, endlich auch durch Rücksichten auf Erhaltung der Kanalwände, die den Angriffen gewisser Stoffe (Säuren, Ammoniak, Alkalien u. s. w.) nicht ausreichend widerstehen.

§ 94. Während die genauere Feststellung oder Erkenntnis der in den gewöhnlichen städtischen Abwassern enthaltenen verunreinigenden Stoffe gewisse Schwierigkeiten bietet, ist die Bestimmung der Bestandteile gewerblicher Abwasser eine verhältnismäßig einfache Aufgabe, weil die in den Gewerbebetrieben zur Verwendung kommenden Stoffe nach Menge, Anwendungsformen u. s. w. bekannt sind.

Teils handelt es sich um Schwebestoffe mineralischer und organischer Natur, teils um ungelöste Stoffe. Die gelösten mineralischen Stoffe pflegen vorzuwalten, wenngleich auch gewerbliche Abwasser mit hohem Gehalt an organischen Stoffen (in gelöster und ungelöster Form) vorkommen; gewerbliche Wasser dieser Art sind hoch fäulnisfähig. Andere hierher gehörige Wasser führen den Flußläufen Stoffe zu, die ein besonders reiches Wachstum von Algen hervorrufen; noch andere können die Keime gewisser Infektionskrankheiten bergen. Beispielsweise sind die Abfälle aus Zuckerfabriken (bei ihrem Wassergehalt von etwa 70%) stark zur Fäulnis geneigt, enthalten höhere Anteile von organischem Stickstoff und gewisse Mengen von Zucker, der in dem Flußlauf u. s. w., welchem sie zugeführt



werden, das massenhafte Auftreten einer chlorophyllfreien Alge, der *Beggiatoa alba*, erzeugt, die ein Kennzeichen starker Verunreinigung ist. Denn ebenso rasch als die Entwicklung vor sich geht, erfolgt das Absterben der Alge, wobei Schwefelwasserstoff und große Mengen von stark schwefelhaltigem Schlamm gebildet werden. Abfallstoffe aus Schlächtereien, Schlachthöfen, Abdeckereien, ferner aus Fabriken, welche Lumpen, Felle, Tierhaare oder andere Stoffe tierischer Herkunft verarbeiten, beherbergen häufig Infektionskeime verschiedener Art: Milzbrandkeime, bzw. höher organisierte Lebewesen: Eingeweidewürmer und Embryonen dieser Würmer, deren Fortführung mit dem Wasser gefahrbringend für Menschen und Tiere, die zu solchen Gewässern Zutritt haben, werden kann.

§ 95. Abwasser aus Milchwirtschaften sind fäulnisfähig und leicht der Gefahr, daß mit denselben Infektionskeime verbreitet werden, unterworfen.

Abwasser aus Schlachthöfen, die in ihrer Zusammensetzung sehr wechseln, sind stickstoffreich. Vogel fand in 1 l davon 1 g Stickstoff, König in dem Nachspülwasser eines Schlachthauses 48 mg Stickstoff, 297 mg organische Stoffe und einen reichlichen Gehalt an Keimen. Hierher rechnen auch die Abwasser aus Albuminfabriken und Abdeckereien; den letzteren kommt eine ganz besondere Bedenklichkeit zu.

Abwasser aus Gerbereien, Leim- und Lederfabriken sind stickstoffreich. Mit den Abwassern der erstgenannten Fabriken, wird sehr leicht der Milzbrandkeim verbreitet; desgleichen enthalten diese Abwasser größere Mengen von Arsen.

Abwässer aus Wollwäschereien, Walkereien, Wollfabriken, Baumwoll- und Seidespinnereien, Lederreinigungsanstalten sind besonders unrein; sie enthalten große Stickstoffmengen (bis 1,5 g und darüber in 1 l) und reichliche Mengen organischer und mineralischer Stoffe verschiedener Art, sind daher auch stark fäulnisfähig.

Ähnlich wie vorgeartet sind die Abwasser aus Papier- und Pappenfabriken, mit denen auch, aus den verarbeiteten Lumpen und Stroh herrührende, Keime von Infektionskrankheiten verbreitet werden können. Stark mit Schwefelverbindungen verunreinigte und fäulnisfähige Abwasser liefern auch die Holzstofffabriken, welche nach dem Sulfitverfahren arbeiten.

Bei dem Verarbeiten von Knochen in Düngemittelfabriken, desgleichen in Seifenfabriken erfolgen Abwasser mit höheren Anteilen von organischen Stoffen, neben welchen Fette, Kalk u. s. w. vorkommen.

Bierbrauereien, Brennereien, Essigfabriken liefern Abwasser, welche vermöge eines hohen Gehaltes an leicht löslichen Stickstoffverbindungen stark zur Fäulnis neigen und Fäulnispilze der verschiedensten Arten enthalten. Die Bedenklichkeit dieser Wasser wird durch einen reichlichen Zusatz von — reinem — Spülwasser zwar vermindert, doch erzeugen sie, in Flüsse eingelassen, große Mengen einer besonderen Algenart und sehr üble Gerüche.

Kartoffelstärkefabriken liefern Abwasser mit viel Eiweißkörpern, die leicht zerfallen; übrigens sind solche Wasser weniger bedenklich als die Abwasser aus Weizen- und Reisstärkefabriken, die so starke Verunreinigungen enthalten, daß Flüsse, in welche dieselben eingeleitet werden, durch Bildung von üblen Gerüchen, Fäulnis und Schlamm sehr bedeutende Schädigungen erleiden.

Fabriken für Leuchtgasbereitung und solche zur Teerverarbeitung (Paraffinfabriken) erzeugen Ammoniakwasser, welches den Flüssen sehr schädlich ist; gegenwärtig wird das Ammoniakwasser aber fast überall auf schwefelsaures Ammoniak verarbeitet. Das nun noch abfließende Wasser ist ziemlich harmlos. Die Abwasser



der Teerverarbeitung sind öl- und teerhaltig, wodurch sie für die Aufnahme in Kanäle und Wasserläufe bedenklich werden.

Färbereien, Druckereien, Bleichereien, Tapetenfabriken geben durch Beizen und Farbstoffe aller Art, sowie Reste von Farbhölzern stark verunreinigtes Wasser. Gewöhnlich sind diese Wasser auch reich an Stickstoff und enthalten beträchtliche Mengen von Schwebestoffen.

Die Gruppe der sogen. chemischen Fabriken (Soda-, Schwefel-, Salz-, Salpeter-, Oxalsäurefabriken), ferner die Fabriken, welche Chlor und Präparate herstellen, in denen Chlor in großen Mengen enthalten ist, liefern Wasser, welche mehr oder weniger reich an Säuren und andern mineralischen Bestandteilen — größtenteils Gifte — sind.

Aehnlich die Abwässer der chemischen Kleinindustrie, deren es eine größere Reihe giebt. — Bei den nur geringen Mengen begegnet die Ueberführung in harmlose Form aber keinen besonderen Schwierigkeiten.

Verunreinigungen mit Säuren und Metallen der verschiedensten Art enthalten die Abwässer der Metallwarenfabrikation. Beispielsweise werden hier nur angeführt: Drahtzieherei, Verzinkerei, Messinggießerei, Neusilberarbeiten, Geschirremail, Silberbeizen u. s. w.

## 2. Kapitel.

### Häusliche Brauchwasser.

§ 96. Die Menge der häuslichen Brauchwasser, welche in einem bestimmten Zeitraum erzeugt wird, wächst im Verhältnis der Einwohnerzahl des Orts und der Reinwasserzuführung, die auf den Kopf der Bevölkerung entfällt. Bei beiden Faktoren ist aber in der Regel nicht der gegenwärtige Zustand, sondern ein in späterer Zeit zu erreichender, den man als Beharrungszustand ansehen kann, in Betracht zu ziehen.

Das Maximum der Einwohnerzahl einer Stadt ist teils durch den Raum, der für Stadterweiterungen zur Verfügung steht, teils durch die Erreichung des Maximums der Wohndichte bedingt.

Die durch Stadterweiterungen verursachten Aenderungen in den Bevölkerungszahlen sind ausschließlich von örtlichen Verhältnissen abhängig, bieten daher zur Behandlung vom allgemeinen Standpunkte aus keinen Raum. Was in dieser Beziehung zu berücksichtigen ist, wird in jedem einzelnen Falle entweder klar liegen, oder durch einschlagende Untersuchungen zu ermitteln sein. Uebrigens spielt dabei die Oberflächengestalt und die Möglichkeit von Eingemeindungen benachbarter Orte oder Ortsteile eine Rolle. Wenn die Wasserscheide nicht allzufern liegt, so kann es, in Rücksicht auf die Möglichkeit späterer Eingemeindungen, geboten sein, bei einem Entwässerungsprojekt von vornherein das ganze Gebiet bis zur Wasserscheide in Betracht zu ziehen.

Anders liegt es mit dem Anwachsen der Stadtbevölkerung infolge natürlicher Vermehrung und Zuzugs von außerhalb. Hierzu hat die Statistik die notwendigen Unterlagen zu liefern. Ist  $E$  die gegenwärtige Bevölkerungszahl eines Orts, so wird bei der gleichmäßigen jährlichen Zunahme  $p$  aufs Hundert nach  $n$  Jahren die Bevölkerungszahl sein:



$$E_n = E \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^n$$

Für diesen Ausdruck ist der Summand  $\frac{p}{100}$  aus der Ortsstatistik selbst zu entnehmen, da von andern Orten entlehnte Annahmen wenig gebrauchsfähig sind. Unter diesem Vorbehalt sei (mit Bezugnahme auf die bereits S. 26 ff. gemachten Angaben) mitgeteilt, dass 2—3% jährliche Bevölkerungszunahmen in Städten häufig beobachtet werden, daneben aber ebensowohl größere als geringere.

Weist die Ortsstatistik stärkere Ungleichmäßigkeiten in der Bevölkerungsbewegung nach, so ist mit einem Durchschnittswert von  $\frac{p}{100}$  zu rechnen. Gute Dienste leistet bei derartigen Untersuchungen das graphische Verfahren, indem man die Jahreszahlen als Abscissen und die zugehörigen Bevölkerungszahlen als Ordinaten aufträgt. Die so erhaltene Kurve, welche an einem entsprechend weit zurückliegenden Punkte beginnt und nach Maßgabe der Form dieses Anfangsteils bis zu einem um eine längere Jahresreihe voraus liegenden Zeitpunkt weiter zu führen ist, gewährt — event. in ausgeglichenem Zustande — ein anschauliches Bild von der Bevölkerungszahl, mit welcher für einen bestimmten späteren Zeitpunkt gerechnet werden muß.

Schon an früherer Stelle (S. 24) ist hervorgehoben worden, daß in Deutschland sich in den letzten 25 Jahren allgemein eine starke Verschiebung der Bevölkerung vom Lande in die Städte vollzieht. Weiter ergibt die Statistik für gewisse Kategorien von Städten ein außergewöhnlich starkes Anwachsen, für andere ein weniger starkes.

Sowohl bei den eigentlichen Großstädten (über 100 000 Einwohner) als bei den kleinen Landstädten (bis etwa 2000 Einwohner hinauf) ist das Wachstum merklich geringer, als bei den Städten mittlerer Größe; bei den großen Städten verlangsamt es sich mit zunehmender Größe mehr und mehr. Es liegen Versuche vor, diese Verlangsamung in ein bestimmtes Gesetz zu bringen. Doch wird man bei der Unsicherheit über viele Faktoren, die hier mitsprechen, derartigen Gesetzen nur eine ziemlich geringe Bedeutung beimessen können.

Eingeschlossen die Ergebnisse der preußischen Volkszählung vom 2. Dezember 1895 stellte sich in Preußen in den letzten 24 Jahren die Bevölkerungsbewegung in den Städten (abgesehen von Berlin) wie folgt:

Zähltag	Zahl der Städte	Zunahme auf 100	Zahl der Städte	Zunahme auf 100
	1. Städte von 100 000 Ein- wohnern und mehr		2. Städte von 50 000 bis 100 000 Einwohnern	
1. Dezember 1871 . . .	3	—	14	—
" " 1875 . . .	5	57,32	14	1,87
" " 1880 . . .	6	31,11	17	21,43
" " 1885 . . .	11	68,86	14	— 22,35
" " 1890 . . .	15	53,42	12	— 14,93
2. " 1895 . . .	17	23,09	15	23,53

\*) Kuichling, On the proposed Trunk Sewer for the East Side of the City of Rochester N.Y. Rochester 1889. Danach: Frühling im Civ.-Ingenieur, Bd. 39, Jahrg. 1893.



Zähltag	Zahl der Städte	Zunahme auf 100	Zahl der Städte	Zunahme auf 100
	3. Städte von 20 000 bis 50 000 Einwohnern		4. Städte von 10 000 bis 20 000 Einwohnern	
1. Dezember 1871 . . .	31	—	88	—
" " 1875 . . .	37	23,77	101	13,57
" " 1880 . . .	45	15,88	107	7,18
" " 1885 . . .	56	24,48	114	4,87
" " 1890 . . .	64	20,35	113	0,70
2. " 1895 . . .	73	14,03	118	3,93

Die Abnahme der Bevölkerung, welche nach den Tabellen in ein paar Fällen stattgefunden hat, wie auch die starke Verminderung der Zunahme bei anderen Städten, erklärt sich, wie hinzugefügt werden muß, aus dem Aufrücken der Städte aus den Kategorien mit kleinerer Bevölkerungszahl in solche der Kategorien mit höheren Zahlen. Die dadurch entstehende Unklarheit des statistischen Bildes wird durch folgende weitere Tabelle beseitigt.

Vorhandene Größenklassen der Gemeindeeinheiten	Jahr 1890	Jahr 1895	Zunahme der Bevölkerung auf 1000 Einwohner in dem Zeitraum	
			1885—1890	1890—1895
1. Städte.				
Mit mehr als 100 000 Einwohnern . .	1	1	27,26	12,2
" 100 000—500 000 " . .	15	17	29,25	26,2
" 50 000—100 000 " . .	12	15	35,76	25,4
" 40 000— 50 000 " . .	8	14	29,66	27,4
" 30 000— 40 000 " . .	16	15	27,37	23,8
" 20 000— 30 000 " . .	40	44	17,69	22,1
" 10 000— 20 000 " . .	113	118	20,62	17,5
" 5 000— 10 000 " . .	206	209	11,19	11,7
" 2 000— 5 000 " . .	507	516	3,89	6,8
unter 2 000 " . .	345	317	— 1,05	0,9
2. Landgemeinden und Gutsbezirke.				
Mit über 40 000 Einwohnern . . . .	—	3	—	110,8
" 30 000—40 000 Einwohnern . . .	2	1	68,87	39,3
" 20 000—30 000 " . . .	4	4	68,22	46,2
" 10 000—20 000 " . . .	31	44	48,87	48,1
" 5 000—10 000 " . . .	111	140	30,26	32,0
" 2 000— 5 000 " . . .	647	700	18,85	18,0

Die in der letzten Tabelle durchgeführte Einteilung in „Städte“ und „Landgemeinden“ ist eine bloße Aeufferlichkeit, die für unsre Zwecke keinerlei Bedeutung hat. Wenn durch diese Einteilung ein viel rascheres Anwachsen der Bevölkerung der größten und großen „Landgemeinden“ als der der „Städte“ ersichtlich gemacht wird, so ist dazu zu bemerken, daß dasselbe wesentlich den Vororten größerer



Städte — namentlich Berlins — zukommt, wo in den letzten 25 Jahren dauernd eine Zunahme von 100—120 aufs Tausend für 1 Jahr, also von 500—600 in einem Zeitraum von 5 Jahren sich ergeben hat. Diese Ausnahme gemacht, bestätigen die Tabellen die obige Anführung, daß die Städte mittlerer Größe am stärksten wachsen; man kann nach der Tabelle in diese Gattung Orte von 10000 Einwohner bis hinauf zu ein paar Hunderttausend rechnen.

Bei den größten Städten verlangsamt sich die Zunahme auf 2% und weniger; Berlin hat beispielsweise in dem letzten 5jährigen Zeitraum 1890—1895 nur eine durchschnittliche Bevölkerungszunahme von 1,6% erfahren, gegen 6—12% der Vororte in seiner näheren sowohl als weiteren Umgebung.

So große Unterschiede zwischen unmittelbar benachbarten Orten sind geeignet, den Wert der Benutzung von „Durchschnittszahlen“ bei der Berechnung von Brauchwassermengen sehr herabzusetzen; sie fordern vielmehr zu sehr sorgfältigen Untersuchungen über die im Bereich der Wahrscheinlichkeit liegende Bevölkerungsbewegung einer Stadt heraus und lehren, wie sehr bei Kanalisationsplänen Zukunftsentwicklungen in Rechnung gezogen werden müssen, wenn man nicht Gefahr laufen will, Werke zu schaffen, die schon nach Ablauf einer kurzen Reihe von Jahren sich als unzureichend erweisen. An einer späteren Stelle wird auf das Maß der Berücksichtigung der Zukunft noch etwas näher einzugehen sein.

§ 97. Die Verteilung der Bewohnerschaft über das Stadtgebiet, d. h. die auf die Flächeneinheit (1 ha) entfallende Anzahl von Einwohnern, wird als Bewohnungs- oder Wohndichte bezeichnet. Für den „gegenwärtigen Zeitpunkt“ sind die, die Wohndichten im ganzen und in einzelnen Teilen des Stadtgebietes darstellenden Zahlen immer zur Hand; es bestehen aber meist Ungewißheiten über Aenderungen, welche die Zukunft hierin etwa bringen wird.

Man beobachtet, daß je größer die Einwohnerzahl einer Stadt wird, um so mehr die Wohndichte wächst, bis darin eine gewisse Grenze erreicht ist, die indes für fast jede Stadt anders liegt. Die Erfahrung lehrt ferner, daß je mehr eine Stadt an Einwohnerzahl wächst, um so mehr Sonderungen in Bezug auf die Wohnstätten der einzelnen Bevölkerungsklassen sich zu vollziehen pflegen. In einzelnen Straßenzügen oder ganzen Stadtteilen sammelt sich das geschäftliche, das Handelsleben, in andern die gewerbliche Thätigkeit, in noch andern die Arbeiterschaft, während noch sonstige Stadtteile vorwiegend als Wohnstätten der mittleren und oberen Klassen aufgesucht werden. Die Sammlung des geschäftlichen Lebens, welche in der Regel um den sogen. Stadtkern stattfindet (und mitunter als „Citybildung“ bezeichnet wird), kann so weit gehen, daß dieser Stadtteil nur noch während der Geschäftsstunden als bewohnt gelten muß, da er nachts nur diejenige geringe Bewohnerzahl beherbergt, welche ihren eigentlichen Wohnsitz fernab — vielleicht außerhalb der Stadtgrenzen — genommen hat. Durch die hier berührten Vorgänge können sich im Laufe einer nicht langen Reihe von Jahren wesentliche Verschiebungen in der Stadtbewohnerschaft vollziehen, einzelne Stadtteile bis zu einem gewissen Maße herab entvölkert, andre viel dichter als zur Zeit bevölkert werden.

Eine obere Grenze der Bevölkerungsdichte ist in der Regel durch Baupolizeiornungen gezogen, oder kann durch solche gezogen werden. In den dichtbevölkertsten Teilen von ein paar Großstädten (Berlin, Hamburg, Königsberg u. s. w.) kommen heute Bevölkerungszahlen von 1000 Bewohnern und noch etwas darüber auf 1 ha vor; man kann dieselbe als obere, kaum noch zu überschreitende Grenze ansehen. Die durchschnittliche Bewohnerzahl solcher Städte ist vielleicht nur  $\frac{1}{3}$  oder  $\frac{1}{4}$  davon oder noch weniger.



§ 98. Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, daß es notwendig ist, für gewisse Teile eines Stadt-(Entwässerungs-)gebiets mit Bevölkerungszahlen, die bis zum Vierfachen der heutigen gehen, zu rechnen (vergl. hierzu die für eine Anzahl von Städten auf S. 27 gemachten Zahlenangaben).

Was Durchschnittszahlen über die Wohndichte in Städten oder städtisch gearteten Orten betrifft, so kann man rechnen, daß da, wo das kleine Einfamilienhaus die Regel bildet, etwa 40—50 Bewohner auf 1 ha Stadtgebiet wohnen. Mischen sich unter die Einfamilienhäuser kleine Miethäuser mit zwei Wohngeschossen, teilweise auch drei, so erreicht die Wohndichte 50—80 Köpfe und wenn die Einfamilienhäuser durch kleine Miethäuser ganz oder beinahe verdrängt werden, 80 bis 100—120 Köpfe. Letztere Zahl gilt für Flecken und Landstädte mit bis etwa 15000 Einwohnern. Je mehr die „geschlossene“ Bauweise vorherrscht, um so mehr nähert sich die Wohndichte der oberen Grenze. In etwas größeren Städten bis Mittelgröße (50000 Einwohner), wohnen 120—180 Einwohner auf 1 ha, in den größeren Städten bis 100000 Einwohner 180—240; Großstädte haben 240—300 Bewohner auf 1 ha.

Die vorangegebenen Zahlen sind als Durchschnittsangaben für den ganzen in Bebauung getretenen und dazu vorbereiteten, wenn auch noch nicht voll bebauten Teil des Stadtgebiets, einschließlich öffentlicher Parks, Wasserflächen u. s. w., aufzufassen.

§ 99. Indem die Kosten einer unterirdischen Entwässerungsanlage zum größten Teil im Verhältnis der Straßenlänge, d. h. der Größe des Stadtgebietes wachsen, folgt, daß die Kosten um so größer werden, je geringer die Wohndichte ist, und umgekehrt.

Erfahrungsmäßig treten daher Städte an die Schaffung einer Entwässerungsanlage gewöhnlich auch erst heran, wenn ihre Wohndichte einen gewissen Grad erreicht hat. Man kann in dem hier fraglichen Sinne vielleicht 100 Köpfe pro Hektar als eine untere Grenze bezeichnen. Da indessen in diese Frage noch viele andre Momente hineinspielen, so kommt dieser Zahl keineswegs die Bedeutung einer Regel zu.

§ 100. Die Mengen der häuslichen Brauchwasser bilden einen gewissen Teil der Reinwassermenge, welche der Stadt von außen zugeführt, oder in der Stadt selbst gewonnen wird. Für den gegenwärtigen Zeitpunkt ist diese Menge bekannt, nicht jedoch für einen späteren Zeitpunkt, da an derselben bedeutende Aenderungen eintreten können, nicht nur durch Vermehrung der Einwohnerzahl, sondern auch in Bezug auf den Reinwasserverbrauch pro Tag und Kopf.

Man hat in zahlreichen Fällen beobachtet, daß gewisse Aenderungen in der Bezugsweise des Wassers den Verbrauch desselben beeinflussen. Erfährt der Wasserpreis eine Ermäßigung, oder wird an Stelle des bisher bestandenen Modus der direkten Bezahlung derjenige einer mehr oder weniger indirekten eingeführt, so vermehrt sich der Wasserverbrauch, während in den umgekehrten Fällen eine Verminderung desselben eintritt. Die Einführung von Wassermessern und Bezahlung nach Angabe derselben hat in mehreren Fällen eine Herabminderung des Wasserverbrauchs auf die Hälfte und noch darüber hervorgebracht, vielfach Verminderungen um  $\frac{1}{3}$  oder ähnliche. Eine Stadt kann sich nun ebensowohl unter dem Drucke der Gefahr, daß dauernd nur eine beschränkte Wassermenge zur Verfügung bleibt, als im bloß fiskalischen Interesse, und auch im Interesse der gerechteren Verteilung der Kosten veranlaßt sehen, von einem anfänglich eingehaltenen System der mehr freigebigen Lieferung des Wassers später zu einem andern der Einschränkung und



vollständigen Bezahlung der von den Einwohnern bezogenen Wassermengen überzugehen. Jede Aenderung dieser oder jener Art wird in der Menge des abfließenden häuslichen Brauchwassers mehr oder weniger deutlich zum Ausdruck kommen. Handelt es sich aber um eine Beschränkung der Wasserzufuhr aus einer allgemeinen Versorgung, so ist freilich die Stadtbewohnerschaft meist in der Lage, durch vermehrte Inanspruchnahme von Einzelbrunnen, oder Entnahme von Wasser aus öffentlichen Gewässern für die Minderzufuhr Ersatz zu schaffen.

Steht die Bewohnerzahl des zu entwässernden Gebietes fest, bzw. ist dieselbe für einen späteren Zeitpunkt angenommen worden, so muß die derselben zugeführte, bzw. zuzuführende Reinwassermenge ermittelt werden. Ist  $M$  die auf 1 Jahr und Kopf entfallende Reinwassermenge, so bezeichnet  $q = \frac{M}{365}$  den durchschnittlichen

Verbrauch pro Kopf und Tag. Bei dem Werte  $q$  kommen aber zeitlich große Abweichungen vor; er kann in der warmen Jahreszeit sowohl auf das Doppelte steigen, als bis auf die Hälfte herabgehen. Selbst diese Grenzen sind noch überschreitbar; in der Regel liegen aber die Aenderungen in den Grenzen  $1,5 q$  und  $0,75 q$ . Der geringere Verbrauch fällt in die Winter-, der höhere in die Sommermonate. Außer Wechseln im Verbrauch eines Tages finden auch Wechsel in den einzelnen Tagesstunden statt. In den Nachtstunden sinkt der Verbrauch auf einen Kleinstwert herab, während er in den eigentlichen Tagesstunden — in der Regel kurz nach Mittag — auf einen Größtwerth steigt. Der durchschnittliche Stundenverbrauch pro Kopf ist  $\frac{q}{24} = 0,041 q$ ; in den Nachtstunden kann der Verbrauch auf  $0,01 q$ , oder noch weniger herabgehen, in den Tagesstunden auf  $0,67 q$  und darüber steigen.

Für die Querschnittsbemessung der unterirdischen Leitungen kommt es nur auf den größten (sekundlichen) Abfluß an. Um dafür einen handlichen Ausdruck zu erhalten, wird der Wert  $q = \frac{M}{365} = 1$  gesetzt und angenommen, daß am Tage des höchsten Verbrauchs der Bedarf  $= 1,2 q$  bis  $1,6 q$  ist. Weiter wird angenommen, daß auch in der Stunde des größten Verbrauchs der Bedarf sich im Verhältnis von  $\frac{1,2}{1}$  bis  $\frac{1,6}{1}$  vergrößert. Danach findet man das Maximum des Stundenverbrauchs pro Kopf zwischen den Grenzen  $\frac{(1,2 - 1,6)}{24} q$   $= \frac{1}{18} q$  bis  $\frac{1}{9,4} q$  liegend.

Wenn, wie es ebenfalls geschieht, man annimmt, daß die Menge  $\frac{q}{2}$  in 4 bis 9 Stunden verbraucht wird, gelangt man zu den Grenzzahlen  $\frac{1}{18}$  und  $\frac{1}{8}$ .

Bei  $q = 100$  l würde das Stundenmaximum nach der erstangegebenen Berechnungsweise 5,5 bzw. 10,6 l, nach der letztangegebenen 5,5 bzw. 12,5 l sein gegen durchschnittlich 4,1 l.

Auf etwa dieselben Werte wie vor kommt die ebenfalls häufig gemachte Annahme hinaus, daß auf die 3 Stunden des höchsten Verbrauchs insgesamt 20% vom höchsten Tagesverbrauch entfallen.

Welchem der zahlenmäßigen Grenzwerte  $\frac{1}{18}$  und  $\frac{1}{8}$  man in einem gegebenen Falle sich zu nähern hat, hängt zum Teil von dem Werte  $q$  selbst ab. Es ist wahrscheinlich, daß der Größtwerth des Stundenverbrauchs mit der Größe von  $q$



wächst, weil eine reichliche Versorgung mit Reinwasser notwendig zu reichlichem Verbrauch, oder doch zur Vermeidung von Einschränkungen führt. Wo also reichliche Versorgung besteht, wird man sich mehr dem Werte  $\frac{q}{8}$ , wo geringe besteht, mehr dem Werte  $\frac{q}{18}$  zu nähern haben.

Obwohl von dem zugeführten Reinwasser nur ein Teil als unreines Brauchwasser aus den Häusern wieder abfließt, da durch Verspritzung, Verdunstung u. s. w. gewisse Wassermengen verloren gehen, ist es doch nicht üblich, Abzüge zu machen; vielmehr wird mit dem vollen Betrage des Stundenmaximums gerechnet. Diese Vorsicht ist begründet, weil es möglich ist, daß mit dem Abfluß der größten Brauchwassermenge der aus einem Regenfall von größerer Heftigkeit erfolgende Abfluß zusammentrifft. Noch häufiger kann es vorkommen, daß während des größten Abflusses des Brauchwassers künstliche Spülung der Kanäle im Gange ist, bei welcher die letzteren einen mehr oder weniger erhöhten Wasserstand in einzelnen Bezirken haben werden.

Für Trinken, Kochen, Hausreinigung und Wäsche genügen 30—45 l Wasser pro Tag und Kopf; zur einmaligen Abortspülung werden durchschnittlich kaum mehr als 5—6 l verbraucht. Es sind daher kaum mehr als 30—60 l pro Tag und Kopf, welche den unterirdischen Kanälen zugeführt werden. Der Mehrverbrauch (s. Angaben weiterhin) betrifft, abgesehen von den zur Kanalspülung etwa verwendeten Wassermengen, Zwecke, die auf den Abfluß in unterirdischen Kanälen einflußlos sind.

Die auf 1 Einwohner oben ermittelte stündliche Menge des häuslichen Brauchwassers kann leicht auf die sekundliche Menge pro 1 ha zurückgeführt werden. Ist  $E$  die Bewohnerzahl von 1 ha des Stadtgebiets und  $V$  die aus diesem Gebiete zu erwartende Abflußmenge, so hat man:

$$V = \frac{1}{\frac{24}{18}} \left\{ \frac{E q}{60,60} \right\} \text{ (Liter).}$$

Wäre z. B.  $E = 500$  und  $q = 100$ , so würde folgen:

$$V = 1,48 \text{ l, bzw. } 0,77 \text{ l.}$$

Der Tagesdurchschnitt  $q$ , welcher auf 1 Kopf der Bevölkerung entfällt, wird von sehr zahlreichen Faktoren beeinflusst, auf welche hier nicht einzugehen ist. Er ist nicht nur in Städten gleicher oder ungleicher Größe, gleichen oder verwandten Charakters verschieden, sondern wechselt auch innerhalb derselben Stadt in weit auseinander liegenden Grenzen. Im letzteren Falle handelt es sich besonders um die Ungleichheit der Ansprüche des sogen. Komforts. In den Bezirken mit wohlhabender Bevölkerung kann der Wasserbrauch pro Tag und Kopf das Zehnfache und selbst Zwanzigfache desjenigen in Bezirken mit ärmlicher Bevölkerung erreichen; in ersteren mögen 150 oder 200 l Verbrauch als nichts Ueberflüssiges enthaltend betrachtet werden, während in letzteren die Bewohner mit 10—15 l ihre Bedürfnisse zu befriedigen wissen.

In Amerika erreicht der Wert  $q$  zuweilen 300, vereinzelt selbst 400 l und sinkt selten unter 150 l. In englischen Städten ist derselbe weniger hoch, bewegt sich aber meist zwischen 120 und 200 l; vielfach ist es dort üblich, als Rechnungsannahme bei Stadtkanalisationen 28 Gallonen = 127 l zu Grunde zu legen; es werden aber auch bis 40 Gallonen = 182 l gerechnet. In Deutsch-



land werden bei guten Versorgungen 100—150 l Wasser pro Kopf und Tag zugeführt; gewöhnlich hält sich die Menge nahe der unteren Grenze und sinkt nicht selten auch unter dieselbe, auf 90, 80, 70 l hinab. In der Regel besteht auch in Städten mit allgemeiner (zentralisierter) Versorgung eine Anzahl von Hausbrunnen; oder die Stadt wird von einem offenen Gewässer berührt. In solchen Fällen findet, selbst wenn Verbote erlassen sind, ein Teil des Wasserbedarfs aus diesen Quellen seine Deckung. Besonders pflegen dieselben für gewerbliche Zwecke in Anspruch genommen zu werden, wenn der Wasserpreis hoch ist. Diese Tatsache darf nicht übersehen werden, wenn die allgemeine Versorgung keine reichliche ist. Es ist deshalb ein Gebot der einfachen Vorsicht, in den Annahmen über den Reinwasserverbrauch nicht engherzig zu Werke zu gehen, vielmehr in jedem Falle reichliche, event. über die Leistung der allgemeinen Versorgung hinausgehende Annahmen zu machen.

In einer Anzahl von deutschen Städten sind über die Brauchwassermengen u. s. w. die in nachstehender Zusammenstellung enthaltenen Angaben zu Grunde gelegt worden.

Stadt bezw. Stadtteil	Angenommene Bevölkerung pro ha	Durchschn. Wasserverbrauch $q$ pro Tag und Kopf l	Angenommener stündlicher Maximalabfluß	Brauchwasserabfluß von 1 ha in 1 Sek. l
Berlin:				
Geschlossene Bebauung . . . . .	800	127	$\frac{1}{18} q$	1,54
Offene Bebauung . . . . .	400	127	$\frac{1}{18}$	0,77
Danzig:				
Alt- und Rechtsstadt . . . . .	530	90	$\frac{1}{16}$	0,83
Niederstadt . . . . .	360	90	$\frac{1}{16}$	0,56
Düsseldorf:				
Altstadt . . . . .	1000	127	$\frac{1}{18}$	1,94
Uebrigte Stadtteile . . . . .	400	127	$\frac{1}{18}$	0,79
Mannheim:				
Innere Stadt . . . . .	400	160	$\frac{1}{18}$	1,0
Neckarvorstadt . . . . .	270	100	$\frac{1}{18}$	0,42
Wiesbaden:				
Dicht bebaute Stadtteile . . . . .	400	100	$\frac{1}{18}$	0,65
Weitläufig bebaute Stadtteile . . . . .	250	100	$\frac{1}{18}$	0,40
Landhausbezirke . . . . .	75	100	$\frac{1}{18}$	0,15
Frankfurt a. M. . . . .	200	150	$\frac{1}{12}$	0,70
Hamburg, Vororte . . . . .	250	140	$\frac{1}{18}$	0,54
Königsberg i. Pr. . . . .	550—600	150	$\frac{1}{16}$	1,50
Karlsruhe . . . . .	400	150	$\frac{1}{8}$	2,10
Nürnberg . . . . .	540	90	$\frac{1}{16}$	0,85
Witten a. d. Ruhr . . . . .	300	120	$\frac{1}{12}$	0,83
Braunschweig (Proj.) . . . . .	125—320	112,5	$\frac{1}{18}$	1,41—1,80
Mülhausen i. E. . . . .	100—500	100	$\frac{1}{18}$	77,0—51,0

§ 101. Die Beschaffenheit der häuslichen Brauchwasser ist bis zu einem gewissen Grade von der Menge der denselben zugeführten menschlichen Absonderungen abhängig; zu einem andern Teile wirkt dabei die Beschaffenheit der Küchenwasser und sonstigen, aus den Haushaltungen erfolgenden flüssigen Abgänge



mit. Nur die Menge sowie Beschaffenheit der menschlichen Absonderungen sind annähernd genau bekannt, während wir in Bezug auf die Menge der Küchenwasser nur wenig unterrichtet, in Bezug auf ihre Beschaffenheit ganz ununterrichtet sind, weil es bei ihnen, vermöge besonders großer Wechsel nicht möglich ist, Durchschnittswerte zu ziehen, sofern denselben etwa eine typische Bedeutung beigelegt werden soll.

§ 102. Die Mengen der menschlichen Absonderungen wechseln nach Alter und Geschlecht in ziemlich weit auseinander liegenden Grenzen. Dies gilt mit Bezug auf die „festen“ Absonderungen sowohl als mit Bezug auf die „flüssigen“. Beim weiblichen Geschlecht sind die festen Absonderungen erheblich geringer als beim männlichen; sie scheinen höchstens 33 % der des männlichen Geschlechts zu betragen. Bei den flüssigen Absonderungen ist der Unterschied weniger groß, da es sich hierbei um den Satz von 80—90 % handelt. Indessen herrscht in den betreffenden Angaben verschiedener Autoren nicht allzuviel Uebereinstimmung, wie nachstehende Zusammenstellung ergibt\*):

Geschlecht	Es werden pro Jahr abgesondert (in Kilogramm)								
	nach Wolf u. Lehmann			nach Lawes u. Gilbert			nach Camerer		
	fest	flüssig	zusamm.	fest	flüssig	zusamm.	fest	flüssig	zusamm.
Männer . . .	54,5	547,5	602,0	69,1	—	—	—	—	—
Frauen . . .	16,1	492,6	508,7	16,5	—	—	—	—	—
Knaben . . .	39,8	207,7	247,5	39,7	—	—	43,5	341,5	385,0
Mädchen . . .	8,8	164,2	173,0	—	—	—	29,5	309,3	338,8

Die vergleichsweise hohen Zahlen Camerers beziehen sich auf Kinder im Alter bis zum 14. Jahre. Sie sind aus relativ beschränkten Beobachtungen gewonnen, wonach es sich fragen kann, ob sie den Zahlen der beiden andern mitgeteilten Reihen gleichwertig sind. Trennt man aber in den Camererschen Beobachtungen nach Lebensaltern, so erhält man folgende Zahlen für die jährlichen Absonderungen:

Bis zum 5. Lebensjahre		
Für Mädchen . . .	25,6 kg feste,	231,6 kg flüssige
Für Knaben . . .	—	—
Vom 5. bis zum 14. Lebensjahre		
Für Mädchen . . .	29,2 kg feste,	338,3 kg flüssige
Für Knaben . . .	43,5 „ „	341,5 „ „

Da durch diese Trennung zwar eine gewisse, aber noch keine befriedigende Uebereinstimmung in den verschiedenen Angaben erzielt wird, muß geschlossen werden, daß die Absonderungsmengen mit verschiedenen Faktoren beträchtlich schwanken und zutreffende Zahlen dafür nur aus zeitlich und örtlich sehr weit ausgedehnten Ermittlungen gewonnen werden können, deren Durchführung aber große Schwierigkeiten bietet. Vogel (a. a. O.) führt an, daß die täglichen Harnmengen Erwachsener zwischen 600 und 2800 g (und noch mehr) betragen können. Freilich gelangen solche Unterschiede in „großen Zahlen“, die sich über eine ganze Stadtbevölkerung und Jahr erstrecken, zu einem hinreichenden Ausgleich; immerhin verbleiben Unsicherheiten von einer gewissen Größe bestehen, über die man niemals hin-

\*) Vergl. Vogel, Die Verwertung der städtischen Abfallstoffe. Berlin 1896.



weg kommen wird. Wie weit etwa der Ausgleich geht, lehrt die folgende Zusammenstellung über Jahresmengen der Absonderungen, die von einer größeren Anzahl von Autoren, welche, wie anzunehmen, unabhängig voneinander arbeiteten, ermittelt worden sind.

	Jahressummen der Absonderungen in Kilogramm		
	festе	flüssige	zusammen
Nach Heiden und A. Müller . .	48,50	438,0	486,5
„ E. Wolff . . . . .	48,15	422,0	470,15
„ v. Pettenkofer und Gärtner . .	34,0	428,0	462,0
„ Wolf und Lehmann . . . . .	32,9	428,2	461,1
„ Frankland . . . . .	33,0	427,0	460,0
„ Parkes . . . . .	27,4	438,0	465,4
Durchschnitt . .	37,33	430,2	467,53

Während in den Angaben über die Menge der flüssigen Absonderungen eine sehr nahe Uebereinstimmung stattfindet, weichen diejenigen in Bezug auf die Menge der festen Absonderungen sehr weit voneinander ab. Die Abweichung ist so groß, daß es sich verbietet, hier einen Durchschnittssatz anzunehmen. Die niedrigen Zahlen rühren von Hygienikern, die höheren von Agrikulturchemikern her. Es mag dahin gestellt bleiben, welchen unter den Angaben die größere Wahrscheinlichkeit zukommt. Vogel (a. a. O.) mißt diese aus mehreren Gründen den Angaben der Agrikulturchemiker bei und rechnet durchgehends mit den Werten 48,5 kg für die festen und 438,0 kg für die flüssigen Absonderungen. Verfasser glaubt sich in dem Folgenden diesem Vorgehen anschließen zu sollen, ohne damit den niedrigeren Angaben gegenüber einen Zweifel auszudrücken.

Sowohl in gesundheitlichem als technischem Sinne kommt den flüssigen Absonderungen die größere Bedeutung zu. In gesundheitlichem insofern, als der Harn, vermöge alsbaldiger Bildung von Ammoniak aus dem Harnstoff und der Harnsäure, rasch in den Zustand der Fäulnis übergeht, und als er ferner geeignet ist, die in ihm enthaltenen Schädlichkeiten rascher und weiter auszubreiten als die festen Absonderungen, letzteres nicht nur wegen der Form, sondern auch wegen seines größeren Volumens und auch noch aus sonstigen Gründen. Der hauptsächlichste Bestandteil der Absonderungen dem Volumen nach ist Wasser; der Trockengehalt tritt dagegen stark zurück. Die Zusammensetzung, nach diesen beiden Bestandteilen ermittelt, ist folgende:

	Feste Absonderungen	Flüssige
Wasser . . . . .	77,2 %	95,5 %
Trockengehalt . . . . .	22,8 „	4,5 „

Bei dem angenommenen Mengenverhältnis der beiden Formen enthält die Mischung: Wasser 93,3 %, Trockengehalt 6,3 %.

Das spezifische Gewicht der festen Absonderungen ist 1,067, das der flüssigen 1,024; es berechnet sich daraus das spezifische Gewicht des Gemisches zu 1,030.

Von gesundheitlicher sowohl als landwirtschaftlicher Bedeutung sind folgende Bestandteile der Absonderungen: organische und mineralische Stoffe (Asche), Stickstoff, Phosphorsäure, Kali, kohlensaurer Kalk, Chlorverbindungen, neben denen eine große Reihe anderer für unsre Zweck interesseloser darin enthalten ist.



Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenstellung über den Gehalt der Absonderungen an den genannten Stoffen, bezogen auf 1 Person pro Tag und pro Jahr:

		Mengen für					
		1 Tag			1 Jahr		
		fest	flüssig	zusammen	fest	flüssig	zusammen
In frischem Zustande	{ 1	0,125	1,168	1,293	45,4	426,4	471,8
	kg	0,133	1,200	1,333	48,5	438,0	486,5
Davon sind:		g	g	g	kg	kg	kg
Wasser . . . . .		102,7	1146,0	1248,7	37,4	418,3	455,7
Trockengehalt . . . . .		30,3	54,0	84,3	11,1	19,7	30,8
Hierin sind enthalten:							
Organische Stoffe . . . . .		26,1	39,6	65,7	9,50	14,50	24,00
Mineralische Stoffe (Asche) .		4,2	14,4	18,6	1,50	5,30	6,80
Und darin:							
Stickstoff . . . . .		1,7	9,6	11,3	0,62	3,50	4,12
Phosphorsäure . . . . .		1,5	1,9	3,4	0,55	0,69	1,24
Kali . . . . .		0,5	2,3	2,8	0,18	0,84	1,02
Kohlensaurer Kalk . . . . .		0,8	0,2	1,0	0,29	0,08	0,37
Kochsalz . . . . .		—	9,8	9,8	—	3,58	3,58 *)

Die Zahlen der Tabelle sind Durchschnittswerte, von denen wesentliche Abweichungen vorkommen können. Dies zu beachten, ist insbesondere bei dem Stickstoffanteil von Wichtigkeit, der als Hauptkennzeichen (Maßstab) der Verunreinigung von Abwassern mit menschlichen Absonderungen gilt. Nach Fischer (a. a. O. S. 56) kann in den täglichen festen Absonderungen einer Person je nach der Art der aufgenommenen Nahrung die Stickstoffmenge von 0,6—4,3 g schwanken. Ernährung mit Brot und Hülsenfrüchten erhöht den Stickstoffanteil am meisten; Gemüse-nahrung wirkt stark abmindernd. Der Stickstoffgehalt des Harns schwankt in engeren Grenzen als der der festen Absonderungen. Ersterer ist aber der Gesamtmenge nach weit überwiegend, da nach der Tabelle folgendes Verhältnis besteht:

$$\frac{\text{Stickstoffmenge im Harn}}{\text{Stickstoffmenge in den Fäces}} = \frac{3,50}{0,62} = 5,64.$$

Anderweitig werden in der Litteratur für dieses Verhältnis bis zum Anderthalbfachen höhere Zahlen angetroffen. Wie der Stickstoff des Harns, so erleidet auch derjenige in den festen Absonderungen bald Umbildungen, teils zu Ammoniak, teils zu andern Formen: freiem Stickstoff und flüchtigen Stickstoffverbindungen. Aus solchen Umbildungen ergeben sich Verluste und wird deshalb der Stickstoffanteil in nicht frischen Absonderungen immer geringer sein, als der in der obigen Tabelle nachgewiesene. Wie groß der Unterschied ist, hängt vom Alter und von der Aufbewahrungsweise der Absonderungen ab.

Auf S. 21 ist der Wert der in den jährlichen Absonderungen einer Person enthaltenen Dungstoffe zu 5,2 Mk. berechnet worden. Dies bezieht sich auf den frischen Zustand; 5,2 Mk. sind daher ein „theoretischer“ Wert, hinter welchem derjenige Wert, den die Landwirtschaft vermöge der notwendigen Sammlung und längeren

\*) Berechnet unter Annahme eines Chlorgehaltes im Harn von 0,5 %.  
Büsing, Städtereinigung. 1.



Aufbewahrung thatsächlich nutzen kann, mehr oder weniger weit zurückbleibt. Insonderheit kommt dabei die Sammelweise der Absonderungen (ob in Wasserklosetts, Gruben, Tonnen u. s. w.) in Betracht.

§ 103. Abgesehen von dem geringen Verlust, welcher beim Stickstoff durch Verflüchtigung (auch durch Bildung von Salpetersäure) eintritt, ergibt sich ein Verlust bei diesem Stoff und gleicherweise bei allen übrigen, die in den Absonderungen enthalten sind, dadurch, daß ein gewisser Teil der letzteren den Sammelstätten vorenthalten bleibt; hierbei machen auch die Orte mit Spülabtritten und Wasserklosetts keine Ausnahme. Man kann aber sagen, daß je größer die Wohndichte einer Stadt, um so geringer die hier fraglichen Verluste sind und umgekehrt. Bei mäßiger Wohndichte, wie noch Städte bis 50 000 Einwohner sie aufzuweisen pflegen, kann die Menge der thatsächlich zur Sammlung gelangenden Absonderungen auf etwa 0,5—0,4 der Gesamtmenge herabgehen, in mehr ländlich gearteten Städten daher noch weiter. In dichtbewohnten Großstädten bzw. dicht bebauten Teilen solcher mag umgekehrt ein doppelt so hoher Anteil, also vielleicht 0,9, zur Sammlung gelangen, während für das ganze Gebiet sich ein geringerer Satz ergibt.

Im Durchschnitt beträgt der Wasserverbrauch für Klosettspülung etwa  $\frac{1}{6}$  des häuslichen Verbrauchs und beim einmaligen Benutzen eines Wasserklosetts wahrscheinlich nicht über 5—6 l, eine etwas geringe Zahl, aus der sich die mehrfach beobachtete Thatsache erklärt, daß der Wasserverbrauch in Städten mit Wasserklosetts sich als nicht größer herausstellt, als in Städten mit Gruben- oder Tonnen-system. Es wird daher der Wasserverbrauch von andern Faktoren viel stärker beeinflusst, als von dem Verbrauch für Klosettspülung.

Wo die obige Zahl zutrifft, gelangt mit den Absonderungen etwa das Neun- bis Zehnfache derselben an Spülwasser in die Klosetts bzw. Ableitungen derselben, so dass dort die ungefähre Zusammensetzung der Wasserklosett-Abflüsse, wenn man die Annahme macht, daß 0,75 der Absonderungen zur Sammlung in den Klosetts gelangen, durch folgende Angaben charakterisiert sein wird (Tabelle und Angaben S. 159):

		Auf 1 Kubikmeter berechnet
Wasser 0,75 · 1,2487 · 10 . . . . .	9,370 kg	1000 kg
Trockengehalt 0,0843 . . . . .	63 g	6,723 "
Darin:		
Organische Stoffe . . . . .	49 "	5,230 "
Mineralische Stoffe . . . . .	14 "	1,494 "
und in diesen:		
Stickstoff . . . . .	8,5 g	0,907 "
Phosphorsäure . . . . .	2,5 "	0,267 "
Kali . . . . .	2,1 "	0,224 "
Kohlensaurer Kalk . . . . .	0,8 "	0,085 "
Kochsalz . . . . .	7,4 "	0,790 "

Von dieser Beschaffenheit der Wasser in Klosett-ableitungen, die selbstverständlich auf Genauigkeit keinen Anspruch machen, weicht die Beschaffenheit der Wasser aus häuslichen Ableitungen, wenn durch dieselben Klosett- und Küchenwasser gemeinsam abgeführt werden, mehr oder weniger weit ab. Bei der völligen Unkenntnis aber, die über die Menge verunreinigender Stoffe, welche aus Küchen u. s. w. abfließen, besteht, ist eine rechnungsmäßige Bestimmung der Beschaffenheit der Küchenwasser ausgeschlossen und bleibt nur übrig, sich durch direkte Untersuchung der Kanalwasser Auskunft über die Zusammensetzung des Gemisches aus Klosett- und Küchenwassern zu vergewissern.



§ 104. Es könnte die Ansicht entstehen, daß ein hinreichend genaues Bild von der Beschaffenheit der Küchenwasser sich durch ein einfaches Subtraktions-exempel gewinnen lasse, indem von den durch die Analyse in den Kanalwässern festgestellten Mengenzahlen gewisser charakteristischer Stoffe die durch Rechnung ermittelten Mengenzahlen derselben Stoffe in den Klosettwassern in Abzug gebracht werden; der so gefundene Unterschied stelle die Beschaffenheit der Küchenwasser dar. Es ist klar, daß auf so ungleichen Grundlagen gewonnene Zahlen nicht in der angegebenen Weise verbunden werden können, daß also etwaige Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen eines solchen Exempels schon deshalb allein hin-fällig sind.

Noch mehr leuchtet dies ein, wenn gewisse Unsicherheiten, welche der Analyse unvermeidlich anhaften, in Betracht gezogen werden. Zwar wird die chemische Analyse in jedem einzelnen Falle ein genaues Bild der Beschaffenheit der Kanalwasser liefern; doch wechselt dieses Bild mit verschiedenen Umständen: mit der Zeit sowohl als mit der Oertlichkeit.

Verschiedenheiten nach der Oertlichkeit (der Lage der Entnahmestelle) ergeben sich aus den ungleichen Zeitenlängen, welche die Abwasser gebrauchen, um eine gewisse Stelle im Kanalnetz zu erreichen, namentlich wenn inzwischen Aufenthalte stattfinden. An den oberen Enden eines Netzes wird die Zusammensetzung der Kanalwasser eine andre sein als an den unteren, da in der Zeit, die das Wasser gebraucht, um vom oberen Ende aus das untere zu erreichen, mehr oder weniger große Umbildungen vor sich gehen, die das Bild der Beschaffenheit verändert erscheinen lassen; es werden ferner unterwegs Wasser anderer Herkunft und Zusammen-setzung hinzugetreten sein.

Vogel hat eine Reihe von Analysen Berliner Kanalwasser, die an verschiedenen Stellen entnommen wurden, ausgeführt (a. a. O. S. 226) und fand dabei, gegenüber den Mittelwerten:

Gesamtstickstoff . . . .	118,6 mg in 1 l
Ammoniakstickstoff . . . .	52,9 „ „ 1 l

Grenzwerte von 57,8 und 202 mg Gesamtstickstoff, sowie 20,4 und 110 mg Ammoniakstickstoff. Freilich ist dies Bild insofern nicht rein, als die Proben an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tagesstunden entnommen wurden.

Weyl fand (an demselben Tage) in Mischungen von Berliner Kanalwässern, die an sechs verschiedenen, aber immer denselben Stellen, im Kanalnetz entnommen waren:

7 Uhr morgens	98 mg Stickstoff in 1 l
12 „ mittags	127 „ „ „ 1 l
5 „ nachmittags	87 „ „ „ 1 l
8 „ abends	55 „ „ „ 1 l (Regen)
10 „ „	85 „ „ „ 1 l

Die gründlichsten Untersuchungen zu diesem Punkte, hat Prausnitz\*) an Münchener Kanalwässern angestellt, der in regenfreier Zeit allstündlich während der 24 Tagesstunden Kanalwasserproben an denselben Stellen entnahm, und dieselben auf den Gehalt an organischen Substanzen, ferner an Chlor und an Keimen untersuchte. Aus der graphischen Darstellung, in welcher Prausnitz die Ergebnisse bildlich niederlegte, sind folgende Zahlen, welche den Durchschnitt von je 3 Stunden angaben, entnommen:

\*) Prausnitz, Der Einfluß der Münchener Kanalisation auf die Isar. München 1890.



Zeit	Trocken- rückstand	Organische Substanz mg in 1 l	Chlor	Keimzahl in 1 ccm
6—9 Uhr vormittags	0,70	0,93	37	160 000
9—12 „ „	0,91	1,36	59	385 000
12—3 „ nachmittags	0,87	0,79	62	280 000
3—6 „ „	1,04	1,27	78	288 000
6—9 „ „	1,11	1,70	76	440 000
9—12 „ „	0,71	0,61	55	440 000
12—3 „ vormittags	0,70	0,63	43	193 000
3—6 „ „	0,81	0,62	29	165 000

Diese Zahlen geben gewissermaßen ein Bild der Lebensgewohnheiten der Stadtbevölkerung, insofern sie sich an die Thätigkeiten (Arbeits-, Ruhe- und Essenszeiten) ersichtlich eng anschließen. Was weiter in den Zahlen hervortritt, ist ein ziemlich genauer Parallelismus unter den Mengen der bestimmten Stoffe. Auch der Mikrobengehalt nimmt an diesem Parallelismus teil; doch bleibt der Gang der Mikrobenzahl um ein paar Stunden hinter dem Gange der übrigen Zahlen zurück. Ermittelt man die Durchschnittszahlen für 24 Stunden sowohl, als für die 12 Tages- bzw. Nachtstunden (6—6), so erhält man folgendes, sehr deutliches Bild:

Zeit	Trocken- rückstand	Organische Substanz	Chlor	Keimzahl
Durchschnitt aus 24 Stunden.	0,87	0,97	58	285 000
Desgl. aus 12 Tagesstunden.	0,99	1,27	75	325 000
Desgl. aus 12 Nachtstunden.	0,72	0,65	41	240 000

Die Prausnitzschen Arbeiten wurden gegen das Ende der 80er Jahre, also zu einer Zeit ausgeführt, wo die Aufnahme von Klosettstoffen nicht erlaubt war, doch aber thatsächlich in großem Umfange stattfand. Dieser Umstand wird hier angemerkt, ohne aber daß dabei die Unterstellung Platz greift, daß dadurch der vergleichende Wert der obigen Zahlen eine Abminderung erlitte.

Gleichartige Untersuchungen sind mit Bezug auf den Wechsel unter den verschiedenen Tagen der Woche von Grandeau in Roubaire angestellt worden, worüber zu vergleichen: Fischer, Das Wasser S. 62. Daß auch größere Wechsel mit Bezug auf längere Perioden (jahreszeitlich) stattfinden, ist selbstverständlich.

Eine Schlußfolgerung, welche die vorstehenden Mitteilungen gestatten, geht dahin, daß der einzelnen Analyse einer Kanalwasserprobe wenig Bedeutung zukommt, daß es daher vielfacher, unter den verschiedensten Umständen angestellter Beobachtungen bedarf, um zur Aufstellung zutreffender Durchschnittszahlen zu gelangen. Es steht auch dann noch dahin, ob die von verschiedenen Beobachtern an verschiedenen Orten gefundenen Ergebnisse etwas Weiteres als nur eine allgemeine Vergleichung zulassen, weil mehrere Besonderheiten des Untersuchungsverfahrens auf das Endergebnis bedeutend einwirken.

Unter diesem Vorbehalt wird nachstehend eine Zusammenstellung von analytischen Befunden der Kanalwasser einer Reihe von Städten mitgeteilt.



Stadt	Schwebestoffe				Gelöste Stoffe				Gesamter Stickstoff in 1 ccm g
	mineralische	organische	insgesamt	Darin Stickstoff	Trockenrückstand	mineralische	organische	Stickstoff	
1. Dortmund . . .	205,5	284,3	489,8	28,1	782,4	518,6	263,8	53,4	81,5
2. Ottensen . . .	218,8	442	660,8	24,1	1817,5	1450	367,2	68,3	92,4
3. Essen . . . .	105,2	213,4	318,6	19,3	843,2	613,6	229,6	50,3	69,6
4. Braunsberg . .	961	1485,6	2446,6	39	796,1	490,1	306	51,4	90,4
5. Halle . . . .	611,6	404,8	1016,4	41,4	3376	2829,6	546,4	64,5	105,9
6. Wiesbaden . .	40	34	74	—	1873	1780	93	—	23
7. Mittelaus 15 englischen Städten ohne Wasser- klosetts . . . .	178	213	391	—	824	—	—	—	73
8. Berlin . . . .	323	733	1056	—	1190	846	344	99,6	99,6 *)
9. Breslau . . . .	166,8	371,4	538,2	—	720,2	475,8	244,4	82,2	82,2 **)
10. Danzig . . . .	226	356	582	—	683	522	161	53	94,6
11. Frankfurt a. M.	320	655,4	975,4	44,7	857,6	361,3	496,3	54,7	64,8
12. Mittelaus 16 englischen Städten mit Wasser- klos. . . . .	242	205	447	—	722	—	—	—	99,4
13. Potsdam a) . .	113	673,5	786,5	37,3	2989	1652	1337	438,7	85
b) . . . . .	881,5	2437	3318,5	82,8	5590	2334	3256	433,2	476
									516

Die Teilung der vorstehend mitgeteilten Zahlen in drei Gruppen bzw. 1—7, 8—12 und 13 erfolgte, um den Unterschied zu veranschaulichen, der bei den Kanalwassern stattfindet, je nachdem denselben die Klosettwater beigemischt sind oder nicht.

Die Angaben zu 1—7 betreffen Städte, welche Klosettwater in die Kanäle nicht aufnehmen, die Angaben zu 8—12 solche Städte in denen die Aufnahme erlaubt ist. Vergleicht man sowohl mit Bezug auf den Gehalt an Schwebestoffen, als an gelösten festen Stoffen, als endlich an Stickstoff, so sieht man, daß kein wesentlicher Unterschied in der Beschaffenheit der Kanalwasser der beiden Städtegruppen besteht. Die Kanalwasser werden durch die Zumischung der Klosettwater daher nicht erheblich stärker verunreinigt, eine Thatsache, die sich zum Teil wohl daraus erklärt, daß gewisse, mehr oder weniger große Mengen von menschlichen Absonderungen den Weg in die Kanäle finden, einerlei ob die Aufnahme zu Recht oder zu Unrecht geschieht. Zu einem andern Teil wird die hervor gehobene Thatsache auch damit erklärt werden müssen, daß die Küchenwasser ebenfalls erheblich verunreinigt, namentlich auch stickstoffreich sind, sowie damit, daß Stickstoff auch noch aus anderweiten Quellen als den hier in Rede befindlichen zugeführt wird; insbesondere ist dabei an die in gewerblichen Wassern enthaltenen Stickstoffmengen zu denken.

\*) Ungerechnet den (nicht bestimmten) Stickstoff in den Schwebestoffen.

\*\*) Hier gilt die Bemerkung wie vor. Die untere Zahl entspricht anderweiten Analysen als den hier sonst mitgeteilten.



Die besonders starke Verunreinigung, welche die Kanalwasser der Stadt Potsdam (Gruppe 13) aufweisen, erklärt sich aus einem besonderen Umstande. Die Analysen beziehen sich auf Wasserproben, die aus einem Sammelbrunnen entnommen sind, in welchem dieselben zusammenfließen, bevor sie den Klärprozeß (in sogen. Klärtürmen) durchmachen. Da die Uebergabe an die Klärtürme alltäglich nur während einiger Stunden stattfand, hatte man es bei der Untersuchung mit Wasser zu thun, welches während einer Dauer von 18—20 Stunden zugelaufen war, bezw. in dem Sammelbrunnen stagniert hatte. Die zuerst mitgeteilte Analyse bezieht sich auf Wasserproben, welche unmittelbar vor dem Beginn der Einführung in die Klärtürme genommen waren, die zweite auf Probeentnahmen unmittelbar vor dem Ende der Einführung. Die beiden Analysen liefern also ein Bild von den Veränderungen, welche faulende Wasser erleiden, wenn dieselben stagnieren, bezw. bei ihrem Laufe durch die Leitung in Schächten oder in Strecken mit unzureichendem Gefälle lange aufgehalten werden. Auf eine Nutzanwendung, die sich hieraus für die Betriebsweise von Kläranstalten ergibt, wird erst später einzugehen sein.

Da während der Einführung in die Klärtürme fortwährend neues Kanalwasser zuläuft, so wird das Wasser gegen Ende des Klärbetriebes „Mischwasser“ sein, auf dessen Beschaffenheit auch die Sedimentierung während der Dauer des Stillstandes beträchtlich eingewirkt hat.

Weiter muß aber hinzugefügt werden, daß es sich bei den Potsdamer Wassern um solche aus Kanälen handelt, die einem Trennsystem entstammen, bei welchem Regenwasser in die Leitung nicht aufgenommen wird, und daß diese Wasser — vermutlich wegen allzu geringen häuslichen Wasserverbrauchs — so stark verunreinigt sind, wie es nur selten beobachtet wird. —

Ist der auf 1 Kopf und Tag entfallende Wasserverbrauch bekannt, so läßt sich aus den Zahlen der letzten Spalte der obigen Tabelle berechnen, welche Stickstoffmengen auf den Tag und Kopf durchschnittlich entfallen. Bei einem Durchschnittssatz von 80 g Stickstoff in 1 cem Abwasser und 100 l Wasserverbrauch würde der Anteil pro Kopf und Tag nur 8 g sein, d. h. weniger betragen als nach S. 162 der durchschnittliche Stickstoffanteil in den täglichen Absonderungen eines Menschen beträgt. Man mag hieraus einen Beweis für die bereits mehrfach unterstellte Thatsache entnehmen, daß auch in Städten mit Wasserklosetts den letzteren ein mehr oder weniger erheblicher Teil der menschlichen Absonderungen vorenthalten bleibt.

Wegen der Bedeutung, die einigen andern in Schmutzwassern enthaltenen Stoffen — außer Stickstoff — zukommt, sind die bezüglichlichen Mitteilungen in den Abschnitten über Boden- und Flußverunreinigung zu vergleichen.

§ 105. Kanalwasser können sowohl Stoffe als organisierte Formen von spezifischer Schädlichkeit enthalten.

Bei der Fäulnis von Stoffen organischer Herkunft entstehen sogen. Fäulnisgifte (Ptomaine), von denen eine Anzahl näher untersucht und bestimmt ist. Doch ist bis heute noch keine vollständige Klärung erreicht, die bei den minimalen Mengen, um welche es sich in der Regel handelt, und bei der Kompliziertheit der Verbindungen, in welchen die Gifte vorkommen, auch schwer beschaffbar ist. Bei der meist unmittelbaren Verbindung des Hausinnern und der Straße mit den unterirdischen Kanälen, werden den Wassern derselben jedenfalls auch öfter pathogene Mikroben und organisierte Lebewesen zugeführt, sowohl solche, die für Menschen, als solche, die für Tiere, und noch andere, die für Tiere und Menschen pathogen sind.

Bei der häufig alkalischen Reaktion des Kanalwassers, einer mittleren und



sehr beständigen Temperatur und, endlich, bei einem großen Reichtum an Nahrung ist zu erwarten, daß Mikroben in Kanalwässern ganz allgemein einen günstigen Boden für ihr Fortkommen finden. Die Erfahrung bestätigt diese Vermutung auch, soweit es sich um die nicht pathogenen Mikrobenformen handelt. Diese Formen kommen unter Umständen zu mehreren hundert Millionen in 1 ccm Kanalwasser vor. Proskauer und Nocht fanden z. B. in demselben Potsdamer Kanalwasser, von welchem oben Analysenergebnisse mitgeteilt sind, bezw. 160 und 108 Millionen Keime. Andere, mit geringeren Keimzahlen sind für Münchener Kanalwasser auf S. 164 mitgeteilt worden. Im Kanalwasser von Halle wurden 12, 108 und 257 Millionen Keime, in demjenigen von Paris bis 6 Millionen Keime in 1 ccm gefunden, alles Keimzahlen, die sehr weit über diejenigen hinausgehen, welche für selbst stark verunreinigte Flufwasser ermittelt worden sind. (Vergl. die Abschnitte über Flufverunreinigung und Selbstreinigung der Flüsse.)

Unter den vielen Millionen kommen Mikroben pathogener Art in der Regel wohl nur in wenigen Exemplaren vor, da, wenn es anders wäre, sich häufiger als thatsächlich der Fall, ein Befund an solchen ergeben haben müßte. Es scheint, daß bis jetzt nur drei Arten pathogener Mikroben in Kanalwässern nachgewiesen worden sind und darunter keine von den gefährlichsten, wie die Erreger der Cholera und des Typhus. (Vergl. Arnould, Nouveaux Eléments d'Hygiène, p. 754.) Dieser fast negative Befund kann kaum anders erklärt werden als so, daß in den Kanalwässern die Lebensbedingungen für die pathogenen Mikroben ungünstig sind. Ob es sich nur um rasches Ueberwuchern derselben durch die unschädlichen Formen, wie gewöhnlich angenommen wird, handelt, ob und welche andren ungünstigen Verhältnisse dabei obwalten, sind Fragen, auf die heute noch keine ausreichende Antwort gegeben werden kann; die Wissenschaft ist bisher nicht viel weiter als zur bloßen Kenntnis der Thatsache vorgedrungen.

Es ist ferner noch unentschieden, ob einem hohen Befund an Mikroben eine günstige oder ungünstige Deutung zukommt. Als günstig läßt sich derselbe in dem Sinne deuten, daß durch das Mikrobenleben der Umbildungsprozeß der Faulstoffe befördert, oder gar erst ermöglicht wird, und in dem andern, daß eine reiche Vegetation von Mikroben harmloser Art dem Bestehen pathogener Formen abträglich ist. Es dürfte bei der hier aufgeworfenen Frage ebenso sehr auf die Zahl der Arten von Mikroben, als auf die Menge derselben ankommen. Hohe Zahlen, wenn es sich dabei um einzelne wenige Arten handelt, dürften relativ unbedenklich sein, wogegen hohe Zahlen aus vielen Arten zusammengesetzt, und noch mehr geringe Zahlen aus vielen Arten zusammengesetzt, Bedenken hervorrufen müssen, weil mit der im Vergleich zur Gesamtzahl größer werdenden Menge der Arten die Wahrscheinlichkeit wächst, daß unter letzteren auch solche von pathogenen Formen vorhanden sein können.

§ 106. Von großer Bedeutung sowohl für die konstruktiven Anordnungen eines Kanalnetzes, als noch mehr für die Einrichtungen der Reinigungsanlagen von Schmutzwässern, sind die Schwebestoffe, welche das Kanalwasser enthält. Es kommt bei ihnen sowohl auf die Art als auf die Menge an. Spezifisch schwere Stoffe, namentlich wenn sie von geschlossener — nicht sperriger — Form sind, sinken zu Boden, nicht nur in stehendem Wasser, sondern auch bei einiger Wassergeschwindigkeit. Spezifisch leichte Stoffe, und alle Stoffe von sperriger Art sinken entweder gar nicht zu Boden oder doch erst auf mehr oder weniger langem Wege. Nähere Angaben sind folgende:

- a) Gröberer Sand u. s. w. bedarf zur Mitführung 300—600 mm Wassergeschwindigkeit.



- b) Feiner Sand wird bei Wassergeschwindigkeiten von 300 mm an mit fortgeführt und sinkt bei kleineren bald zu Boden.
- c) Sand wird rasch niedergeschlagen, wenn die Wassergeschwindigkeit 150 mm nicht überschreitet; bei 2—3 mm Geschwindigkeit erfolgt starker Niederschlag.
- d) Leichter Schlamm kann bei Geschwindigkeiten von 150—300 mm schwimmend bleiben, wird bei geringeren niedergeschlagen.
- e) Papier, Stroh, Haare, Webstoffe, Gemüseabfälle sind Schwimmstoffe, die mitgeführt werden, bis sich ihrer Weiterbewegung ein Hindernis entgegenstellt.

Diese Angaben setzen immer voraus, daß der Wasserquerschnitt genügend groß ist, damit die Schwebstoffe nicht die Fassung (Sohle u. s. w.) des Wasserlaufs berühren. Wenn dies der Fall, ist der Zustand ein anderer.

§ 107. In den auf S. 165 mitgeteilten Analysen von Kanalwassern sind die Schwebstoffmengen in mineralische und organische geteilt angegeben. Scheidet man, um dem wirklichen Mittel einigermaßen nahe zu kommen, sowohl die zwei kleinsten als die zwei größten Werte aus, so finden sich die Durchschnittswerte:

$$\left. \begin{array}{l} \text{für die mineralischen Stoffe zu } 260,4 \text{ g} \\ \text{„ „ organischen „ „ } 433,8 \text{ g} \\ \text{insgesamt } 694,2 \text{ g} \end{array} \right\} \text{ in 1 ccm Wasser.}$$

Dem Gewichte nach sind an der Gesamtmenge die mineralischen Stoffe mit etwa 0,4, die organischen mit 0,6 beteiligt, ein Verhältnis das mit der Oertlichkeit großen Wechselln unterliegt, sich auch vollständig umkehren kann.

Für gewisse Zwecke ist es wichtig, das Volumen der Schwebstoffe — bzw. der beiden Bestandteile derselben zu kennen. Nimmt man für die mineralischen Stoffe das spezifische Gewicht = 1,3, für die organischen dasjenige von 1,03 an, Werte, die sich nicht allzuweit von der Wahrheit entfernen werden, so findet sich als Durchschnitt des spezifischen Gewichts der Schwebstoffe 1,13 und daraus:

$$\text{Volumen der mineralischen Stoffe} = 200 \text{ ccm} = \frac{200}{1\,000\,000} = \frac{1}{5000}$$

$$\text{„ „ organischen „ } = 420 \text{ „ } = \frac{420}{1\,000\,000} = \frac{1}{2380}$$

$$\text{Gesamt volumen der Schwebstoffe} = 620 \text{ „ } = \frac{620}{1\,000\,000} = \frac{1}{1613}$$

Da gewisse Mengen der Schwebstoffe, sowohl spezifisch leichte als schwere, bereits in den Einlässen, bzw. in den Einsteigeschächten der Kanäle, in Sandfängen u. s. w. zurückgehalten werden, so stellen die obigen Zahlen nicht den vollen Anteil dar, den die Abwasser ursprünglich enthalten; dieselben müssen daher um gewisse Beträge vermehrt werden. Um wie viel, darüber bieten z. B. die Feststellungen einen Anhalt, welche beim Betriebe der Berliner Kanalisationswerke über die Mengen der aus den Kanälen und Sandfängen laufend entfernten Schwebstoffmengen gemacht werden. Dieselben betragen hier rund  $\frac{1}{5000}$  der Abwassermenge,

und wenn man diesen Betrag dem obigen Posten hinzurechnet, so erhält man als Volumen der mineralischen Stoffe  $= \frac{1}{2500}$  und als Gesamtvolumen der Schwebstoffe  $\frac{1}{2500} + \frac{1}{2380} = \frac{1}{1220}$ , wofür rund  $\frac{1}{1200}$  gesetzt werden darf.



Bei der besonderen Sorgfalt, welche in Berlin auf die Straßenreinigung verwendet wird, kann die Menge von  $\frac{1}{5000}$  der aus den Kanälen u. s. w. direkt entfernten Schwebestoffe jedenfalls als ein Kleinstwert angesehen werden, der sich in andern Städten vielleicht auf das Anderthalb- oder auch Zweifache erhöht, d. h. auf  $\frac{1}{3333}$  bzw.  $\frac{1}{2500}$ . Legt man diese Zahlen zu Grunde, so würde sich das Volumen der mineralischen Stoffe auf  $\frac{1}{2000}$  bzw.  $\frac{1}{1667}$  und damit das Gesamtvolumen der Schwebestoffe auf  $\frac{1}{1090}$  bzw.  $\frac{1}{980}$  erhöhen, wofür in runden Zahlen  $\frac{1}{1100}$  bzw.  $\frac{1}{1000}$  gesetzt werden kann.

Zwar kommen nach der Tabelle auf S. 165 Kanalwasser mit höheren Anteilen von Schwebestoffen als den hier ermittelten vor, ebensowohl aber auch solche mit geringeren Anteilen. Da aber Feststellungen, die beim Betriebe von Kläranlagen zahlreich gemacht worden sind, öfters die Zahl  $\frac{1}{1500}$  oder  $\frac{1}{1400}$  ergeben sollen, kann man die Zahlen  $\frac{1}{1200}$  oder auch  $\frac{1}{1000}$  als gute Mittelwerte annehmen, die wahrscheinlich öfter unter- als überschritten werden. Der höchste Satz bei sehr stark verunreinigten Kanalwassern (etwa in Trennsystemen) mag  $\frac{1}{750}$  sein, der niedrigste, nur bei sehr hohem Wasserverbrauch und in Städten mit besonderem Reinlichkeitszustande der Straßen vorkommende, vielleicht  $\frac{1}{4}$  desselben =  $\frac{1}{3000}$ .

Die Menge der in gelöster Form in den Kanalwassern enthaltenen Verunreinigungen geht (Tabelle S. 165) im allgemeinen über die Menge der Schwebestoffe hinaus. Und während die Befreiung der Wasser von letzteren verhältnismäßig einfach zu bewirken ist, bietet die Entfernung der in Lösung befindlichen Stoffe, ja selbst nur eines gewissen Teils derselben, beträchtliche Schwierigkeiten.

Das Eingehen auf die Reinigungsverfahren der Abwasser und die nach den Verschiedenheiten derselben angezeigten Besonderheiten derselben wird aber einer späteren Stelle des Buches vorbehalten.

### 3. Kapitel.

#### Meteorwasser im allgemeinen.

§ 108. Die atmosphärischen Niederschläge erfolgen in der Hauptsache in Form von Regen, meist nebensächlich in Form von Schnee.

Ihre Messung geschieht an meteorologischen Stationen, denen, für den Zweck der Messung der Niederschläge allein, besondere Stationen in größerer Anzahl hinzutreten.

Der Dienst der Niederschlagsbeobachtungen ist verhältnismäßig jung. In



Preußen nimmt derselbe eine gewisse, doch geringe Ausdehnung erst vom Jahre 1847 an, wo das Meteorologische Institut gegründet und zunächst 35 meteorologische Stationen errichtet wurden. Weiterhin nahmen mehrere einzelne Persönlichkeiten und Vereine — größtenteils im Interesse landwirtschaftlicher Zwecke — die Aufgabe in die Hand und errichteten in gewissen Bezirken neben den öffentlichen eine Anzahl privater Stationen. Doch blieb das Netz der Stationen bis in die 80er Jahre hinein recht lückenhaft. Eine systematische Ergänzung brachte erst diese Zeit und der Anfang der 90er Jahre, nachdem im Jahre 1887 das 1847 gegründete preußische Meteorologische Institut reorganisiert worden und dabei in seinen Arbeitsplan die Errichtung eines ganz Norddeutschland umfassenden Netzes von Regenstationen aufgenommen worden war. In ähnlicher Weise wie in Preußen dürfte sich der Vorgang in den übrigen deutschen Staaten vollzogen haben; auch in Oesterreich ist man in gleicher Weise vorgeschritten. 1879 errichtete dort das Ackerbauministerium in forstlichem Interesse eine größere Anzahl von Regenstationen.

Es verdient Erwähnung, daß bis zur neueren Zeit bei den meteorologischen Beobachtungen auf die wichtigen Zwecke der Bautechnik Rücksicht kaum genommen wurde. Die Anregung dazu wird besonders einer Anzahl von Ueberschwemmungen verdankt, welche in der ersten Hälfte der 80er Jahre vielfach große Verheerungen und Zerstörungen bedeutender Teile des Nationalvermögens mit sich brachten. Bei Erörterung der Mittel gegen die Wiederkehr solcher Ereignisse kam in erster Linie die Mangelhaftigkeit der Unterlagen, welche von den meteorologischen Instituten zu liefern sind, zur Sprache. Hierdurch wurde eine Reorganisation dieser Institute angeregt, womit — als erster unter den deutschen Staaten — Baden (1883) vorgegangen ist. Erst 1887 folgte Preußen; 1893 ist in Oesterreich ein hydrographisches Zentralbureau errichtet worden.

Die kurze Mitteilung der geschichtlichen Thatfachen erfolgt an dieser Stelle teils zu dem Zwecke, um darin ein Moment für die Beurteilung des Wertes von betreffenden Angaben aus früherer Zeit zu liefern. Es mag zu demselben Zwecke sogleich hinzugefügt werden, daß die älteren Beobachtungen nicht mit Instrumenten gleicher Einrichtungen, noch auch im übrigen in übereinstimmender Weise ausgeführt worden sind, daher die genaue Vergleichbarkeit von betreffenden Zahlen zuweilen bedenklich ist. Eine gewisse Einheitlichkeit in diesen Dingen hat erst das Jahr 1873 gebracht, in welchem der erste — zu Wien abgehaltene — Meteorologenkongreß einige allgemeine Normen aufstellte.

Eine ausreichende Uebereinstimmung mit den Niederschlagsbeobachtungen in Deutschland weisen diejenigen in Oesterreich-Ungarn auf. Deutsche und österreichisch-ungarische Beobachtungsergebnisse, sowohl aus älterer als neuerer Zeit, sind daher als gleichwertig anzusehen.

Im Jahre 1893 bestanden im Königreich Preußen 1779 Stationen, an welchen laufend Niederschlagsbeobachtungen angestellt wurden, im Königreich Sachsen 236 und im Großherzogtum Baden 47 Stationen. In kleineren deutschen Staaten war in 1893 die Zahl der Beobachtungsstationen, deren Material von dem preußischen Meteorologischen Institut mit verarbeitet wird:

Braunschweig . . . . .	31	Schwarzburg-Rudolstadt . . . . .	8
Mecklenburg-Schwerin . . . . .	30	Lübeck . . . . .	7
Sachsen-Koburg-Gotha . . . . .	15	Schwarzburg-Sondershausen . . . . .	6
Anhalt . . . . .	13	Hessen . . . . .	5
Fürstentum Lippe . . . . .	11	Mecklenburg-Strelitz . . . . .	5
Oldenburg . . . . .	9	Bremen . . . . .	2
Sachsen-Meiningen . . . . .	9	Altenburg . . . . .	1
Sachsen-Weimar . . . . .	8	Schaumburg-Lippe . . . . .	1



Bis 1896 ist die Zahl der Stationen, deren Beobachtungsmaterial dem preußischen Meteorologischen Institut zugeht, auf 2020 gestiegen. In Preußen entfällt 1 Station durchschnittlich auf 196 qkm (Quadrat von 14 km Seitenlänge); in der Verteilung auf die einzelnen Gegenden kommen aber große Verschiedenheiten vor. Im nord-deutschen Flachlande kommt 1 Station auf 250—350 qkm, in Landesteilen mit größeren Höhenunterschieden auf 80—100 qkm, endlich in Gebirgsgegenden auf 30—60 qkm. In den einzelnen Bezirken geringer Größe wechselt aber die Dichte des Beobachtungsnetzes in viel weiteren Grenzen als hier angegeben. In Baden entfällt 1 Station auf 306, in Sachsen schon auf 649 km.

In Oesterreich (ohne Ungarn) wurden 1893 die Beobachtungen von 660 Stationen veröffentlicht.

Es bedarf kaum der Hervorhebung, daß diese Ungleichheit in der Verteilung der Stationen in die Beobachtungsergebnisse ein Moment der Unsicherheit hineinträgt, indem es vom Zufall abhängig wird, ob in Gegenden, in denen das Netz der Stationen große Lücken aufweist, manche Niederschläge überhaupt zur Beobachtung gelangen, die in Gegenden mit dichtem Netz der Beobachtung nicht entgehen. Wenn beachtet wird, daß schwere Gewitterregen oft nur eine Ausdehnung von 10—20 qkm und weniger Ausdehnung erreichen, so ist klar, daß gerade solche Regen — denen für unsern Zweck die größte Bedeutung zukommt — vielfach unbeobachtet vorübergehen können. Dieser Fehler kann erst im Laufe einer sehr langen Reihe von Beobachtungsjahren zum Ausgleich gelangen.

Die Messung der Niederschläge erfolgt nur einmal täglich, und zwar morgens 7 Uhr. Das Ergebnis der Messung wird an den preußischen Stationen dem Messungstage selbst zugeschrieben, in Baden dem vorhergehenden Tage, so daß vielfach Nichtübereinstimmung zwischen dem Tage des Regenfalls und dem Tage der Messung bestehen wird. Dieser schwer vermeidliche Mangel an Beobachtungsergebnissen ist aber weniger ins Gewicht fallend als derjenige, daß man in den Meßzahlen nur das zusammengefaßte Ergebnis von 24 Stunden vor sich hat und keine Trennung nach einzelnen Perioden, in denen die Gesamtmenge gefallen ist, ausführen kann. Es pflegen freilich an vielen Stationen die Ergebnisse besonders heftiger Regenfälle von kurzer Dauer besonders gemessen zu werden; doch ist auch in diesem Falle keine Sicherheit dafür gegeben, daß alle derartigen Regenfälle zur besonderen Messung kommen. Zahlreiche Regenfälle von nicht außergewöhnlicher Heftigkeit, aber einiger Dauer — die für unsern Zweck gleichfalls große Bedeutung besitzen — bleiben unbeobachtet; jedenfalls gilt dies, wenn dieselben während der Nachtstunden niedergehen.

Regenmengen von einer gewissen unteren Grenze ab bleiben ungemessen. Bei den preußischen Stationen sieht man von der Messung aller Regen ab, die weniger als 0,2 mm Höhe geben. In Baden ist dagegen 0,1 mm als untere Grenze angenommen.

Einen großen Einfluß auf das Resultat der Niederschlagsmessungen üben Form und Aufstellungsweise der Instrumente\*). In Bezug auf beide Faktoren wird aber in neuerer Zeit eine möglichst weit gehende Uebereinstimmung, wenigstens an den einer Zentralstelle unterstellten Stationen angestrebt. Hinsichtlich der Form der Instrumente (Auffanggefäß) ist diese verhältnismäßig leicht zu bewirken, viel weniger leicht in Bezug auf die Aufstellungsweise derselben: ob in geschützter oder freier Oertlichkeit, in etwas größerer oder in geringerer Höhe über Erdgleiche.

Einige der Unsicherheiten in den Messungsergebnissen sind, wie man sieht,

\*) Vergl. u. a.: Hellmann, Bericht über vergleichende Beobachtungen an Regenmessern verschiedener Konstruktion in Groß-Lichterfelde. Berlin 1890.



bleibender Art; andre kommen in längerer Dauer der Beobachtung zum Ausgleich. Da aber in den jährlichen Niederschlagsmengen — und noch mehr in den auf kürzere Zeiträume entfallenden Mengen — an einem und demselben Ort große Ungleichheiten beobachtet werden — gegen den Jahresdurchschnitt 35 % und darüber weniger, und auch ebensoviel mehr, in dem Zeitraume von  $\frac{1}{4}$  Jahr Abweichungen vom Mittel von 100 % und darüber sowohl nach unten als nach oben — und da ferner in den Niederschlagsmengen eine gewisse Periodicität mit mehrjähriger Dauer der Perioden stattzufinden scheint, so ersieht sich, daß zuverlässige Zahlen nur aus langen Jahresreihen zu gewinnen sind. Reihen aus weniger als 20 Jahren können jedenfalls noch größere Unsicherheiten anhaften. Indessen spricht hierbei die Oertlichkeit, ob Küsten- oder Binnenland, ob Flach- oder Gebirgsland, ob Waldland, Ackerland, feuchtes Gebiet, oder Gebiet mit großen Wasserflächen, bedeutend mit. In rauhen Berglagen werden Ungleichheiten viel stärker hervortreten als im gewöhnlichen Flachlande.

Wie die Niederschlagsmenge weist auch die zeitliche Verteilung derselben auf das Jahr große Ungleichmäßigkeiten für denselben Ort auf; auch für den Ausgleich dieser Unterschiede sind längere Jahresreihen als 20 erforderlich.

Meitzen\*) macht zu diesem Gegenstande folgende Angaben:

In 13 Städten, die in dem langen Landstrich von Trier über Berlin nach Königsberg i. Pr. verteilt liegen, wurden folgende größte Abweichungen von den Mitteln (Durchschnittszahlen) beobachtet:

Für die einzelnen Monate:

April  $\begin{cases} - 86,5 \% \\ + 181,1 \end{cases}$ ; Mai  $\begin{cases} - 78,8 \% \\ + 138,5 \end{cases}$ ; Juni  $\begin{cases} - 76,9 \% \\ + 136,9 \end{cases}$ ; Juli  $\begin{cases} - 78,4 \% \\ + 155,4 \end{cases}$

Für das ganze Jahr:  $\begin{cases} - 34,7 \% \\ + 35,0 \end{cases}$

In der Periode von 40 Jahren kamen in der Provinz Posen als größte Jahresabweichungen vom Mittel sogar  $- 42,8 \%$  und  $+ 27,6 \%$ , und an der einen Station Cleve in demselben Zeitraum  $- 39,9 \%$  und  $+ 39,8 \%$  vor.

§ 109. Für den Zweck des vorliegenden Buches kommt der Summe der Jahresniederschläge an einzelnen Orten keine spezielle Bedeutung zu; es wird deshalb auch von der Mitteilung betreffender Einzelzahlen abgesehen. Für das Gebiet des preußischen Staates finden sich die betreffenden Zahlen, gut geordnet, in dem oben angeführten Werke von Meitzen, auf welches verwiesen wird. Nur einige allgemeine Andeutungen seien gegeben. Die Niederschlagshöhe wächst mit Annäherung an die Küste. Im oberen Binnenlande östlich der Elbe beträgt dieselbe wenig über 500 mm; nahe der Ostseeküste erreicht sie 600 mm; die holsteinische Ostküste hat 680 mm, die Westküste dagegen 750 mm Regenhöhe. Das Gebirgsland hat ebenfalls größere Regenhöhen als das binnenländische Flachland. Hier aber spielt der Umstand eine wesentliche Rolle, ob der Hang den regenreichen Winden zu- oder abgekehrt ist. Das Leinegebiet hat nur 550 mm Regenhöhe, dagegen das unmittelbar benachbarte Gebirge des Sollinger Waldes 850 mm. Die südöstliche bis nordöstliche Seite des Harzes, sowie die Thüringische Berglandschaft haben nur 460 mm Regenhöhe; nur wenig entfernt davon, im Elbegebiet, erhebt sich die Regenhöhe auf 520 und 550 mm. In 600 m Meereshöhe hat der Harz auf der dem Ozean zugekehrten Seite 1400 mm Regenhöhe, ebensoviel als das von der See etwa 3mal so weit entfernt liegende Riesengebirge erst in 1600 mm Seehöhe erhält.

Die vorstehenden Angaben beziehen sich auf landschaftliche Gebiete von größerer

\*) Meitzen, Der Boden und die landwirtschaftlichen Verhältnisse des preußischen Staats Bd. 5.



Ausdehnung, die schon dadurch eine gewisse Unabhängigkeit voneinander besitzen können. Aber auch Oertlichkeiten, die nur wenige Kilometer voneinander entfernt liegen, weisen beträchtliche Unterschiede in den Jahresregenhöhen auf. Um ein Beispiel anzuführen, sei mitgeteilt, daß zwei Stationen im Westen Berlins, von denen die eine in unmittelbarer Nachbarschaft der Spree und einer Waldlandschaft liegt, während die andre etwas entfernt von der Spree und frei liegt, gleichmäßig einen Unterschied der Jahresregenhöhe von etwa 100 mm aufweisen, obwohl die Entfernung zwischen beiden Stationen in der Luftlinie gemessen nicht mehr als 4 km beträgt.

Das Vorstehende genügt zum Erweise, daß selbst die Jahresregenhöhen, in welchen vermöge der Zeitdauer sich ein Ausgleich stark geltend macht, von rein örtlichen Besonderheiten bedeutend beeinflusst werden. Um wie viel stärker werden solche Einflüsse zur Geltung gelangen, wenn man kürzere Zeitperioden (Monate oder Wochen) in Betracht zieht! Es folgt daraus, daß die Uebertragung der an einer Regenstation ermittelten Niederschlagshöhen — handele es sich dabei um Jahre oder um kürzere Zeiträume — auf einen Ort, welcher von der Station nur 10 oder 20 km entfernt liegt, immer eine gewisse Vorsicht und Würdigung örtlicher Besonderheiten bedingt, wenn man nicht Gefahr laufen will, in gröbere Fehler zu verfallen\*).

Man mag ferner aus den vorstehenden Angaben den Schluß ziehen, daß die gegenwärtig noch herrschende Weitmaschigkeit in dem Netze der Regenstationen für die Zwecke städtischer Entwässerungsanlagen einen Mangel bildet, der sich unter Umständen sehr empfindlich geltend machen kann.

§ 110. Von mehr Interesse als die Jahresmenge der Niederschläge ist die Verteilung derselben auf kürzere Zeitabschnitte: zunächst Monate und Tage. Denn die Zerlegung in Teile gewährt einen gewissen Aufschluß darüber, zu welchen Zeiten Niederschläge erfolgen, auch Aufschluß über die sogen. Regenwahrscheinlichkeit, und daneben einen gewissen Einblick in die Art der Niederschläge, d. h. ob es sich vorwiegend um sogen. Gewitterregen mit kurzer Dauer aber großer Dichte (Intensität), oder um sogen. Landregen, welche länger anhalten, aber geringe Dichte haben, handelt. Sommerregen werden zumeist Gewitterregen sein, die Regenfälle zu andern Jahreszeiten vorwiegend der Klasse der Landregen zuzählen. Meitzen (a. a. O.) sondert die Beobachtungen von 40 Regenstationen, welche über das ganze preußische Staatsgebiet zerstreut liegen, in 8 Gruppen von möglichst übereinstimmendem Charakter und findet danach hinsichtlich der Regenverteilung auf die einzelnen Monate des Jahres folgende Zahlen.

	Es fallen von der Regenmenge des Jahres Prozente im										
	Dez.	Januar	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.   Nov.
Gruppe 1: Südwestdeutsche Landschaft (Birkenfeld u. s. w.).											
Grenzen . .	9—14	5—11	6—8	7—8	4—6	6—8	7—10	9—10	8—9	7—9	10   8—11
Durchschn.	11,33	8,00	7,00	7,66	5,00	7,00	8,33	9,66	8,66	8,00	10,00   9,33
Gruppe 2: Holstein und Nordseeinseln.											
Grenzen . .	9—11	6—8	6—8	6—7	4—6	5—7	5—9	8—10	11—12	11—12	9—14   9—11
Durchschn.	9,80	7,00	6,60	6,60	4,80	6,00	7,20	8,20	11,40	11,40	11,00   10,00

\*) Vergl. u. a. in den Jahresberichten des Berliner Zweigvereins der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, 1884 ff., worin über die „Ergebnisse eines in der Umgegend von Berlin eingerichteten Regenfeldes“ Mitteilungen gemacht werden.



Es fallen von der Regenmenge des Jahres Prozente in												
	Dez.	Januar	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.
Gruppe 3: Nordseeküste.												
Grenzen . .	7—9	6—7	5—6	5—8	4—6	6—8	8—10	9—11	12	10—14	9—12	8—10
Durchschn.	8,20	6,40	5,80	6,40	5,20	6,40	8,80	<b>10,00</b>	<b>12,00</b>	<b>10,40</b>	<b>11,20</b>	9,00
Gruppe 4: Ostseeküste.												
Grenzen . .	7—9	5—8	5—7	5—7	4—7	7—9	9—11	9—12	12—14	8—13	7—9	7—10
Durchschn.	7,43	6,29	5,57	5,86	5,43	7,86	<b>10,14</b>	<b>11,14</b>	<b>13,14</b>	<b>10,43</b>	8,29	8,43
Gruppe 5: Nördlicher Teil von Mitteldeutschland (Berlin, Hannover, Frankfurt, Köln).												
Grenzen . .	7—9	7—8	5—7	6—7	6—7	8—9	10—12	11—13	10—11	7—8	8—8	8—9
Durchschn.	8,00	7,00	6,25	6,50	6,25	8,50	<b>11,00</b>	<b>12,25</b>	<b>10,50</b>	<b>9,75</b>	8,00	8,50
Gruppe 6: Westlicher Teil von Mitteldeutschland (Kreuznach, Marburg, Kassel)												
Grenzen . .	7—10	6—8	6	6—7	6—6	7—12	10—11	10—13	9—12	7—9	7—9	8—9
Durchschn.	8,66	7,33	6,00	6,33	6,00	<b>9,00</b>	<b>10,66</b>	<b>11,66</b>	<b>10,00</b>	8,00	8,00	8,33
Gruppe 7: Ebenes Mitteldeutschland vom Osten zum Westen (Halle bis Posen).												
Grenzen . .	5—6	5—6	5—6	6—7	6—9	7—10	11—15	12—15	10—14	7—10	6—8	6—8
Durchschn.	5,83	5,17	5,66	6,50	6,83	<b>9,00</b>	<b>12,83</b>	<b>13,50</b>	<b>12,17</b>	8,33	6,83	7,17
Gruppe 8: Harz und Riesengebirge.												
Grenzen . .	6—11	4—9	4—9	7—9	5—8	7—11	9—13	8—13	9—12	6—9	6—8	7—10
Durchschn.	8,43	6,29	6,71	8,00	6,71	<b>8,00</b>	<b>10,71</b>	<b>11,43</b>	<b>10,29</b>	7,71	7,29	8,43

Vermöge der in der Tabelle eingehaltenen Reihenfolge tritt die Verschiebung, welche in den „Regenmonaten“ nach den Besonderheiten der Landschaft stattfindet, deutlich hervor. Die südwestdeutsche Landschaft hat Winterregen, und zeichnet sich übrigens durch eine weitgehende Gleichmäßigkeit des Regenfalles der einzelnen Monate aus. — In den nördlichsten Gebietsteilen Deutschlands rückt die Regenzeit in den Herbst vor, erstreckt sich aber auch noch in den Sommer hinein; unter den einzelnen Monaten herrschen größere Verschiedenheiten. — Weiter gegen den Sommer hin verschieben sich an der Nordseeküste die Regenmonate (Gr. 3), und die Regenmenge, welche auf die einzelnen Monate trifft, ist oft ziemlich ausgeglichen. — Die Ostseeküste und der nördliche Teil von Mitteldeutschland (Gr. 4 und 5) haben ihre Regenzeit im Hochsommer; die Regenmengen der einzelnen Monate sind wenig ausgeglichen, woraus zu schließen, daß während in den Gr. 1—4 die Landregen vorherrschen, in den Gruppen 5 und 6 der Regen mehr als Gewitterregen fällt. — In dem größeren Teil von Mitteldeutschland (Gr. 6, 7, 8) beginnt die Regenperiode schon im Frühjahr mit dem Monat Mai und geht mit dem Sommer (August) aus; auch hier handelt es sich vorzugsweise um Gewitterregen, deren Maximum in den Monat Juli fällt.

Die Monatsmaxima bewegen sich meist zwischen 11 und 12 %, die Minima zwischen 5 und 6 %. Der dritte Teil des Jahres (Januar bis April) ist in ganz Deutschland relativ regenarm, ein zweites Drittel regenreich, nur ein Drittel erhält daher durchschnittliche Regenmengen.

§ 111. Ueber die Bedeutung, welche die vorstehend mitgeteilten Thatsachen für eine Reihe technischer Maßnahmen (die Straßenpflege u. s. w.) haben, geht die



Bedeutung einer andern Thatsache, der der Regenhäufigkeit, d. h. der mittleren Zahl der Tage mit Regenfällen in den einzelnen Monaten, noch hinaus. Hierzu seien folgende Zahlen als bloße Beispiele mitgeteilt:

Stadt	Es treffen Regentage auf die Monate												Zu- sammen
	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Oktober	Novemb.	
Wien . . . . .	15	11	10	14	12	13	14	15	12	11	14	14	155
Heidelberg . . . . .	11	15	14	13	17	13	15	18	14	11	17	15	173
Köln . . . . .	12	10	10	11	10	11	11	12	11	9	11	11	130
Kassel . . . . .	—	—	—	15	10	13	12	16	14	13	15	—	166
Leipzig . . . . .	13	11	10	14	13	13	12	18	13	10	16	13	156
Berlin . . . . .	16	14	13	15	12	12	14	14	14	12	14	14	164
Breslau . . . . .	—	—	—	14	10	11	13	12	11	11	12	—	143
Hamburg . . . . .	20	17	13	15	14	16	15	13	17	17	19	20	196
Kiel . . . . .	—	—	—	17	12	14	14	18	18	18	20	—	203
Swinemünde . . . . .	—	—	—	15	10	13	13	17	16	14	17	—	178
Neufahrwasser (Danzig) . . .	—	—	—	16	11	12	13	15	15	13	15	—	168

200 Regentage und darüber im Jahr werden nur in westlich gelegenen Küstenplätzen Deutschlands beobachtet; im Binnenlande hält sich die Zahl der Regentage in der Nähe von 150.

Je größer die Zahl der Regentage, um so gleichmäßiger ist die Verteilung des Niederschlags über das Jahr, je größer die dauernde Einhaltung eines gewissen Durchschnittszustandes, der für viele Maßregeln der Technik günstig ist. Andererseits hat aber die größere Zahl der Regentage auch eine Vermehrung der Feuchtigkeit der Straßen, Höfe u. s. w., mithin auch verminderte Reinlichkeit und höheren Kostenaufwand für Reinhaltung der Straßen zur Folge.

§ 112. Aus der Zahl der Regentage eines Monats berechnet sich unter Zuhilfenahme der Regenhöhe desselben Monats ein Mittelsatz für die Niederschlagsmenge, die auf 1 Tag entfällt. Indem die Zahlen der Regentage in den einzelnen Monaten in viel engeren Grenzen schwanken als die Zahlen der Niederschlagsmengen, ersieht sich, daß die Regendichte in den einzelnen Monaten stark wechselt, etwas abgeschwächt auch nach den Jahreszeiten.

Nach Meitzen (a. a. O.) ergeben sich als Mittel aus den Regendichten eines Tages von 25 über das ganze preußische Staatsgebiet verteilten Regenstationen:

Dezember bis Februar (Winter) 3,22 mm; März bis Mai (Frühling) 3,58 mm; Juni bis August (Sommer) 5,48 mm; September bis November (Herbst) 4,12 mm.

Einen näheren Einblick in die Wechsel der Regendichte und die Häufigkeit, mit welchen gewisse Regendichten wiederkehren, gewährt das Beispiel Berlins. Aus der 44jährigen Beobachtungsperiode 1848—1891 entfallen auf 1 Jahr\*):

13,4 Tage mit Niederschlägen von	0,0— 0,2 mm Höhe
42,0 " " "	0,3— 1,0 " "
70,0 " " "	1,1— 5,0 " "
25,0 " " "	5,1—10,0 " "

\*) Hellmann, Das Klima von Berlin. Abhandl. des Königl. Preuß. Meteorol. Instituts. Bd. 1, Nr. 4. Berlin.



7,0	Tage mit Niederschlägen von 10,1—15,0 mm Höhe
2,8	" " " " 15,1—20,0 " "
2,7	" " " " mehr als 20 mm Höhe
1,4	" " " " 25 " "
0,7	" " " " 30 " "

Nach Beobachtungen in Chemnitz während 1881—1886 entfallen dort auf 1 Jahr:

9	Tage mit Niederschlägen	> 15 mm in 1 Tag
5	" " "	> 20 " " " "
3	" " "	> 25 " " " "
2	" " "	> 30 " " " "
1	" " "	> 35 " " " "
1	" " "	> 40 " " " "

und ebenso:

5	Tage mit Niederschlägen	> 10 mm in 1 Stunde
4	" " "	> 15 " " " "
3	" " "	> 20 " " " "
2	" " "	> 25 " " " "
2	" " "	> 30 " " " "
1	" " "	> 35 " " " "

§ 113. Für den Betrieb einer Kanalisationsanlage ist es von Interesse, einige Kenntnis von der Dauer der Regen- und Trockenperioden zu besitzen, weil hiernach z. B. auf das Erfordernis künstlicher Spülungen der Anlage ein ungefährender Schluß gezogen werden kann. In Meitzen (a. a. O.) finden sich für zwei Stationen — eine im Westen: die Insel Borkum und eine im Osten: Breslau — die betreffenden Angaben zusammengestellt. Darnach gab es in der 10jährigen Beobachtungsperiode 1876—1885:

				In Borkum	In Breslau
Regen auf 1 Tag beschränkt				147	349
" an 2 aufeinander folgenden Tagen				109	143
" " 3 " " " "				73	106
" " 4 " " " "				49	42
" " 5 " " " "				40	16
" " 6 " " " "				29	14
" " 7 " " " "				25	6
" " 8 " " " "				14	4
" " 9 " " " "				15	2
" " 10 " " " "				5	0
" " 11 " " " "				2	0
" " 12 " " " "				8	3
" " 13 " " " "				5	0
" " 14 " " " "				2	0
" " 15 " " " "				3	1
" " 16—28 " " " "				8	0

In derselben 10jährigen Periode wie vor kamen Perioden ohne Niederschläge (Trockenperioden) vor:

				In Borkum	In Breslau
Von 1tägiger Dauer				217	232
" 2 " " " " " "				106	156
" 3 " " " " " "				66	79
" 4 " " " " " "				42	64
" 5 " " " " " "				23	50
" 6 " " " " " "				21	20
" 7 " " " " " "				15	29



Von	Stägiger Dauer	In Borkum	In Breslau
9	"	16	13
" 10	"	2	11
" 11	"	5	7
" 12	"	6	7
" 13	"	4	4
" 14	"	3	6
" 15	"	2	1
" 16	"	1	1
" 17	"	1	1
" 20	u. länger. Dauer	0	4

Eintägige Regenfälle und solche, die sich 2 oder 3 Tage hintereinander wiederholen, sind also im Osten bei weitem häufiger als im Westen. Bei Regenfällen, die sich über eine vier- und mehrtägige Periode erstrecken, kehrt sich das Bild jedoch um; solche sind im Westen die häufigeren. Dreiwöchentliche Regenperioden kommen im Osten überhaupt nicht vor, im Westen nicht selten.

Bei den Trockenperioden herrscht zwischen Westen und Osten kein so großer Unterschied wie bei den Regenperioden, wenigstens nicht in denjenigen von kürzerer Dauer. Indessen sind Trockenperioden von längerer Dauer im Osten häufiger als im Westen. Solche von 10 Tagen Dauer bis 25 Tage kamen in dem zu Grunde liegenden Zeitraum im Osten 32mal, im Westen dagegen nur 23mal vor.

Wird das Gebiet des preußischen Staates als Ganzes genommen, so übertrifft nach der Tabelle S. 175 die Zahl der Tage ohne Niederschlag diejenige mit Niederschlag; doch ist (nach Meitzen) bei Perioden von 2—4 Tagen Dauer die größere Wahrscheinlichkeit auf Seiten solcher mit Niederschlag, eine Thatsache, die freilich aus den beiden letzten Tabellen nicht gefolgert werden kann.

Einen tieferen Einblick in die Dauer von Perioden ohne Niederschläge, bezw. mit sehr geringen Mengen solcher, kann man aus den Veröffentlichungen des preußischen Meteorologischen Instituts (Berlin, Asher) für das Jahr 1893 entnehmen; in diesem Jahre wurden Trockenperioden von so langer Dauer beobachtet, wie seit 1848 nicht vorgekommen waren. Am angeführten Ort werden als Dauerperioden solche Zeiträume bezeichnet, in denen kein meßbarer Niederschlag (weniger als 0,2 mm) fällt. Aus praktischen Gründen nimmt man etwa 14 Tage als untere Grenze einer Dauerperiode an. Dauert die Periode länger als 14 Tage, so bezeichnet man dieselbe als Trockenperiode, in die indessen auch noch Tage mit sehr geringfügigem — noch meßbarem — Niederschlag eingerechnet werden.

Nach dieser Einteilung tritt eine Dauerperiode in dem nordöstlichen Teile von Preußen durchschnittlich alle 2 Jahre ein, im Südwesten (Westfalen und Rheinland) dagegen in 2 Jahren je 2—3; die mitteldeutsche Landschaft nimmt Zwischenstellungen ein. Dauerperioden von 3wöchentlicher Dauer kamen im nordöstlichen Deutschland 1mal in je 15 Jahren, in Rheinland dagegen alle 3—4 Jahre vor. Die absolut längsten Dauerperioden bewegten sich in den Grenzen zwischen 24 und 37 Tagen. An den preußischen Stationen und denjenigen der benachbarten obengenannten kleineren Staaten, im ganzen an 1939 Stationen, wurden im Jahre 1893 1599 Trockenperioden beobachtet. Davon umfaßten:

92 = 5,75 %	die Dauer von	15—30 Tagen
368 = 23,00	" " " "	30—40 "
666 = 41,65	" " " "	40—50 "
336 = 21,00	" " " "	50—60 "
51 = 3,19	" " " "	60—70 "
54 = 3,38	" " " "	70—80 "
0 = 0,00	" " " "	80—90 "
31 = 1,97	" " " "	90—100 "
1 = 0,06	" " " "	über 100 "

Büding, Städtereinigung. 1.



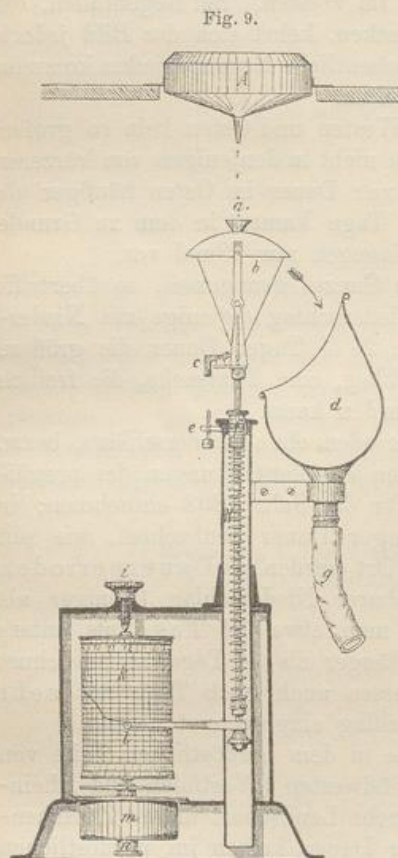
Die minder langen Perioden entfallen auf das Gebiet östlich der Oder, die langen, teilweise 10 Wochen und darüber dauernden, auf das südwestliche Deutschland. Trockenperioden von 6—7 Wochen Dauer waren die häufigsten.

Genaueres zur Sache ist in der angegebenen Quelle nachzusehen.

§ 114. Die in den § 109—112 enthaltenen Mitteilungen befassen sich mit demjenigen, was allen Niederschlägen gemeinsam ist; sie gehen auf Niederschläge, welche der Wassermenge nach, die sie in kurzer Zeit liefern, als „außergewöhnliche“ bezeichnet werden müssen, nicht ein. Je nachdem man die Grenze mehr oder weniger weit nach unten legt, kann man Niederschläge hierher rechnen,

die in 1stündiger Dauer 10 mm Regenhöhe und darüber ergeben, bzw. ergeben würden, wenn die Dauer des Niederschlags die Zeitdauer von 1 Stunde erreicht hätte; letzteres ist für außergewöhnlich heftige Niederschläge in der Regel nicht der Fall. Regenfälle solcher Art kommen kaum anders als in der Form von Gewitterregen vor; bei außergewöhnlicher Schwere werden Gewitter vom Volksmunde als „Wolkenbrüche“ bezeichnet.

Sichere Angaben über außergewöhnliche Niederschläge sind in der Litteratur nur spärlich zu finden; die Unsicherheit bezieht sich insbesondere auf die Dauer solcher Niederschläge. Letztere liegt in der Beobachtungsweise, die nur auf die einfache Feststellung von Tagessummen eingerichtet ist, und es im allgemeinen dem guten Willen des Beobachters überläßt, auch zwischenzeitliche, mit Mühe verbundene Feststellungen zu machen. Diese Lücke der Beobachtungen würde mit Sicherheit auch nur durch die allgemeine Einführung selbstregistrierender Regenmesser auszufüllen sein, die bei den großen Kosten solcher Apparate bisher nur ausnahmsweise angewendet werden.



Eine von Maurer herrührende Konstruktion eines solchen Regenmessers, die von der mechanischen Werkstatt von Hottinger & Co. in Zürich ausgeführt wird, ist in Fig. 9 dargestellt. Darin ist *a* das Auffanggefäß (von 250 qcm Größe), aus welchem der Niederschlag in ein Kippgefäß *b* entleert wird. Letzteres faßt genau 500 ccm Wasser, unter dessen Gewicht es sich so weit senkt, bis ein kleiner Kniehebel *c* eine Schraube *e* berührt, und dadurch das Ausschütten des Wassers in ein seitlich aufgestelltes Gefäß *d* bewirkt. Das Kippgefäß stützt sich auf eine Spiralfeder, die ihrerseits einen Arm auf und nieder bewegt, der einen Schreibstift *l* trägt. Jedes Ausgießen der Kippchale wird durch den Stift auf einem Papierbogen (als senkrechte Linie) verzeichnet, der um eine Trommel gelegt ist, die durch ein Uhrwerk beständig in Drehung erhalten wird. Der Abstand je zweier Striche markiert daher die Zeit, welche zwischen zwei Ausgüssen der Kippchale verflossen ist, und giebt Auskunft nicht nur über die Gesamtmenge, sondern auch über die — wechselnde — Intensität des Niederschlags.

Beides: Gesamtmenge und Intensität eines Regenfalles sind für die Technik von großer Wichtigkeit; diese kann daher nur wünschen, daß als Ziel die allgemeine Verwendung von selbstregistrierenden Regenmessern verfolgt werde.



In etwas gemildertem Sinne können als außergewöhnliche Niederschläge auch noch solche bezeichnet werden, die während eines Tages die Regenhöhe von 20 mm und darüber ergeben; die Zurechnung zu den außergewöhnlichen Niederschlägen rechtfertigt sich durch den Umstand, daß es sich dabei in der Regel nicht um eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung auf die Dauer des ganzen Tages handelt, sondern der Hauptteil des Niederschlags in einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum — einige Stunden — fällt.

Es liegt über außergewöhnliche Niederschläge eine Sonderveröffentlichung von Hellmann\*) vor, die Mitteilungen über größere Niederschläge sowohl eines Monats, als eines Tages, als auch kürzerer Zeiträume (Stunden) enthält und sowohl bezügliche Beobachtungen aus ganz Deutschland, als auch aus Oesterreich-Ungarn berücksichtigt.

Was Zahlen für einzelne Orte betrifft, so ist auf die angegebene Quelle zu verweisen; hier kann im allgemeinen nur auf die Gesamtergebnisse und die Schlußfolgerungen, die sich aus dem zusammengestellten Material ziehen lassen, eingegangen werden.

§ 115. In der 36jährigen Periode 1848—1883 wurden an 42 preußischen Stationen, die sämtlich im Flachlande liegen, die größten täglichen Niederschlagshöhen in den Grenzen von 46—116 mm liegend gefunden; am häufigsten sind unter den Maxima Werte zwischen 60 und 70 mm vertreten. Wenn man die Mittelzahlen aus den für jede Station (bis 1883) gefundenen größten Regenhöhen berechnet, so bewegen sich diese in den Grenzen 25 und 51 mm; am häufigsten treten Werte zwischen 30 und 40 mm auf. Es läßt sich danach sagen, daß im ebenen Norddeutschland das mittlere Tagesmaximum der Regenfälle von 30—40 mm beträgt und der wahrscheinliche Wert desselben 35 mm ist.

Viel größer sind die möglichen Tagesmaxima. Hellmann (a. a. O.) folgert aus dem beigebrachten Material, daß im ebenen Norddeutschland überall ein Tagesmaximum von mindestens 100 mm gewärtigt werden muß, und daß im gebirgigen Norddeutschland häufig eine Erhöhung auf 150 mm erwartet werden kann.

Im Harz ist (1855) ein Tagesregenfall von 248 mm, im Riesengebirge sind (1887) an mehreren Stationen Niederschläge, die zwischen 227 und 241 mm wechselten, festgestellt worden. Meitzen (a. a. O.) giebt für 17 preußische Stationen die Maxima der täglichen Regenhöhen zu 32—115 mm an und für 7 Stationen die in der Dauer von nur 12½ Stunden gefallen Regenhöhen zu 60—127 mm.

Aus dem Jahre 1892 liegt eine Beobachtung vor, daß schwere Regenfälle mehrere Tage hintereinander wiederkehren. An zwei ostpreußischen Stationen fielen in den 4 Tagen 19.—22. Juli nacheinander:

Engelstein . .	51,3 — 27,5 — 74,0 — 25,0 mm,	zusammen 177,8 mm Regen
Lablacken . .	30,9 — 35,5 — 76,0 — 24,6 „	„ 167,0 „ „

Dieser sehr außergewöhnliche Regenfall erreichte auch eine ganz außergewöhnliche Ausdehnung, indem er sich fast über die ganze Provinz Ostpreußen (37 000 qkm Größe) ausbreitete; an einer Anzahl Stationen blieben die Regenmengen nicht weit hinter den oben mitgeteilten zurück. (Vergl. Ergebnisse der Niederschlagsbeobachtungen im Jahre 1892. Veröffentlichungen des K. Preuß. Meteorolog. Instituts. Berlin 1894.)

Wenn man die größten Regenmengen eines Tages auf die 24 Stunden desselben gleichmäßig verteilt, so ergeben sich, unter Annahme von 100 mm Niederschlag,

\*) Hellmann, Größte Niederschlagsmengen in Deutschland u. s. w. Separatabdruck aus der Zeitschr. des Kgl. Preuß. Statist. Bureau. Jahrg. 1884. Berlin 1884.



pro Stunde Regenhöhen von etwa 4 mm. Das ist eine Höhe, die von Landregen gewöhnlicher Dichte auch kaum erreicht zu werden pflegt, daher etwa die untere Grenze außergewöhnlicher Niederschläge kürzerer Dauer bezeichnet. Gerade die heftigeren Niederschläge kürzerer Dauer sind es aber, nach welchen die Abmessungen aller Hauptteile einer Kanalisationsanlage festgelegt werden; es ist deshalb notwendig, auf diese Art von Niederschlägen etwas näher einzugehen.

Einerlei, um welchen Ort es sich handelt, so kommen derartige Niederschläge — fast immer Gewitterregen — nur mehr oder weniger selten vor, um so seltener, je heftiger sie sind, d. h. je mehr Regen in kurzer Zeit, oder, genauer, eine je größere Regenhöhe dieselben in der Zeiteinheit liefern. Die heftigsten Regen dieser Art dauern erfahrungsmäßig, mit seltenen Ausnahmefällen, nicht länger als Bruchteile einer Stunde, während die weniger heftigen sich über mehrere Stunden erstrecken können. Diese Verschiedenheit giebt ein gut passendes Einteilungsmerkmal ab.

Bisher war es meist gebräuchlich, die Regendichte durch Zurückführung auf die Stunde als Einheit auszudrücken, auch bei denjenigen Regenfällen, die nur Bruchteile einer Stunde dauern. Es leuchtet ein, daß dies Verfahren Bilder liefern kann, welche sich von der Wirklichkeit allzuweit entfernen, und es scheint das neuere Verfahren von Hellmann passend gewählt, der für die Regen kürzerer Dauer die Minute als Zeiteinheit annimmt. Hellmann ordnet alle Regenfälle in 8 Gruppen ein, und zwar bezw. Regen von 1—5, 6—15, 16—30, 31—45, 46—60 Minuten, 1 St. 1'—2, 2 St. 1'—3 und mehr als 3 Stunden Dauer. Indem er aus den Beobachtungen an den preussischen Stationen in den 3 Jahren 1891—1893 aus jeder der 8 Gruppen die Regenfälle größter Intensität aussonderte, und danach bezw. 374, 398 und 464, insgesamt also 1236 Regenfälle in Betracht zog, ergab sich folgende Regendichte:

Regendauer	Millimeter Regenhöhe in 1 Minute			
	1891	1892	1893	alle 3 Jahre zusammen
1— 5 Minuten . . . . .	3,90	1,32	3,52	3,49
6—15 „ . . . . .	2,13	1,37	2,36	2,11
16—30 „ . . . . .	2,09	1,00	1,27	1,52
31—45 „ . . . . .	1,07	0,90	0,82	0,92
46—60 „ . . . . .	1,06	0,73	0,69	0,83
1 Stunde 1 Minute bis 2 Stunden . .	0,55	0,91	0,80	0,80
2 Stunden 1 Minute bis 3 Stunden . .	0,52	0,46	0,40	0,47
3 „ 1 „ und mehr . . . . .	0,29	0,25	0,30	0,28

Aus einer größeren Anzahl anderweiter Beobachtungen, zusammen 105, worunter auch die von Hellmann in der oben erwähnten Sonder-Veröffentlichung mitgeteilten einbegriffen sind, konnte Verfasser folgende Reihe berechnen:

Regendauer	Regenhöhe in 1 Minute
6—15 Minuten	1,50 mm
16—30 „	1,08 „
31—45 „	0,60 „
46—60 „	0,74 „
1 Stunde 1 Minute bis 2 Stunden	0,47 „
2 Stunden 1 Minute bis 3 Stunden	0,35 „
3 „ 1 „ 5 „	0,21 „
5 „ 1 „ 10 „	0,16 „
über 10 Stunden	0,11 „



Die Reihen weisen hinreichende Regelmäßigkeit auf; die letzte liefert aber erheblich kleinere Werte als die andern. Man ersieht aus den Reihen, daß mit der längeren Regendauer die Regendichte stark abnimmt, daß die allerkürzesten, nur ein paar Minuten dauernden Regen bis 4 mm Regenhöhe in 1 Minute ergeben können, solche bis 15 Minuten bis 2,5 mm, solche bis 30 Minuten bis 2 mm, solche bis 1 Stunde aber nur noch bis 1 mm. Regen von ein paar Stunden Dauer bringen es nicht mehr auf 1 mm Höhe und solche von 5 Stunden Dauer höchstens auf 0,25 mm. Diese Zahlen sind aber Durchschnittszahlen, von denen selbstverständlich in ganz außergewöhnlichen Fällen nach oben hin noch Abweichungen stattfinden.

Entsprechend dem allgemeinen Charakter der Zahlen muß man die Tatsache beachten, daß in kürzeren Zeitabschnitten als den oben angenommenen die Regendichte wesentliche Abweichungen von den mitgeteilten Durchschnitten aufweisen wird, und um so größere, je größer die Regendauer ist. Um eine klare Anschauung zu gewinnen, kann man einen Regenfall von stark wechselnder Dichte in mehrere einzelne Fälle zerlegen, von denen jeder seine besondere Dichte hat. Wenn z. B. in einem längeren Regenfall geringer Dichte ein kurzer Abschnitt mit großer Dichte vorkommt, so bietet dies Verfahren das einzige Mittel, um festlegen zu können, ob dieser Regen im stande war, eine Ueberfüllung der Kanäle hervorzurufen oder nicht.

Es ist nun in zahlreichen Fällen beobachtet worden, daß, bei nur einiger Dauer eines Regens, die größte, in einem kürzeren Zeitabschnitt stattfindende Regendichte etwa das Zweieinhalbfache der durchschnittlichen Regendichte erreicht. Bei einem 1stündigen Regenfall, der die durchschnittliche Dichte = 0,8 mm in 1 Minute erreicht, würde hiernach die größte, vielleicht nur während einiger Minuten stattfindende Dichte bis  $2,5 \cdot 0,8 = 2,0$  mm in 1 Minute sich ergeben können, bei einem 30 Minuten dauernden sogar bis  $2,5 \cdot 1,5 = 3,75$  mm. An den preussischen Stationen sind in den Jahren 1891 und 1892 thatsächlich Regendichten in 1 Minute beobachtet worden von bezw. 2,32 mm, 2,50 mm, 2,60 mm, 3,52 mm während 5 Minuten Dauer, und 2,32 mm, bezw. 3,90 mm während 3 Minuten Dauer. Mit der Dauer des Regenfalls erhöht sich der Unterschied zwischen der durchschnittlichen und der größten Regendichte bedeutend; man darf demzufolge die oben angegebene Zahl  $2\frac{1}{2}$  nur bei Regenfällen, die bloß eine gewisse mäßige Zeitdauer erreichen, anwenden; wahrscheinlich ist 1 Stunde als obere Grenze der Anwendungsfähigkeit anzusehen.

Zum Erweis dieser Thatsache kann das Beispiel eines Regenfalles dienen, der am 3. Juni 1878 in Zürich niederging und bei 11 Stunden Dauer durchschnittlich 0,15 mm Regenhöhe in 1 Minute ergab. Dagegen fielen während der Zeitdauer von 30 Minuten 0,85 mm in 1 Minute und in nur 10 Minuten Dauer 1,27 mm minutlich. Hiernach würde die obige Verhältniszahl bezw.  $5\frac{2}{3}$  und bezw.  $8\frac{1}{2}$  gewesen sein, während wenn man 30 Minuten als Dauer des heftigen Regens auffasst, sich das Verhältnis =  $1,27 : 0,85 = 1,5$  ergeben würde.

Es ist versucht worden, die Beziehungen, welche zwischen der größten Regendichte und der Zeitdauer eines Regenfalles stattfinden, in einer mathematischen Formel zum Ausdruck zu bringen; solche Versuche sind namentlich von amerikanischen Ingenieuren gemacht worden\*). Der einfachste, aber, wie man sieht, nur sehr rohe Ausdruck hat die Form:

$$D_m t = a,$$

und es bezeichnen in derselben  $D_m$  das Maximum der Regendichte,  $t$  die Zeitdauer des Regens,  $a$  eine Konstante, deren Wert den örtlichen Verhältnissen zu entnehmen

\*) Kuichling, Report on the proposed Trunk-Sewer for the East-Side of the City of Rochester. Rochester 1889.



ist. Größere Annäherungen an die Wirklichkeit als diese Formel, in welcher  $D_m$  in demselben Verhältnis abnimmt, als  $t$  zunimmt, wird folgende Formel ermöglichen:

$$D_m = b - ct,$$

worin zwei Konstanten  $b$  und  $c$  vorkommen, deren Wert aus Beobachtungen einer größeren Anzahl von Fällen entnommen werden muß.

Es erscheint nicht zulässig, von Formeln, die auf rein lokalen Verhältnissen sich aufbauen, in andern Orten mit abweichenden Verhältnissen Gebrauch zu machen.

§ 116. Wie heftige Regenfälle nur beschränkte Dauer erreichen, so pflegen dieselben auch nur eine beschränkte räumliche Ausdehnung zu erreichen. Zu diesem Punkte liegt aber Beobachtungsmaterial bisher erklärlicherweise nur sehr spärlich vor. Was vorhanden ist, erweist, daß sehr heftige Regenfälle sich auch über weite Gebiete erstrecken können. Ein derartiger Fall ist bereits S. 179 erwähnt worden. Wie aber die Dichte eines und desselben Regens zeitlichen Wechseln unterworfen ist, so auch örtlichen. Immer bilden sich sogen. Regenzentren, in deren Umgebung die Regendichte diejenige in der weiteren Umgebung um ein Mehr oder Weniger übertrifft. Das Gebiet der größten Dichte ist immer von beschränkter Ausdehnung. Es kann, wie vielfache Beispiele lehren, auf ein paar hundert Hektaren beschränkt bleiben. Kuichling teilt ein paar andre mit\*).

Ein Regen am 3. und 4. Oktober 1869 lieferte:

203 mm Regenhöhe auf einem Gebiet von	105 × 45 = 4725 qkm
228 " " " " " "	80 × 34 = 2720 "
254 " " " " " "	55 × 24 = 1320 "
280 " " " " " "	32 × 14 = 448 "

Ein anderer Regen vom 10.—14. Februar 1886 ergab:

100—127 mm Regenhöhe auf einem Gebiet von	7120 qkm
152—178 " " " " " "	3880 "
203 " " " " " "	1940 "

Mit der Regendichte wird das Regengebiet enger. Da nun mit der Dichte die Regendauer abnimmt, ist zu folgern, daß Regen von kürzerer Dauer auch kleinere Ausdehnung haben. Je größer die Regendichte und je kleiner die Zeitdauer eines Regenfalles, um so kleiner wird das Gebiet sein, über welches derselbe sich erstreckt. Kuichling glaubt nach einigen Beobachtungen, daß Regen von 15 Minuten Dauer sich über ein Gebiet von 15 qkm (1500 ha) verbreiten können, eine Annahme, für die nach Beobachtungen auch in Deutschland einige Wahrscheinlichkeit besteht, von der aber auch große Abweichungen möglich sind. Es kommen Regenfälle kürzester Dauer vor, deren räumliche Ausdehnung nicht über einige wenige Quadrat-kilometer hinausreicht. Der Sicherheit wegen wird jedoch anzunehmen sein, daß, abgesehen von den Gebieten, welches Großstädte bedecken, selbst kleine heftige Regenfälle sich über das ganze Entwässerungsgebiet ausbreiten werden.

§ 117. Auch was die Häufigkeit schwerer Regenfälle betrifft, ist das vorliegende Material recht lückenhaft, besonders aus dem Grunde, daß Regenfälle, die während der Nachtstunden vorkommen, in der Regel nicht bemerkt werden und andere, die tagsüber vorkommen, absichtlich, oder weil kein Zwang vorliegt, als besonders schwere vermerkt worden. Nur unter einem entsprechenden Vorbehalt erfolgt daher

\*) The Post Express. Rochester 1869.



hier die Mitteilung von einigen betreffenden Zahlenreihen; vorangestellt sind diejenigen Zahlen, welche von dem preußischen Meteorologischen Institut während des 3jährigen Zeitraumes 1891—1893 festgestellt worden sind.

Im ganzen handelt es sich in dem gesamten Beobachtungsgebiet (vergl. die Angaben über die Zahl der Regenstationen auf S. 170) um 1236 Fälle. Bei der Gliederung derselben nach der Regenhöhe erhält man folgende Zahlen:

Nr.	Regenhöhe pro		Zahl der Fälle	Prozent- satz	Bemerkungen
	Minute	Stunde			
	mm				
1	0,08—0,16	4,8—9,6	196	15,86	Nur die Regenfälle bis höchstens einschließlich Nr. 8 erreichen die Dauer von 1 Stunde; stärkere sind von kürzerer Dauer.
2	0,17—0,25	10,2—15,0	218	17,65	
3	0,26—0,33	15,6—20,0	211	17,08	
4	0,34—0,42	20,4—25,2	188	15,21	
5	0,43—0,50	25,8—30,0	115	9,30	
6	0,51—0,58	30,6—34,8	74	5,98	
7	0,59—0,67	35,4—40,2	50	4,04	
8	0,68—0,75	40,8—45,0	36	2,92	
9	0,76—0,88	—	34	2,75	Regenfälle von 0,75—1,50 mm Höhe (Nr. 9—17) pro Minute dauern von $\frac{1}{4}$ —1 Stunde.
10	0,84—0,91	—	27	2,19	
11	0,92—1,00	—	22	1,78	
12	1,01—1,08	—	10	0,89	
13	1,09—1,17	—	11	0,89	
14	1,18—1,25	—	6	0,49	
15	1,26—1,33	—	4	0,32	
16	1,34—1,41	—	6	0,49	
17	1,42—1,50	—	4	0,32	Die noch stärkeren Regenfälle (Nr. 18—20) gehen in der Zeitdauer von 15 Minuten bis auf 3 Minuten herab. (Vergl. die Tabelle S. 180).
18	1,51—1,59	—	4	0,32	
19	1,60—1,67	—	4	0,32	
20	1,68—2,00	—	3	0,24	
21	2,01—2,33	—	7	0,57	
22	2,34—2,67	—	3	0,24	
23	2,67—3,90	—	3	0,24	

Man ersieht aus der Zusammenstellung, daß die Regen mit der Zeitdauer bis etwa 1 Stunde 88% aller Fälle, die schwersten, weniger als 1 Stunde dauernden Regenfälle daher nur 12% aller Fälle ausmachen; letztere Fälle sind, entsprechend, nur selten zu erwarten, während auf häufigere Wiederkehr von Fällen, welche unter die 88% zählen, gerechnet werden muß. Aus dem veröffentlichten Material läßt sich ein ganz sicheres Bild von dieser Häufigkeit zwar nicht gewinnen, doch ein ungefähres. Denn die Tabelle ergibt, daß unter 1236 Fällen zu erwarten sind bzw. entsprechend folgende Wahrscheinlichkeiten für die Erwartungen bestehen:

611 Fälle mit mehr als 20 mm Regenhöhe = $\frac{611}{1236}$		0,4943	} Wahrscheinlichkeit.
423 "	25	0,3422	
308 "	30	0,2492	
234 "	35	0,1893	
184 "	40	0,1489	
148 "	45	0,1197	
114 "	50	0,0922	
87 "	55	0,0704	
95 "	60	0,0526	
55 "	65	0,0445	

und übrigens wie folgt:



44 Fälle mit mehr als	70 mm Regenhöhe = $\frac{611}{1236}$	0,0356	Wahrscheinlichkeit
38 " "	75	0,0307	
34 " "	80	0,0275	
28 " "	85	0,0227	
24 " "	90	0,0124	
20 " "	95	0,0162	
16 " "	100	0,0129	
13 " "	120	0,0105	
6 " "	140	0,0049	
3 " "	160	0,0024	

Wenn man nun die jedenfalls für das Flachland der Wirklichkeit nahekommende Annahme macht (vergl. Angaben S. 175, 176), daß ein Regenfall von über 20 mm in 1 Jahre  $2\frac{1}{2}$  mal zu erwarten ist, so würden sich nach den obigen Wahrscheinlichkeiten die zu erwartenden Häufigkeiten schwerer Regenfälle wie folgt ergeben:

Mit mehr als	20 mm in 1 Jahr	2,50 oder in	2 Jahren	5
" " "	25 " " "	1,71 " " "	3 " "	5
" " "	30 " " "	1,25 " " "	4 " "	5
" " "	35 " " "	0,95 " " "	1 " "	1
" " "	40 " " "	0,75 " " "	4 " "	3
" " "	45 " " "	0,60 " " "	3 " "	2
" " "	50 " " "	0,46 " " "	2 " "	1
" " "	55 " " "	0,35 " " "	3 " "	1
" " "	60 " " "	0,26 " " "	4 " "	1
" " "	65 " " "	0,22 " " "	5 " "	1
" " "	70 " " "	0,18 " " "	6 " "	1
" " "	75 " " "	0,15 " " "	7 " "	1
" " "	80 " " "	0,14 " " "	7 " "	1
" " "	85 " " "	0,11 " " "	9 " "	1
" " "	90 " " "	0,10 " " "	10 " "	1
" " "	95 " " "	0,08 " " "	12 " "	1
" " "	100 " " "	0,06 " " "	17 " "	1
" " "	120 " " "	0,05 " " "	20 " "	1
" " "	140 " " "	0,02 " " "	50 " "	1
" " "	160 " " "	0,01 " " "	100 " "	1

Selbstverständlich können die Zahlen ihrer Herleitung nach kein überall zutreffendes Bild gewähren, jedenfalls nicht für Gebirgslandschaften und Gegenden in der Nähe derselben; für das deutsche Flachland aber dürften sie einigermaßen zutreffend sein. Vereinzelt mögen die Häufigkeiten schwerer Regenfälle allerdings größer sein, als die Zahlen angeben; dem stehen aber auch Gegenden gegenüber, in denen die Häufigkeiten geringere sind.

Als Bestätigung können nachfolgende weitere Zahlenangaben dienen:

Unter 185 größeren Regenfällen, die von Kuichling (a. a. O.) in Betracht gezogen wurden, waren:

131 = 70,81 %, welche	6,3 mm	Regenhöhe in 1 Stunde ergaben, bzw. ergeben haben würden.
18 = 9,73 " "	8,5 " "	
9 = 4,86 " "	10,2 " "	
7 = 3,78 " "	12,7 " "	
8 = 4,32 " "	15,2 " "	
10 = 5,41 " "	17,0—23,0 mm	
2 = 1,09 " "	25,4—38,6 " "	

Ein gewisses Bild von der Häufigkeit, mit welcher schwere Regenfälle an einzelnen Orten wiederkehren, gewähren folgende Angaben:

In Stettin ergaben sich aus einer 15jährigen Beobachtungsreihe in 1 Jahr 5,33 Tage mit einer Regendichte von mehr als 13 mm. — In Köln ermittelte man



aus einer 33jährigen Beobachtungsreihe, daß im Jahre auf 2,2 Tage, an welchen mehr als 20 mm Regen fallen, zu rechnen ist. An 0,8 Tagen in 1 Jahr betrug die stündliche Regenhöhe mehr als 20 mm, an 0,42 Tagen mehr als 25 mm, an 0,4 Tagen 0,30 mm und an 0,125 Tagen 40 mm.

Kuichling teilt mit, daß unter 324 stärkeren Regenfällen, die in 40 aufeinander folgenden Jahren niedergingen, sich befanden:

3	mit	Regenhöhen	von	50 mm	in	1 Stunde,	also	0,075	Fälle	in	1 Jahr.
6	"	"	"	38	"	"	"	0,150	"	"	"
11	"	"	"	25	"	"	"	0,275	"	"	"

§ 118. Da die Regenhöhe von 1 mm auf 1 qm Fläche die Wassermenge von 1 l darstellt, so ergibt dieselbe Höhe für 1 ha die Wassermenge von 10 cbm. Bei schweren Regenfällen können daher auf 1 ha in der Dauer von 1 Minute (vergl. Tabelle S. 180) von etwa  $1,0 \cdot 10 = 10$  bis  $4,0 \cdot 10 = 40$  cbm Wasser auf 1 ha niedergehen, oder sekundlich 17—66,7 l. Für 100 ha, die ein nur kleines Stadtgebiet darstellen, ergibt das 1,7—6,7 cbm Wasser, eine Menge, derer unterer Grenzwert schon einen Kanalquerschnitt von nicht unter 1 qm Größe erforderlich machen würde, während es unthunlich ist, für den oberen Grenzwert den Raum in „geschlossenen“ langen Kanälen zu beschaffen.

Es ersieht sich hieraus die Unmöglichkeit, den unterirdischen Kanälen so große Weiten zu geben, daß sie im stande sind, die größten zu erwartenden Regensmengen unmittelbar nach ihrem Niedergehen — gleichzeitig mit dem Regenfalle — abzuführen. Die Unmöglichkeit bleibt sogar noch bestehen, wenn man für die Abflußdauer ein Mehrfaches der Regendauer — vielleicht das Drei- bis Vierfache derselben — annimmt, was bedingt, daß für etwa ebenso lange Zeit das Wasser die Straßen bedecken würde.

Man muß wegen der thatsächlichen Unmöglichkeit bei jeder Kanalisationsanlage darauf verzichten, für die schwersten Regenfälle die nötige Vorflut beschaffen, d. h. in der Weise beschaffen zu wollen, daß die Wasser in gleicher Zeitdauer mit dem Regenfalle in die Kanäle aufnahmefähig sind, sich vielmehr damit begnügen, solche Einrichtungen zu treffen, daß nur die bei schwereren Regenfällen sich ergebenden Wassermengen sofort aufgenommen und abgeführt werden, dagegen für die bei den schwersten Regenfällen erfolgenden Wassermengen „Noteinrichtungen“ treffen. Auch dann noch werden Fälle von örtlich begrenzten Straßenüberschwemmungen bestehen bleiben, bei denen das Wasser erst während einiger Zeit nach Beendigung des Regens vollständig in die Kanäle aufgenommen wird.

Es ist daher die Aufgabe gestellt, eine Grenze zwischen schweren und schwersten Regenfällen zu ziehen.

Man erkennt leicht, daß diese Grenze nicht für alle Orte dieselbe sein kann, für ausgedehnte Orte sogar in verschiedenen Gebietsteilen verschieden zu wählen sein wird, wenn man rationell zu Werke gehen will. In verkehrsreichen Städten bzw. Stadtteilen mag es notwendig sein, daß Wasseransammlungen auf Straßen und Plätzen möglichst verhütet, oder doch auf möglichst kurze Zeiträume beschränkt werden. Für diese muß die Grenze jedenfalls „hoch“ gelegt werden. Dasselbe ist mit Bezug auf niedrig und flach sich breitende Stadtteile oder Straßen der Fall, die außer dem „eigenen“ Wasser vielleicht noch Wasser aus benachbarten höher gelegenen Stadtteilen aufzunehmen haben, auch wenn der Verkehr in den ersteren nur klein ist. In Städten oder Straßen mit erhöhter Lage wird ein nicht sogleich in die Kanäle aufnehmbarer Teil der Regenmenge seinen Weg an der Oberfläche nehmen und rasch verschwinden, sei es in offene Gewässer in der Nähe, sei es zu



Stellen mit natürlichen oder künstlichen Bodenvertiefungen, in denen sein vorläufiger Aufenthalt ohne Schädigung besonderer Zwecke geschehen kann; für solche Oertlichkeiten darf die Grenze zwischen schweren und schwersten Regenfällen „niedrig“ gelegt werden. Weiter kommt bei der Feststellung noch die Oberflächenbeschaffenheit der Straßen u. s. w.: ob undurchlässig oder stark durchlässig, in Betracht. Im ersten Fall scheidet der Faktor der Versickerung mehr oder weniger vollständig aus, weshalb die Grenze hoch zu legen sein wird; im andern verschwindet ein mehr oder weniger großer Teil des Regenwassers im Boden, und darf die Grenze entsprechend niedrig gelegt werden.

Endlich kann die Beschaffenheit des Untergrundes mitsprechen, indem bei leicht bearbeitungsfähigem Boden mit tiefer Lage des Grundwassers technische Schwierigkeiten, die in den Baukosten zum Ausdruck kommen, entfallen, während in felsiger oder ähnlicher Beschaffenheit des Grundes, oder hoher Lage des Grundwassers Umstände gegeben sein können, welche Beschränkung der Kanalweiten und Kanallängen auf das kleinste Maß mehr oder weniger gebieterisch fordern. Im einen Fall darf man die Grenze hoch legen, im andern wird man dieselbe niedriger rücken müssen. An noch andern Faktoren, welche mitsprechen, wie z. B. die Tiefenlage der Kellersohlen in den Gebäuden, möge hier mit einer bloßen Andeutung vorübergegangen werden.

Ist ein Stadtgebiet von einem offenen Gewässer, vielleicht sogar mehreren durchzogen, so wird man diese gerne benutzen, um wenigstens einen Teil der Straßenwasser direkt aufzunehmen. In dieser Weise wird z. B. vielfach in England verfahren. Man bemißt die Kanalweiten nur für gewisse, nicht große Regenmengen, etwa 1 mm Höhe pro Stunde, und sorgt nur dafür, daß der nicht aufnehmbare Teil entweder direkt von der Straße aus, oder durch Vermittelung kurzer unterirdischer Einzelkanäle in die Wasserläufe abfließen kann.

Oefter hat man bei Bemessung der aufzunehmenden Wassermenge Regenhöhen pro Tag, oder auch  $\frac{1}{2}$  Tag zu Grunde gelegt. Es ist anzunehmen, daß dies zuweilen geschehen ist, weil das vorliegende Beobachtungsmaterial keine hinreichende Auskunft über schwere Regenfälle von kürzerer Dauer enthielt. So hat man wohl mit 15—25 mm Regenhöhe pro Tag gerechnet und dann angenommen, daß dieser Regen in 8—12 Stunden fällt, bezw. in derselben Zeit von den Kanälen aufzunehmen ist; hie und da sind zur Sicherheit noch gewisse Zuschläge gemacht worden. Ein derartiges Verfahren muß grundsätzlich als falsch bezeichnet werden. Es ist zu fordern, daß die Straßen möglichst rasch wasserfrei, bezw. daß innerhalb kurzer Zeit größere Wassermengen abgeführt werden, anstatt geringerer auf längere Zeiträume verteilt. Dies führt notwendig dazu, nicht mit Tagesregenhöhen zu rechnen, sondern mit Regen von kurzer Dauer.

Geht man auf letztere ein, so fragt es sich, ob man die Regen kürzester Dauer oder solche von etwas verlängerter zu berücksichtigen hat. Ganz kurze Regen liefern in der Zeiteinheit so große Wassermengen, daß dieselben, wie oben dargelegt wurde, zum Teil zunächst an der Straßenoberfläche verbleiben müssen. Der Uebelstand ist auch überall erträglich, weil bei der Kürze der betreffenden Regenfälle, innerhalb deren, auch bei verlängerter Abflußdauer, das Wasser von den Straßen verschwindet, letztere vielfach noch nicht 1 Stunde erreichen und nur höchst selten darüber hinausgehen wird. Man denke z. B. an Regenfälle bis 15 Minuten Dauer, so wird das Verschwinden des Wassers von der Straße gewöhnlich schon in weniger als 1 Stunde erfolgen; sogar bei Regen bis etwa 20 Minuten Dauer wird dies noch der Fall sein, wenn es sich nicht um Oertlichkeiten ohne oder mit sehr geringem Straßengefälle handelt. Wo nur einiges Gefälle besteht und die Oberflächenbeschaffenheit der Straße dem Abfluß nicht allzu großen Widerstand entgegen-



setzt, kann man sogar annehmen, daß bei  $\frac{1}{2}$ stündigem Regen die Straßen im Laufe von 1 Stunde oder wenig darüber wieder wasserfrei sein werden. Verkehrsstörungen von nicht größerem und noch etwas größerem Umfang müssen und können auch als unvermeidliche Uebel überall ertragen werden; man wird sie im allgemeinen lieber hinnehmen, als sehr erheblich gesteigerte Kosten für vermehrte Leistungsfähigkeit der Kanalisationsanlage tragen.

Danach hat sich in Deutschland fast allgemein die Uebung herausgestellt, für alle diejenigen Teile einer Kanalisationsanlage, die nicht den sogen. Noteinrichtungen zuzählen, Regenfälle von der Dauer von 1 Stunde zu berücksichtigen. Derartige Regenfälle liefern (Tabelle S. 180) Regenhöhen von 0,40—0,75 mm in der Minute und diese ergeben (Tabelle S. 183) von 24—45 mm Regenhöhe in 1 Stunde.

Die Rechnung mit derartigen Regenfällen rechtfertigt sich aus einem durchschlagenden Grunde: Will man wirtschaftlich verfahren, so darf eine Anlage nur für die normale Leistung bemessen sein und es muß für Ausnahmefälle durch Hilfs- oder Noteinrichtungen vorgekehrt werden. Nun erweist die Tabelle auf S. 184, daß schon bei den Regenfällen von 45 mm Höhe nur auf ein einmaliges Vorkommen im Jahr gerechnet zu werden braucht und noch stärkere Regenfälle erst in längeren Zwischenräumen als 1 Jahr wiederkehren. Es wird im allgemeinen unrationell sein, dauernde und kostspielige Einrichtungen für Fälle von solcher Seltenheit zu treffen, wenngleich es außer Frage steht, daß Fälle möglich sind, wo man berechtigterweise die gezogene Grenze überschreiten kann. Diese bilden jedoch die Ausnahme, die in Umständen von mancherlei Art begründet sein kann.

Wie es Ausnahmefälle nach oben geben wird, so auch nach unten hin. Bisher rechnete man in Deutschland vielfach mit letzteren; und wenn auch nicht zu bezweifeln ist, daß die Rechnung mit Regenfällen, welche unter der gezogenen Grenze liegen, oft ihre Berechtigung hat, so steht doch fest, daß oft auch mit Regenhöhen gerechnet worden ist, welche als zu gering erscheinen. 12, 15, 20, 25 mm stündliche Regenhöhe, die oft angenommen worden sind, haben sich nach den Beobachtungen über den Wasserabfluß in Kanälen an manchen Orten als zu gering erwiesen. Vielfach mögen dabei die Forderungen des Technikers finanziellen Rücksichten haben weichen müssen; doch ist es ebenfalls vorgekommen, daß es entweder an zuverlässigem Zahlenmaterial, oder an der nötigen Sorgfalt in der Abschätzung der verschiedenen Umstände und der möglichen üblen Folgen, welche zu geringe Annahmen mit sich bringen, gefehlt hat. Bei Anlagen aus der neueren Zeit sehen wir die Regenhöhen daher gewöhnlich auch höher gegriffen, als es in früherer Zeit meist üblich war.

§ 119. Die zweite Form der Niederschläge, der Schnee, ist hinsichtlich seiner Häufigkeit, Verteilung und Intensität ohne ein erhebliches Interesse für das vorliegende Werk insofern, als bei ihm Unregelmäßigkeiten sich in noch höherem Maße geltend machen, als bei den Regenfällen und als Fälle, in denen er für die Abmessungen der unterirdischen Kanäle bestimmend wäre, sehr selten vorkommen werden; hier handelt es sich um Ausnahmen für ganz bestimmte Oertlichkeiten. Sie können jedoch vorkommen, und es erscheint deshalb nicht überflüssig, hier etwas näher auf die Frage der Wasserhaltigkeit des Schnees, d. h. die Wassermenge, in die eine gewisse Schneemenge beim Auftauen umgewandelt wird, einzugehen. Die in der Litteratur vorkommende Angabe, daß einer Schneehöhe  $x$  eine Wasserrhöhe  $\frac{x}{15}$  oder  $\frac{x}{14}$  entspricht, trifft nicht allgemein, sondern nur unter bestimmten Verhältnissen zu. Im allgemeinen ist dieselbe zu klein, wie durch umfassende Feststellungen erwiesen wird, die Hellmann hat ausführen lassen und deren



Ergebnisse in den Jahrgängen 1891—1893 des Königl. Preuß. Meteorologischen Instituts mitgeteilt sind.

Die Feststellungen sind an 18 Regenstationen laufend ausgeführt worden, an 11 Stationen bisher 3 Jahre lang, an 3 Stationen 2 Jahre lang und an 4 Stationen 1 Jahr hindurch. Die Stationen liegen über den größten Teil des Staatsgebiets verstreut, und die Zahl der bisherigen Feststellungen ist 958. Die Höhe der Schneeschicht wechselte zwischen den Grenzen 1 cm und 1,02 m; die aus allen Zahlen ermittelte Durchschnittshöhe ist 15,48 cm. Wenn man aber die extremen Fälle (alle Schneehöhen von 1 cm und solche über 75 cm) ausscheidet, so bleiben 858 Fälle, die eine durchschnittliche Schneehöhe von 15,95 cm ergeben. Bei Ausscheidung nur der (12) Fälle mit Schneehöhen über 75 cm findet sich als Durchschnittshöhe 14,33 cm. Man erhält den deutlichsten Ueberblick, wenn man die aus je 1 cm Schneehöhe gewonnene Wasserhöhe in Millimeter angiebt und alsdann die Ergebnisse nach der Verschiedenheit der Höhen in Gruppen sondert. Dabei entsteht folgende Tabelle, die für die Wasserhöhe Durchschnittszahlen angiebt:

Nr.	Wasserhöhe für 1 cm in Millimeter	Zahl der Fälle
1	bis 0,5	31 = 3,24 % der Gesamtzahl
2	0,6—1,0	151 = 15,77 " " "
3	1,1—1,5	246 = 25,61 " " "
4	1,6—2,0	219 = 22,86 " " "
5	2,1—2,5	141 = 14,72 " " "
6	2,6—3,0	83 = 8,67 " " "
7	3,1—3,5	59 = 6,16 " " "
8	3,6—4,0	23 = 2,40 " " "
9	4,1—4,5	8 = 0,84 " " "
10	4,6—5,0	5 = 0,52 " " "
11	über 5,0	2 = 0,21 " " "
		= 958 = 100

Nach der Gesamtzahl der Beobachtungen berechnet, ist die durchschnittliche Wasserhöhe  $= \frac{1697,6}{958} = 1,772$  mm und danach das durchschnittliche Verhältnis:  $\frac{\text{Wasserhöhe}}{\text{Schneehöhe}} = \frac{1,772}{15,48} = 0,114$ , rund  $\frac{1}{9}$ . Bei den sehr großen Unterschieden, die sich nach der obigen Tabelle zeigen, wird es sich empfehlen, die extremen Fälle von der Durchschnittsberechnung auszuschließen. Läßt man die Fälle zu 1 bzw. 8 bis 11 oben fort, so erhält man:

$$\text{als angenäherten Durchschnitt der Wasserhöhe } \frac{0,50 + 3,50}{2} = 2,00,$$

$$\text{und danach: } \frac{\text{Wasserhöhe}}{\text{Schneehöhe}} = \frac{2,00}{15,48} = 0,129, \text{ rund } \frac{1}{8},$$

$$\text{als genaueres Resultat aber die Wasserhöhe } = \frac{1587,2}{899} = 1,764, \text{ oder}$$

$$\frac{\text{Wasserhöhe}}{\text{Schneehöhe}} = \frac{1,764}{15,48} = 0,114, \text{ rund } \frac{1}{9} \text{ wie oben.}$$



Bei Ausscheidung der Schneehöhen 1,0 cm und derjenigen 7,75 cm, bzw. nur der letzteren würde man die Verhältniszahlen:

$$0,114 \frac{15,48}{15,95} = 0,111, \text{ rund } \frac{1}{9} \text{ und } 0,114 \frac{15,48}{14,33} = 0,123, \text{ rund } \frac{1}{8}$$

erhalten. Danach wird die Wasserhöhe, sofern es nur auf eine Durchschnittszahl ankommt, am zutreffendsten zu  $\frac{1}{8}$  der Schneehöhe anzunehmen sein. Die obige Tabelle erweist aber, daß die Annahme dieser Zahl unter Umständen zu groben Irrtümern führt; sie könnte die Wasserhöhe sowohl erheblich zu groß als auch erheblich zu klein angeben.

Bleibt man bei den (Durchschnitts-)Zahlen der Tabelle, so zeigt sich, daß selbst nach Fortlassung der Extreme die Wasserhöhe in den Grenzen von  $\frac{0,50}{10} = \frac{1}{20}$  und  $\frac{3,5}{10}$ , etwa  $\frac{1}{3}$  schwankt und wenn man in die Einzelzahlen der Beobachtungen eingeht, sogar in den Grenzen von:

$$\frac{0,20}{10} = \frac{1}{50} \text{ und } \frac{4,2}{10} = \frac{1}{2,4}.$$

Diese sehr großen Unterschiede kommen auf mancherlei Ursachen zurück. Es sind dabei die Schneehöhe, die Lagerungsdauer, die Temperatur, der Wind und endlich der Umstand beteiligt, ob mit dem Schnee zugleich oder nachträglich auf denselben nasse Niederschläge fallen. Die Beobachtungen erweisen, daß die Schneehöhe nur einen geringen Einfluß übt, der vorwiegende Einfluß auf Temperatur und Wind entfällt, die größte Beeinflussung aber stattfindet, wenn mit dem Schnee gleichzeitig Regen fällt. Der Einfluß längerer Lagerung ist aus dem Beobachtungsmaterial nicht feststellbar, weil es sich darin fast durchgehends um Fälle handelt, in denen der Schnee höchstens 24 Stunden gelagert hatte, da die Ermittlungen täglich früh stattgefunden haben.

Auf die Bedeutung von Schneefällen für die Straßenreinigung bzw. Einrichtungen zum Fortschaffen des Schnees wird erst im 2. Teil des Buches einzugehen sein. Hier sei nur noch erwähnt, daß man den Wassergehalt von Schnee, der durch darüber gegangenen Verkehr oder durch Zusammenliegen in Haufen eine größere Dichte erlangt hat, entsprechend den oben mitgeteilten Grenzzahlen auf  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{2}{3}$  annehmen kann, danach 1 cbm von solchem Schnee 333 bis 666 kg wiegen wird.

§ 120. Auf S. 100 ist aus den Normen der Königl. Wissenschaftlichen Deputation die Ansicht dieses Kollegiums über die Beschaffenheit des Wassers von Höfen und Straßen mitgeteilt, die darauf hinausläuft, solche Wasser, was ihre Gefährlichkeit in Bezug auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten betrifft, auf gleiche Stufe mit den häuslichen Brauchwassern zu stellen. Auch wenn mit stattfindender Verdünnung die Infektionsgefahr vermindert werde, dürfe wegen der Möglichkeit, daß ein einziger Keim zum Weiterverbreiten einer Infektionskrankheit geeignet sei, infiziertes bzw. ungereinigtes Straßenwasser nicht in öffentliche Gewässer eingeleitet werden.

In Paris angestellte Untersuchungen\*) haben das Ergebnis geliefert, daß das auf Straßen stehende Wasser stärker verunreinigt sein kann als Kanalwasser.

So wenig nach dem Vorstehenden anzunehmen ist, daß das Wasser von

\*) Durand-Claye im „Bericht über den internationalen Kongreß f. Hygiene und Demographie zu Wien 1887“ Heft IV. Wien.



Straßen und aus der Umgebung von Häusern eine Beschaffenheit besitzt, welche dasselbe im Vergleich zur Beschaffenheit der häuslichen Brauchwasser als harmlos erscheinen läßt, ebensowenig ist es zulässig, die Beschaffenheit von Straßen- und Hofwasser allgemein auf eine und dieselbe Stufe mit häuslichen Brauchwassern zu stellen. Denn von der — zuzugebenden — Möglichkeit, daß ein einziger Keim zum Verbreiter einer Infektionskrankheit werden kann, ist die Wahrscheinlichkeit, daß dies geschieht, durchaus verschieden. Vom Standpunkte der Praxis betrachtet, wird man dem einzelnen Keime eine besondere Bedeutung kaum zugestehen, vielmehr einen beachtenswerten Grad der Gefahr erst dann annehmen, wenn eine gewisse Anzahl von Keimen vorhanden ist. Und nach dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit vermindert sich die Gefahr in demselben Maße, als die Zahl der Möglichkeiten und die Zahl der Gelegenheiten abnimmt. Es wird niemand bestreiten wollen, daß die Anzahl der Gelegenheiten, welche sich dazu bieten, von Straßen- und Hofwasser aus infiziert zu werden, geringer ist, als die Anzahl der Gelegenheiten, von den viel näher zur Hand befindlichen verunreinigten Hauswassern infiziert zu werden. Muß schon hierdurch eine unterschiedlose Beurteilung und Behandlung der Straßen- und Hofwasser als nicht sehr zutreffend angesehen werden, so wird diese Auffassung noch dadurch bestärkt, daß im weiteren Fortgange eines Regenfalles das abfließende Wasser immer reiner wird und bei genügend langer Dauer eines Regens von einiger Dichte im „praktischen“ Sinne des Wortes „rein“ werden kann. Wann und wo dieser Zustand eintritt, ist von einer ganzen Reihe von Umständen abhängig, z. B. der Lage der Straße zum Meridian, freier oder geschützter Lage derselben, der Bevölkerungsdichte der Stadt, der Straßenbreite und dem Straßenprofil, dem Gefälle derselben, der Pflasterbeschaffenheit, der Sorgfalt, welche auf Unterhaltung und Reinigung der Straße verwendet wird, der Verkehrsgröße und Verkehrsart. Es spricht weiter die Art und Größe der Regenfälle mit. Am ungünstigsten ist wahrscheinlich häufiger Wechsel zwischen Feuchtigkeit und Trockenheit; am günstigsten sind lange Trockenperioden mit darauffolgenden stärkeren Niederschlägen.

Aus der Vielheit der mitwirkenden Faktoren erkennt man, daß das Urteil über die Beschaffenheit des Straßen- und Hofwassers nicht in einer einzigen kurzen Formel zusammengefaßt werden kann, vielmehr jeder einzelne Fall für sich beurteilt werden muß. Wie es ganze Orte geben kann, aus denen das abfließende Straßen- und Hofwasser, vom praktischen Standpunkt beurteilt, harmlos ist, kann es auch ganze Orte geben, in denen das gerade Gegenteil stattfindet. Es können auch in demselben Stadtgebiet die Verhältnisse in verschiedenen Teilen desselben sehr ungleich liegen. Thatsächlich werden die Straßenwasser nicht nur aus verschiedenen Orten, sondern auch aus verschiedenen Stadtteilen, was ihre Beschaffenheit anbetrifft, eine wahre Musterkarte von größter Mannigfaltigkeit darstellen. Es gilt dies sowohl mit Bezug auf einen etwaigen Gehalt an Infektionskeimen, als in Bezug auf Schwebestoffe und in gelöster Form im Straßenwasser vorkommende Verunreinigungen.

Die zweite Form der Niederschläge, der gelagerte Schnee, wird im Vergleich zu Straßenwasser gewöhnlich als „rein“ angesehen. Dies ist jedoch irrig; im Gegenteil wird Schnee, der einige Zeit gelagert hat, gewöhnlich hohe Anteile von Schmutz enthalten und ebenso kann derselbe Träger von mehreren Arten höchst gefährlicher Keime sein; es gehören dazu auch Cholera- und Typhuskeime.

Auf die Nutzanwendungen, die sich aus dem Vorstehenden für die Behandlung der Straßen- und Hofwasser ergeben, wird erst an späterer Stelle einzugehen sein.



## 4. Kapitel.

Verdunstung und Versickerung; Festhalten von Meteorwasser  
an der Vegetation.

§ 121. Von dem Meteorwasser kommt nur ein Bruchteil zum Abfluß an der Oberfläche, da ein Teil verdunstet, ein anderer Teil einsickert, ein weiterer Teil die Bodenoberfläche deshalb nicht erreicht, weil er auf Pflanzenbestände (Feld und Garten, Bäume und Wälder) fällt, die ihn festhalten, endlich ein gewisser Teil nicht abfließt, weil er zur Bildung des nötigen Abflußgefälles verbraucht wird.

§ 122. Verdunstung. Die durch Verdunstung an der Regenmenge sich ergebende Minderung der Abflußmenge ist von einer großen Reihe von Umständen abhängig, in besonderem Maße von der Dauer des Regensfalls und von dem Sättigungsdefizit der Luft; alsdann kommt die Lage: ob frei oder geschützt, in Betracht.

Den beiden erstgenannten Größen läuft die Verdunstungsmenge einfach proportional. Ebenfalls ist dieselbe der Fläche proportional, von der die Verdunstung stattfindet. Geschlossene Wasserflächen werden danach geringere Verdunstungsmengen (bezogen auf die Wassermengen) liefern, als die Umflächen der Regentropfen selbst und die feuchten Bodenschichten von körniger Struktur; doch sprechen bei der Verdunstung, die aus Bodenschichten stattfindet, noch anderweite physikalische und chemische Faktoren mit (vergl. S. 59 ff.).

Das Sättigungsdefizit der Luft, d. h. der Unterschied zwischen der beim Zustande der Sättigung in der Luft vorhandenen Feuchtigkeitsmenge und der in derselben wirklich vorhandenen Menge, ist nur zum Teil durch die Temperatur bestimmt, zum andern Teile von der Lage der verdunstenden Flächen zum Meridian, und ferner davon abhängig, ob die Lage frei oder gedeckt ist, ob Windstille oder Luftbewegung stattfindet. Daher kann unter sehr verschiedenen Umständen Gleichheit des Sättigungsdefizits bestehen, wie die nachstehende Tabelle erweist.

Sättigungsdefizit bei Temperaturen von  $-20^{\circ}$  bis  $+40^{\circ}$ .

Tem- pera- tur	Bei Sättigung vorhanden Gramm in 1 cbm Luft	Es fehlen zur Sättigung von 1 cbm Luft Gramm Feuchtigkeit, wenn anwesend sind									
		100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
		Feuchtigkeit									
$-20^{\circ}$	1,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$-10$	2,1	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9
$\pm 0$	4,9	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4
2	5,6	0,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,4	3,9	4,5	5,0
4	6,3	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,4	5,0	5,7
6	7,2	0,0	0,7	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5
8	8,3	0,0	0,8	1,6	2,5	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,5
10	9,4	0,0	0,9	1,9	2,8	3,8	4,7	5,7	6,6	7,4	8,5
12	10,6	0,0	1,1	2,1	3,2	4,2	5,3	6,4	7,4	8,5	9,5
14	11,9	0,0	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,1	8,3	9,5	10,7
16	13,5	0,0	1,4	2,7	4,1	5,4	6,8	8,1	9,5	10,8	12,2



Temperatur	Bei Sättigung vorhanden Gramm in 1 cbm Luft	Es fehlen zur Sättigung von 1 cbm Luft Gramm Feuchtigkeit, wenn anwesend sind									
		100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
		Feuchtigkeit									
18	15,2	0,0	1,5	3,0	4,6	6,1	7,6	9,1	10,6	12,2	13,7
20	17,2	0,0	1,7	3,4	5,2	6,9	8,6	10,3	12,0	13,8	15,5
22	19,4	0,0	1,9	3,9	5,8	7,8	9,7	11,6	13,6	15,5	17,5
24	21,5	0,0	2,2	4,3	6,5	8,6	10,8	12,9	15,1	17,2	19,4
26	24,2	0,0	2,4	4,8	7,3	9,7	12,1	14,5	16,9	19,4	21,8
28	27,5	0,0	2,8	5,5	8,3	11,0	13,8	16,5	19,3	22,0	24,8
30	30,1	0,0	3,0	6,0	11,8	12,0	15,1	18,1	21,1	24,1	27,1
35	39,4	0,0	3,9	7,9	11,8	15,8	19,7	23,6	27,6	31,5	35,5
40	50,7	0,0	5,1	10,1	15,2	20,3	25,4	30,4	35,5	40,6	45,6

Die Zahlen der Tabelle sind abgerundete, daher nicht völlig genau; auch werden unter den Angaben verschiedener Lehrbücher kleine Verschiedenheiten angetroffen. Meist wird das Sättigungsdefizit in Millimeter Quecksilbersäule ausgedrückt; es ist darunter diejenige Säulenhöhe verstanden, welche der wegen der fehlenden Feuchtigkeitsmenge entsprechenden Verminderung der Spannung das Gleichgewicht halten würde. Für das Intervall von  $-20$  bis  $+40^\circ$  besteht zwischen der Feuchtigkeitsmenge und der Spannung derselben sehr nahezu die Beziehung, daß 1 g Feuchtigkeit 1 mm Quecksilbersäulenhöhe entspricht. Um die Spannung in Millimeter Wassersäulenhöhe anzugeben, würde man das in Gramm angegebene Gewicht der Feuchtigkeit mit 13,6 zu multiplizieren haben.

Beispiel. Einem bei  $20^\circ$  Temperatur und 70% Feuchtigkeit bestehenden Sättigungsdefizit von 5,2 g entspricht eine Spannung, die durch eine Quecksilbersäulenhöhe von 5,2 mm und eine Wassersäulenhöhe von  $13,6 \cdot 5,2 = 70,7$  mm auszudrücken ist.

Da alles Wasser auf der Erde meteorischen Ursprungs ist und die verschiedenen Formen desselben (Regen, Tau, Schnee, Eis) nur Glieder eines Kreislaufes sind, wird die Verdunstungsmenge insgesamt mit der Niederschlagsmenge übereinstimmen müssen; doch kommen hiervon zeitlich und örtlich bedeutende Abweichungen vor, die erst in der Gesamtheit der meteorologischen Vorgänge ihren Ausgleich finden. Im allgemeinen kann man sagen, daß je kleiner die Fläche, je größer die Abweichung in kurzen Zeitabschnitten sein kann. Die Hauptrolle bei den Abweichungen spielen die Lage der betreffenden Fläche zum Meridian und der „Hang“ derselben. Stark gereinigte, der Sonnenbestrahlung offenliegende Flächen liefern ein Vielfaches der Verdunstungsmengen von Flächen mit den Sonnenstrahlen abgekehrtem Hang. Auch der Bestand der Fläche mit Pflanzenwuchs und die spezifische Wärme des Bodens wirken wesentlich mit.

Theoretisch ist die Verdunstungsgröße von freien Wasserflächen neuerdings von Krebs behandelt worden\*). Experimentell ermittelte Krebs aus zwei Versuchsreihen die auf  $1^\circ$  Temperaturunterschied in 24 Stunden entfallende Verdunstungsgröße bei kleinen Wasserflächen zu 0,39 bzw. 0,40 mm, bei großen jedoch fast 7mal höher, zu 2,69 mm. In 24 Stunden ermittelte zu Anfang April Krebs 10 mm Verdunstungshöhe auf großer freier Fläche, eine Höhe, die auch von andern Beobachtern in Frankreich und am Neuenburger See gefunden worden ist.

Beardmoore\*\*) giebt für Emdrup (Dänemark) die monatlichen Verdunstungshöhen in Millimeter wie folgt an:

\*) Krebs, Die Erhaltung der Mansfelder Seen, Leipzig 1894.

\*\*) Beardmoore, Manual of Hydrology. London.



	Von freien Wasserflächen		von kurz gehaltenem Rasen		von lang gehaltenem Rasen	
	Durchsch.	Grenzen	Durchsch.	Grenzen	Durchsch.	Grenzen
Januar . . .	17,8	7,6 u. 27,9	17,8	5,1 u. 27,8	22,9	12,7 u. 27,9
Februar . . .	12,7	2,5 „ 27,9	20,3	25 „ 27,8	15,2	10,2 „ 27,9
März . . .	22,9	12,7 „ 45,7	30,5	17,8 „ 40,6	35,6	20,3 „ 45,7
April . . .	50,8	25,4 „ 81,3	66,0	35,6 „ 109,2	66,0	40,6 „ 106,7
Mai . . .	94,0	66,0 „ 129,5	104,1	88,8 „ 129,5	119,4	83,8 „ 152,4
Juni . . .	137,2	104,1 „ 167,6	139,7	114,3 „ 170,2	170,2	124,5 „ 228,6
Juli . . .	132,1	107,5 „ 162,6	132,1	96,5 „ 170,2	236,2	121,9 „ 469,9
August . . .	111,8	96,5 „ 142,2	119,4	99,1 „ 149,9	200,7	111,8 „ 317,5
September . .	66,0	45,7 „ 81,3	71,1	45,7 „ 86,4	132,1	76,2 „ 208,3
Oktober . . .	32,9	22,9 „ 43,2	33,0	25,4 „ 48,3	73,7	27,9 „ 111,8
November . .	17,8	15,2 „ 22,9	17,8	15,2 „ 25,4	33,0	17,8 „ 50,8
Dezember . .	12,7	5,1 „ 17,8	12,7	5,2 „ 17,8	12,7	7,6 „ 22,9
	= 708,7		= 764,5		= 1117,7	

An den Stauweihern in den Vogesen fand man jährlich 600 mm Verdunstungshöhe, wovon auf Januar—März 48 mm, April—Juni 216 mm, Juli—September 264 mm und Oktober—Dezember 72 mm entfallen.

Anderweit sind für freie Wasserflächen für eine Anzahl von Orten Jahresverdunstungshöhen ermittelt worden, die sich zwischen 400 und 2300 mm bewegen. Die meisten Zahlen liegen aber in den Grenzen 500 und 800 mm.

Für mitteleuropäische Orte scheinen 600—800 mm eine oft passende Mittelzahl zu sein; doch ersieht sich aus den großen Unterschieden der mitgeteilten Zahlen, daß die Grenzen, innerhalb deren die Schwankungen sich bewegen, sehr weite sind, daher sehr wechselnde Faktoren, deren Einfluß nicht näher umgrenzt ist, dabei im Spiele sein müssen.

Auf die Verdunstung, welche an der Bodenoberfläche stattfindet, lassen die für Wasserflächen mitgeteilten Zahlen nur einen ungefähren Schluß zu.

§ 123. Versickerung. Die Versickerungsmenge ist zunächst von dem Oberflächengefälle, alsdann von der Oberflächenbeschaffenheit abhängig. Je größer ersteres, je weniger Wasser sickert ein. Glatte Oberflächen, meist auch die sehr trockenen, lassen weniger Wasser einsickern als rauhe und mäßig feuchte. Bei geringen Regenfällen und ebenso bei größeren, wenn dieselben von kurzer Dauer sind, mag die Einsickerungsmenge gleich Null sein. Gefrorener Boden läßt, weil die Poren verschlossen sind, kein Sickerwasser eindringen. Die Steine des Straßenpflasters, der Dächer u. s. w. saugen einiges Wasser auf, um so weniger, je dichter das Gestein ist. Sogen. „krümelige“ Beschaffenheit des Bodens läßt größere Wassermengen einsickern als kompakter Boden. Bei rauher und „fettiger“ Oberflächenbeschaffenheit (letztere von Leimstoffen herrührend) wird die Sickerwassermenge stark verringert. Lebender Pflanzenwuchs hält große Mengen von Feuchtigkeit an der Oberfläche und dicht unter derselben zurück; bei Bedeckung mit toten Gegenständen (Vermoderung u. s. w.) findet keine oder geringe Zurückhaltung statt.

Den Hauptfaktor bei der Versickerung bildet die Größe des Porenvolumens, die ihrerseits wieder von der „Korngröße“ des Bodens abhängig ist; daneben spielt die chemische (mineralogische) Beschaffenheit des Bodens eine Rolle. Flügge hat bei Versuchen mit glasierten Thonröhren von 160—170 qcm Querschnittsgröße und 1 m Länge, in welche er Bodenproben verschiedener Art fest einstampfte und

Büsing, Städtereinigung. 1.

13



dauernd unter einer Wasserschicht von 10 mm hielt, den Durchfluß in 1 Minute, bezogen auf den Korndurchmesser  $d$ , ermittelt, wie folgt:

Feinkörniger Sand (I) . . . . .	0,1030 $d$
Desgleichen (II) . . . . .	0,0873 "
Feinster desgleichen . . . . .	0,0257 "
Mischung aus 3 Teilen Sand I und 1 Teil Lehm . . . . .	0,0155 "
Mischung aus 1 Teil Kies, 2 Teilen Sand, 1 Teil Lehm . . . . .	0,0074 "
Mischung aus 1 Teil Sand I, 1 Teil Lehm . . . . .	0,0021 "
Reiner Thon und Lehm . . . . .	0,0000 "

Ausführliche Angaben über Sickerwassermengen, die aus verschiedenen Bodenarten zum Abfluß gelangten, sind bereits S. 62 mitgeteilt. Anderweit finden sich in der Litteratur noch folgende, von verschiedenen Beobachtern herrührende Angaben:

Bodenart	Oberflächenbeschaffenheit	Sickerwassermenge in Proz. des Niederschlags	
		Mittel	Minimum
Schwer durchlässig . . . . .	bedeckt	30	—
Ackerboden, sand- und kieshaltig . . . . .	dto.	23,5	9,6
Ackerboden, darunter geröllhaltiger Lehm . . . . .	nackt	33	—
Lehmiger Sandboden . . . . .	berast	40,5	28,2
Lehmboden . . . . .	dto.	60,9	45,4
Desgleichen . . . . .	dto.	52,7	50,2
Thonboden . . . . .	dto.	38,0	28,0
Desgleichen . . . . .	dto.	43,9	35,6
Desgleichen . . . . .	dto.	41,5	38,8
Kreidemergel . . . . .	dto.	38,3	25,9
Ackerboden . . . . .	nackt, zuweilen gelockert	42,1	—
Desgleichen . . . . .	nackt	53	—
Waldboden . . . . .	mit Streu bedeckt	60	—

Die großen Unterschiede in den Zahlen für Bodenarten, zwischen denen anscheinend eine gewisse Uebereinstimmung besteht, spiegeln deutlich den Einfluß von nicht genau feststellbaren Faktoren, unter denen jedenfalls auch der Temperatur eine Rolle zukommt (vergl. Abschn. III, Kap. 1). Auffallend groß erscheinen im Vergleich zu den Versuchsergebnissen von Flügge, welche oben mitgeteilt sind, die Sickerwassermengen für Lehm- und Thonboden, welche von 30—60% hinaufgehen. Da trocken gewordener Lehm- und Thonboden Wasser nur langsam wieder aufnimmt, muß angenommen werden, daß es sich bei den Bodenarten der Tabelle um dauernd feuchten Boden handelte, dessen dauernde Feuchtigkeit sowohl durch die Berausung der Oberfläche als die Tiefenlage gesichert war. Ebenfalls darf angenommen werden, daß es sich hier nicht um sogen. „strenge“ Lehm- und Thonböden, sondern um Böden mit gewissen Zumischungen von Sand oder Kies handelte.

§ 124. Während in bestimmten Fällen über die Größe des Anteils, wovon der eine die Verdunstung, der andre die Versickerung darstellt, wenig Genaueres bekannt ist, und auch nur wenig bekannt sein kann, weil beide Faktoren in einander übergreifen, weiß man einiges mehr, wenn es sich um die Gesamtwirkung jener beiden Faktoren handelt. Für größere Gebiete hat man einigen Aufschluß durch die Wassermengenmessungen an Flüssen gewinnen können; für diese ist häufig die



Abflußmenge des Jahres zu etwa 33% der Niederschlagshöhe desselben Jahres gefunden worden.

In dem großen Gebiet der mittleren Elbe und Saale mit mäßig bewegter Oberflächengestalt, und rund 600 mm Jahresniederschlagshöhe (oder bis zu 50 mm weniger) beträgt z. B. nach Ermittlungen von Sasse, die auf 20—50jährigen Wasserstandsbeobachtungen fußen, der auf Verdunstung und Versickerung entfallende Anteil rund 62%, so daß für den Abfluß an der Oberfläche 38% verbleiben würden. Da aber die Flüsse nicht lediglich durch Zufluß von der Oberfläche gespeist werden, sondern auch Zuflüsse aus dem Grundwasser aufnehmen — zu Zeiten auch Wasser an das Grundwasser abgeben — so sind die obigen Zahlen nicht scharf, und es darf angenommen werden, daß der für die Verdunstung und Versickerung berechnete Anteil sich in Wirklichkeit höher als 62% stellt.

Wesentlich anders stellen sich die Verhältnisse, wenn man stärker bewegte Oberflächengestaltungen und kleinere Niederschlagsgebiete ins Auge faßt. Bei den Stauweihern der Vogesen z. B. hat man als 3jähriges Mittel der Verluste, die durch Verdunstung und Versickerung an den Niederschlagshöhen entstehen, nur 20% gefunden, die sich aber sehr ungleich auf die Jahreszeiten verteilen. Es entfallen auf den 8monatlichen regenreichen Zeitraum Oktober bis Mai nur 10%, auf den 4monatlichen regenarmen Zeitraum Juni bis September dagegen 40%. Diese Ungleichheit läßt die große Rolle erkennen, welche der Art und zeitlichen Verteilung der Niederschläge zukommt. Je mehr verteilt die Niederschläge fallen, d. h. je kleiner die Durchschnittszahl ist, welche man erhält, indem man die Jahresregenhöhe durch die Anzahl der Regenfälle teilt, um so größer wird sich der Verlust durch Verdunsten und Versickern herausstellen, und umgekehrt. Wenn viele sogen. Landregen fallen, die in der Regel von langer Dauer sind, aber nur geringe Regenhöhen liefern, so wird der Anteil für Verdunstung und Versickern sich bis auf 100% erhöhen, und andererseits werden bei heftigen Gewitterregen die Verdunstungs- und Versickerungsmengen auf wenige Prozent herabgehen können. Bei kleinen und kleinsten Flächen mögen, wenn sie mehr oder weniger undurchlässig sind, jene Verlustmengen auf wenige Prozent herabsinken, und wenn noch starkes Gefälle vorhanden ist, mögen sie im praktischen Sinne gleich Null sein.

Den Einfluß, welchen die Jahreszeit auf den Verlust durch Verdunstung und Versickerung ausübt, mag man genauer aus folgender Zahlenreihe erkennen, die von Dalton nach Beobachtungen in Manchester zusammengestellt worden ist.

Anteil der Verdunstung + Versickerung, in Bruchteilen der Niederschlagshöhe		Anteil der Verdunstung + Versickerung, in Bruchteilen der Niederschlagshöhe	
Januar . . . . .	0,410	Juli . . . . .	0,986
Februar . . . . .	0,294	August . . . . .	0,952
März . . . . .	0,690	September . . . . .	0,902
April . . . . .	0,866	Oktober . . . . .	0,920
Mai . . . . .	0,644	November . . . . .	0,701
Juni . . . . .	0,879	Dezember . . . . .	0,463

Oder, wenn man nach Vierteljahren zusammenfaßt, und dabei mit März als erstem Frühlingsmonat beginnt.

Frühjahr . . . . .	0,733	} im ganzen Jahr 0,726
Sommer . . . . .	0,939	
Herbst . . . . .	0,841	
Winter . . . . .	0,389	

Um diese Zahlen etwas genauer verstehen zu können, muß beachtet werden, daß die Niederschlagsgröße des Jahres in Manchester hoch ist, indem sie 948 mm beträgt. Mit Ausnahme des Winters verteilt sich dieselbe auch sehr gleichmäßig über das Jahr, da sie beträgt:



Im Frühjahr (Beginn am 1. März) . .	230 mm
" Sommer . . . . .	250 "
" Herbst . . . . .	268 "
" Winter . . . . .	200 "

Wenn man diese Zahlen mit den obigen Verlustzahlen vergleicht, so ist ein bedeutender Einfluß der Temperatur unverkennbar. Aus der Höhe der Verlustzahlen kann übrigens auch auf große Versickerung geschlossen werden.

Viel geringere Verlustzahlen ermittelte man bei den Vorarbeiten für die Anlage von Thalsperren im Gebiete der Wupper, nämlich für:

Januar . . . . .	0,16 = 19,6 mm	Regenhöhe	Juli . . . . .	0,52 = 57,2 mm	Regenhöhe
Februar . . . . .	0,22 = 15,8 "	"	August . . . . .	0,54 = 48,6 "	"
März . . . . .	0,32 = 23,0 "	"	September . . . . .	0,39 = 38,2 "	"
April . . . . .	0,38 = 15,2 "	"	Oktober . . . . .	0,26 = 35,3 "	"
Mai . . . . .	0,60 = 53,0 "	"	November . . . . .	0,14 = 20,3 "	"
Juni . . . . .	0,55 = 54,6 "	"	Dezember . . . . .	0,14 = 24,0 "	"

Auf Vierteljahre, wie oben berechnet, macht dies für das:

Frühjahr . . . . .	0,433 = 91,2 mm	Regenhöhe
Sommer . . . . .	0,537 = 160,4 "	"
Herbst . . . . .	0,263 = 93,8 "	"
Winter . . . . .	0,173 = 59,4 "	"

und für das ganze Jahr  $0,352 = 405$  mm Regenhöhe von 1243 mm durchschnittlicher Jahresregenhöhe.

In diesen Zahlen tritt der Einfluß, den die Temperatur (durch das Sättigungsdefizit) ausübt, sehr markant hervor, und außerdem zeigt dasselbe, in welchen engen Grenzen unter begünstigenden Verhältnissen sich der Einfluß der Verdunstung und der Versickerung halten kann.

Unter besonderen Verhältnissen können selbst in Niederschlagsgebieten von einiger Ausdehnung, sogar wenn es sich um Boden von starker Durchlässigkeit handelt, bei schweren Regenfällen Verdunstung und Versickerung auf ganz minimale Anteile, die nahe an Null liegen, herabgehen. Dies findet statt, wenn dem schweren Regenfall ein sogen. Landregen, der mehrere Stunden, oder gar Tage anhält, vorausging. In diesem Falle sind Luft und Boden gesättigt und nehmen weitere Feuchtigkeitsmengen kaum mehr auf. Derartige Fälle sind keineswegs als Seltenheiten anzusehen; weiterhin wird ein dazu gehöriges Beispiel in Zahlenangaben mitgeteilt werden.

Schließlich mag der Tatsache Erwähnung geschehen, daß unter bestimmten Verhältnissen, wie im Boden so auch an der Oberfläche von Gewässern, anstatt Verdunstung Kondensation eintritt. Dieselbe kann bei großen Unterschieden zwischen der Temperatur der Luft und des Wassers einen nicht unbedeutenden Betrag erreichen.

§ 125. Entstehungsweise und Verhalten des Grundwassers, zu dem derjenige Teil des Sickerwassers wird, welcher nicht aus den oberflächlichen Bodenschichten wieder verdunstet, sind bereits in Abschnitt III, S. 56 ff. behandelt worden; hier ist einiges, insbesondere über die Bewegung des Grundwassers, nachzutragen.

In früheren Zeiten war es üblich, und es geschieht in England auch noch heute, Grundwasser in die Kanäle aufzunehmen. Man ging dabei von der Absicht aus, mit der Ableitung der Schmutzwasser eine Senkung des Grundwasserspiegels zu verbinden, bezw. die Schwankungen der Höhenlage des Grundwassers möglichst einzugrenzen. Dies Verfahren ist im allgemeinen zu verwerfen; die Kanal-



wandungen sollen dicht sein, um zu verhindern, daß Schmutzwasser von innen nach außen gelangen und das Grundwasser verunreinigen können.

Der Durchtritt von Kanalwasser nach außen durch Poren des Baumaterials, oder unbeabsichtigt entstandene enge Oeffnungen, hat freilich zur Voraussetzung, daß ein — nicht unbeträchtlicher — Ueberdruck besteht. Ein solcher Ueberdruck kann von beiden Seiten her vorhanden sein: vom Kanal aus bei Hochwasserabführung, wobei sogar das Wasser in den Kanälen vermöge Aufstauens in den Einlässen und Schächten vorübergehend sich unter Druck befindet, von der Rückseite aus, wenn das Grundwasser höher steht, als der Wasserspiegel im Kanal. Es sind aber mehrere Faktoren in Wirksamkeit, welche dem Durchtreten von Wasser entgegenwirken. Zunächst ein hoher Reibungswiderstand, sodann eine immer vorhandene schleimige oder dünne Haut, die sogen. Sielhaut, auf der Innenseite der Kanalwand, und drittens Wasserströmung. Letztere wirkt saugend und in dem Maße, als die Wasserströmung geringer oder stärker ist. Es kommt nun allerdings noch die Erscheinung der Osmose in ihren beiden Formen der Exosmose und der Endosmose hinzu. Zahlreiche Feststellungen über die Beschaffenheit des Bodens hinter Kanalwänden haben aber erwiesen, daß die Wirkung der Exosmose oft gering oder bedeutungslos ist, eine Thatsache, die zumeist auf die Gegenwirkung der Wasserströmung im Kanal zurückgeführt werden muß. Die Wirkung der Endosmose aber ist gleichgültig, weil dabei von einer Gesundheitsschädigung nicht die Rede sein kann. Auch kann die Wirkung der Endosmose kaum je einen nennenswerten Betrag erreichen, weil die Erfahrung lehrt, daß hinter der Kanalwand sich ein Grundwasserstrom bilde, der dem Kanalgefälle folgt und einen Anstau des Grundwasserspiegels an dieser Stelle verhindert. Verursacht wird diese Strömung durch die lockere Lagerung des Hinterfüllungsbodens, welche die Dichte des sogen. gewachsenen Bodens kaum je wieder erreicht. Auch werden häufig unten oder seitlich der Kanäle künstliche Einrichtungen getroffen, um für das Grundwasser Vorflut zu schaffen. Derartige Einrichtungen, auf welche erst an späterer Stelle einzugehen sein wird, zu treffen, erscheint im allgemeinen zweckmäßig.

In vereinzeltten Fällen hat man künstlich Einrichtungen geschaffen, um Straßenwasser dem Grundwasser rasch einzuverleiben. Es können dazu sowohl sogen. absorbierende Brunnen dienen, als auch Gruben mit stark durchlässiger Wand, aus Lochsteinen oder mit offenen Stoßfugen hergestellt; auch kann die Kanalwand in ihrer oberen Hälfte mit Durchlochungen hergestellt werden. Diese Einrichtungen können nur unter ganz ausnahmsweisen Verhältnissen eine gewisse Berechtigung in Anspruch nehmen, nämlich in niedrig liegenden Stadtteilen mit wasserundurchlässiger Pflasterung, wenn die Möglichkeit fehlt, sich des Straßenwassers anderweit zu entledigen und der Untergrund stark porös ist. Denn nur im letzteren Falle besteht neben der Fähigkeit zur raschen Aufnahme und Verteilung größerer Wassermengen die Fähigkeit des Bodens, die dem Wasser beigemischten Schmutzstoffe rasch zu „verarbeiten“, d. h. in gesundheitlich unbedenkliche Verbindungen überzuführen.

Um über die Geschwindigkeit der Bewegung einige Gewißheit zu erlangen, kann man sich der (von Thiem angegebenen) Salzprobe bedienen. Schüttet man an einer von zwei (nicht nahe bei einander liegenden) Stellen eine beträchtliche Menge Kochsalz in das Grundwasser, so wird sich dieses auflösen und in zweierlei Weise im Grundwasser ausbreiten: durch Diffusion sowohl als mit der Strömung. Die Diffusion (welche rascher stattfindet als die Verbreitung des Salzes mit dem Strom) hört nach Erreichung des Sättigungszustandes auf, während die Mitführung mit der Strömung so lange andauert, als Salz vorhanden ist. Es wird sich daher je



nach der Strömungsgeschwindigkeit früher oder später ein Maximum des Salzgehaltes im Grundwasser herausstellen. Um den Zeitpunkt, wo das Maximum des Salzgehaltes eintritt, festzulegen, werden in kurzen Zeitabständen Untersuchungen über die an der zweiten Stelle im Wasser vorhandene Salzmenge (sogen. Handproben, die rasch ausführbar sind) angestellt, und die Zeit, welche zwischen dem Einschütten des Salzes und dem Eintritt des Maximums verflossen ist, giebt dann unmittelbar die Geschwindigkeit der Bewegung des Grundwasserstroms an. Wenn das Verfahren auch einfach genug ist, so zeigen sich bei der Ausführung doch zuweilen Schwierigkeiten, z. B. so, daß mehrere Maxima des Salzgehaltes einander folgen. Es ist daher große Vorsicht anzuwenden, und werden oft Kontrollversuche notwendig sein; eine gewisse Uebung ist bei dieser Probe unerläßliche Voraussetzung. Uebrigens dürften auch andre chemische Körper, z. B. Farbstoffe, die nicht vom Boden zurückgehalten werden, oder andre im Boden beständige Stoffe anstatt des Salzes sich eignen. Bei der großen Filter- und Absorptionskraft, die der Boden besitzt, werden jedoch solche nicht häufig sein.

Was die Ergebnisse thatsächlicher Beobachtungen anbetrifft, so wurden in dem aus Grobsand (Kies) bestehenden Boden von Budapest von v. Fodor Grundwassergeschwindigkeiten von 66 m in 24 Stunden festgestellt. — Thiem fand in den groben Alluvionen des Rheinthals oberhalb Straßburg sogar 166 m Geschwindigkeit in 24 Stunden. Im grobkiesigen Münchener Boden fand v. Pettenkofer nur 4,4 m Geschwindigkeit. Bei Flußdeichen hat man vereinzelt 2,0–2,4 m Geschwindigkeit beobachtet, immer in 24 Stunden. — Heß ermittelte an den Wasserständen von Brunnen im Thal der Aller die Geschwindigkeiten, mit welchen das Wasser aus dem Flusse in das Ufergelände hineinstaute: in der ersten, dem Flusse zunächst liegenden Zone von 47–140 m Breite, Geschwindigkeiten von 10–28 m in 24 Stunden; in der bis 351 m weit reichenden Zone 20 m in 24 Stunden; in der bis 468 m weit reichenden Zone 24 m in 24 Stunden, in der bis 584 m weit reichenden Zone 28 m in 24 Stunden.

Ueber Spiegelgefälle des Grundwassers liegen folgende Beobachtungen von Thiem vor:

in den groben Alluvionen des Rheinthals oberhalb Straßburg	0,00600,
in den Alluvionen des Lechthals oberhalb Augsburg . . .	0,00300,
bei Diedenhofen in Oberbayern . . . . .	0,00326.

Es liegen über die Bewegung des Grundwassers im Boden in der Litteratur bisher nur wenige Angaben vor. Bei dem sehr geringen Gefälle, nach welchem Grundwasser, wenn dasselbe nicht künstlich angezapft wird, sich einstellt, sind bezügliche Messungen mit großen Schwierigkeiten verknüpft, zumal lokale Störungen im Boden, Einlagerungen undurchlässiger Schichten, Richtungsänderungen und Aufstau auch kleinere „Abstürze“ hervorrufen können.

Um zunächst zu entscheiden, ob man es in einem gegebenen Falle mit „stehendem“ oder fließendem Grundwasser zu thun hat, kann man mit Pfahlabständen von einigen hundert Metern ein etwa gleichseitiges Dreieck markieren und an den Eckpunkten desselben den Grundwasserspiegel frei legen. Zeigen sich bei der Einnivellierung der drei Spiegel Höhenunterschiede, so kann daraus ein Schluß auf stattfindende Bewegung und die allgemeine Richtung derselben gezogen werden.

Im feinsandigen Thal der Spree und Havel hat man Beeinflussungen des Spiegelstandes von Brunnen festgestellt, welche 2100 m von einer Schöpfstelle (Tiefbrunnen) entfernt lagen. — Verfasser konnte im grobsandigen, von Thonschichten vielfach durchzogenen Boden in der Nähe von Bitterfeld den Einfluß einer etwa 40 m unter Oberfläche erfolgten Anzapfung des Grundwassers noch in



1730 m Entfernung nachweisen; es handelte sich dabei aber um das durchschnittliche Spiegelgefälle von etwa 0,02. —

Bezüglich der Menge des aus einem Grundwasserstrom zu gewinnenden Wassers wird häufig die von Darcy gegebene Formel benutzt:

$$q = k \frac{h}{l} F,$$

worin  $F$  den Querschnitt der wasserführenden Schicht,  $\frac{h}{l}$  das relative Gefälle und  $k$  einen Beiwert bezeichnen, welcher das Porenvolumen des Bodens repräsentiert. Es ersieht sich, dass  $k$  für jede Bodenart einen besonderen, vorab festzulegenden Wert hat.

§ 126. Ein gewisser nicht unbedeutender Teil der Meteorwasser gelangt nicht zur Erdoberfläche, da er an den Blättern, Zweigen und Stämmen von Bäumen, Sträuchern und geringerem Pflanzenwuchs hängen bleibt, und von hier entweder durch unmittelbares Aufsaugen oder Verdunsten wieder verschwindet. Dieser „Verlustanteil“ kommt bei mit Alleebäumen besetzten Straßen wie auch bei Schmuckanlagen, Rasenplätzen u. s. w. in Betracht. Man kann auf den Betrag desselben einen ungefähren Schluß durch Feststellungen ziehen, die über den Vorgang im Walde angestellt worden sind. Nach einer Beobachtung Seckendorfs\*) wurden von einem auf Wald heruntergegangenen Landregen von 52,6 mm Höhe von den Blättern und Stämmen der Bäume folgende Anteile zurückgehalten:

von Ahornbäumen 30,6%	von Buchen 38,4%
„ Eichbäumen 31,1 „	„ Fichten 68,4 „

Ebermayer giebt geringere Zahlen: von den auf Wald fallenden Regenmengen werden 26% von den Baumkronen zurückgehalten.

Man wird nicht weit fehl gehen, wenn man annimmt, daß dichte Laubwaldbestände etwa 30% eines Regenfalls zurückhalten können. Es kommt dabei freilich auch auf die Dauer des Regenfalls an; je größer dieser, um so größer dürfte der zurückgehaltene Anteil sein und umgekehrt.

Aehnlich wie Bäume von höherem Wuchs wird Strauchwerk und höherer Pflanzenwuchs wirken; doch dürfte bei der minderen Größe der Stammoberflächen der Anteil, welcher zurückgehalten wird, geringer als bei Baumwuchs sein. Eine bedeutende Kraft im Festhalten von Wasser besitzen auch sogen. Streudecken des Bodens, Moos und niederer Pflanzenwuchs. Ebermayer (a. a. O.) giebt an, daß im Sommer 54 bis 70% des Regenfalles in der Streudecke von (Wald-)Boden und der dicht darunter liegenden Erdschicht verbleiben. Man kann daraus schließen, daß von Schmuckplätzen in Straßen vielleicht nur 10—20% der Regenmengen zum Abfluß gelangen.

Andrerseits ist aber im Walde — und analog auf mit Pflanzenwuchs aller Art dicht bestandenem Boden — die Verdunstung geringer als im Freien. Es wird daher ein gewisser Teil der Minderung, welche die Abflußmenge durch Zurückhaltung erfährt, durch ein Weniger an Verdunstung wieder ausgeglichen (vergl. übrigens die oben gemachten Angaben über Verdunstung von Rasenflächen).

§ 127. Einerlei, ob vor einem Regenfall der Boden trocken oder feucht war, so wird das anfangs fallende Meteorwasser zu einem gewissen Teil verbraucht:

\*) Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs, 2. Bd., 1879.

\*\*) Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden und Derselbe, Der Einfluß des Waldes und der Bestanddichte auf die Bodenfeuchtigkeit in: Forschungen aus dem Gebiete der Agrikulturphysik.



- a) zur Sättigung der oberen Bodenschicht,
- b) zur Herstellung desjenigen Gefälles, welches zur Erreichung des Beharrungszustandes im Abfluß notwendig ist.

Beide Verluste hängen von der Beschaffenheit der Oberfläche und der Wegelänge des Wassers ab, und stehen auch unter sich in einer gewissen Beziehung. Je rauher die Oberfläche und je weniger Gefälle dieselbe hat, um so höher wird der erforderliche Anteil und ferner je länger der bis zum nächsten Einlaß zurückzulegende Weg ist. — Zahlenmäßige Angaben hierzu sind bei dem großen Wechsel der Zustände nicht vorhanden.

## 5. Kapitel.

### Abflussmengen.

§ 128. Trockenabfluß. Ueber die Fabrik- und Hauswassermengen, welche von einer unterirdischen Entwässerungsanlage aufzunehmen sind, siehe die betreffenden Angaben Kap. 1 und 2. Die Menge dieser Wasser pflegt wohl als Trockenabfluß bezeichnet zu werden, um anzudeuten, daß derselben kein Regenwasser beigegeben ist. Der Trockenabfluß ist von wesentlicher Bedeutung für die Profilform der Kanäle, während der Regenabfluß für die Profilgröße der Kanäle bestimmend ist.

Ein ungefähres Bild von dem, als gleichmäßig über den ganzen Tag verteilt gedachten, Trockenabfluß kann da leicht gewonnen werden, wo maschinelle Förderung der Schmutzwasser stattfindet. Bringt man von der bekannten, auf den Kopf und Tag berechneten Fördermenge der Pumpen die gleichfalls auf den Kopf und Tag berechnete Reinwasserzuführung in Abzug, so hat man dasjenige Mehr pro Tag und Kopf der Stadtbewohnerschaft, welches an Regenwasser u. s. w. gefördert ist, und in der Reinwassermenge den Trockenabfluß.

In Berlin sind nach 10jährigem Durchschnitt die betreffenden Zahlen folgende: Tägliche Pumpenförderung pro Kopf 104 l, Reinwassermenge 66 l, mithin Regenwasserförderung 38 l. Das Bild ist jedoch, weil einerseits neben den von den Wasserwerken zugeführten 66 l Reinwasser sehr bedeutende Wassermengen aus Privatbrunnen gefördert worden, nicht scharf. Der Trockenabfluß wird wesentlich größer sein. (Vergl. auch die Angaben über Kondensationswasser-Ableitungen S. 148).

In Edinburg, mit einer besonders reichlichen Wasserversorgung (etwa 200 l pro Kopf und Tag), beträgt der Trockenabfluß, wenn die Stadt als Ganzes aufgefaßt wird, 326 l pro Kopf und Tag, wenn man dagegen nach einzelnen Bezirken, entsprechend den Verschiedenheiten der Bevölkerung, sondert, 288 l, 305 l und 349 l; er ist also (und ähnlich wohl in Berlin) reichlich das Anderthalbfache der aus der öffentlichen Wasserleitung zugeführten Wassermenge.

In London beobachtete man bei einer täglichen Wasserzuführung von 136 l den Trockenabfluß von 163 l pro Kopf und Tag. Wo irgend welche gewerbliche Thätigkeit besteht wird man nach diesen Zahlen auf einen nicht unbedeutend über die, durch die Wasserversorgung zugeführte Reinwassermenge hinausgehenden Trockenabfluß zu rechnen haben.

Je näher man den Eingüßstellen der Hauswasser kommt, je größere Wechsel finden statt. Diese Wechsel beziehen sich nicht nur auf die Menge, sondern auch auf die Beschaffenheit der Kanalwasser. Durchschnittswerte beiderlei Art können



also nur an dem Trockenabfluß in den untersten Teilen eines Kanalnetzes gewonnen werden, wo wenigstens die von der Oertlichkeit abhängigen Wechsel der Menge und Beschaffenheit der Kanalwasser ausgeglichen sind, die von der Zeit abhängigen Wechsel nur noch in gewissem Maße bestehen. Zahlenangaben, was die Wechsel in der Beschaffenheit des Trockenabflusses anbetrifft, sind S. 163 ff. mitgeteilt. Zahlenangaben für die Wechsel in den Mengen des Trockenabflusses folgen nachstehend.

Für 14 große Londoner Kanäle wurden folgende Wechsel in Trockenabfluß mit den Tagesstunden ermittelt:

Zeit	Abfluß der Tagesmenge	Zeit	Abfluß der Tagesmenge
12— 1 nachts	2,30 %	12— 1 nachmittags	6,43 %
1— 2 "	2,15	1— 2 "	5,92
2— 3 "	2,07	2— 3 "	5,59
3— 4 "	2,01	3— 4 "	5,80
4— 5 "	1,98	4— 5 "	5,87
5— 6 "	2,07	5— 6 "	5,27
6— 7 vormittags	2,68	6— 7 abends	4,56
7— 8 "	4,30	7— 8 "	4,07
8— 9 "	5,51	8— 9 "	3,57
9— 10 "	6,16	9— 10 "	3,11
10— 11 "	6,56	10— 11 "	2,79
11— 12 "	6,64	11— 12 "	2,59

Die Zahlen schließen sich der Beobachtung, daß in den Stunden des höchsten Wasserverbrauchs der Abfluß etwa das Anderthalbfache des durchschnittlichen beträgt, sehr gut an; als sehr hoch und auf ein spätes, reichliches Nachtleben hinweisend muß der Verbrauch während der Nachtstunden bezeichnet werden.

An zwei der Berliner Pumpstationen: für Radialsystem V im Nordosten gelegen und viele gewerbliche Betriebe enthaltend, bzw. für Radialsystem VII im Westen gelegen, das von gewerblichen Betrieben nur wenig, vielmehr vorzugsweise Wohnungen besser situierter Bevölkerungsklassen enthält, ergab sich folgender Trockenabflußwechsel, gleichfalls in Prozenten der Tagesmenge angegeben:

Zeit	Radialsystem		Zeit	Radialsystem	
	V	VII		V	VII
12— 1 nachts	2,4 %	3,3 %	12— 1 nachmittags	5,5 %	5,7 %
1— 2 "	2,3	3,3	1— 2 "	5,3	6,9
2— 3 "	2,2	3,8	2— 3 "	5,4	6,2
3— 4 "	2,1	3,0	3— 4 "	5,5	5,4
4— 5 "	2,2	3,2	4— 5 "	5,6	5,0
5— 6 "	2,2	2,8	5— 6 "	6,0	4,1
6— 7 vormittags	2,4	2,3	6— 7 abends	5,8	4,5
7— 8 "	4,5	3,4	7— 8 "	5,7	3,8
8— 9 "	5,4	4,4	8— 9 "	5,1	3,6
9— 10 "	5,6	5,1	9— 10 "	2,7	3,1
10— 11 "	5,6	4,8	10— 11 "	2,7	3,5
11— 12 "	5,4	5,1	11— 12 "	2,5	3,6



Man erkennt hier den Einfluß, den die Berufsthätigkeit der Bewohnerschaft auf den Wechsel des Trockenabflusses übt, deutlich. Es tritt eine merkliche Verschiebung in den Zeiten des größeren Abflusses und besonders der Maxima des Abflusses ein. Weniger bedeutend ist der Unterschied in den Wechseln des Trockenabflusses, da in beiden Bezirken das Minimum, das Mittel und das Maximum etwa in denselben Verhältnissen 1:2:3 zu einander stehen, Zahlen, welche für die Einrichtung des Pumpwerks ausschlaggebend sind.

Im übrigen verteilt sich der Abfluß um so gleichförmiger auf die Tagesstunden, je größere Ausdehnung das Kanalnetz oder das Entwässerungsgebiet hat. Wo letztere gering ist, wird man Reservoirs von einiger Größe, (Pumpenstümpfe) einschalten müssen. Die Größe des Berliner Radialsystems V ist 777 ha, die des Radialsystems VII 329 ha; zu letzterer Gebietsgröße treten indessen noch einige Gebietsteile von Nachbargemeinden hinzu.

§ 129. Die Beständigkeit des Trockenabflusses wird gestört, sobald Regenwasser in die Kanäle eintritt. Die Menge des Kanalwassers nimmt bis zu einem gewissen Zeitpunkte, der über das Maximum der Regendichte hinausfällt, zu, um von da an wieder bis auf den Trockenabfluß zurückzugehen. Hand in Hand mit der Zunahme werden die Kanalwasser mehr und mehr verdünnt, bis mit dem Maximum des Abflusses zugleich ein Minimum der Verunreinigung erreicht ist. Von nun an nimmt die Verunreinigung wieder zu, bis der normale Zustand des Trockenabflusses abermals erreicht ist.

Der geschilderte Wechsel in der Beschaffenheit, welchem Kanalwasser bei Regenfällen unterworfen sind, wird indes nicht nur dadurch hervorgerufen und geregelt, daß während des Regenwasserzuflusses das Verhältnis zwischen der Menge von Haus- und Regenwasser sich ändert, sondern auch durch Wechsel in der Beschaffenheit des Regenwassers selbst. Das im Anfang zutretende Regenwasser wird, weil es die an der Oberfläche von Straßen, Höfen, Dächern u. s. w. befindlichen Schmutzmengen mit sich führt, stärker verunreinigt sein, als das später zufließende, das keine solchen Unreinigkeiten mehr mitbringt. Es ändert sich daher die Beschaffenheit des Kanalwassers bei einem Regenfall nicht in einfachem Verhältnis mit der Zunahme der Regenwassermenge, sondern in einem höheren, und es findet in dieser Thatsache die Konstruktion von Regenüberfällen und Notauslässen ihre Rechtfertigung, die man kaum irgendwo für Kanalisationsanlagen entbehren kann, wo das Straßenwasser in die Kanäle aufgenommen wird.

Ohne auf die Besprechung der Regenüberfälle an dieser Stelle näher einzugehen, sei nur erwähnt, daß man dieselben so einrichtet, daß sie erst in Wirksamkeit treten, nachdem ein bestimmter Verdünnungszustand der Kanalwasser erreicht, d. h. nachdem das Verhältnis  $\frac{\text{Trockenabfluß} + \text{Regenwasser}}{\text{Trockenabfluß}}$  einen bestimmten, gewollten Grad angenommen hat. Nimmt dann weiterhin die Regenwassermenge noch zu, so wird jenes Verhältnis kleiner.

Es ersieht sich, daß angenähert auch der Quotient  $\frac{F}{f}$  dasselbe ist, wenn  $f$  die Füllung des Kanals beim Trockenabfluß und  $F$  die Füllung bei Trockenabfluß + Regenwasser bezeichnet. Da aber bei der Füllung  $F$  in der Regel nicht nur der Wasserquerschnitt, sondern auch die Wassergeschwindigkeit größer sein wird, als bei der Füllung  $f$ , so wird das Verhältnis  $\frac{F}{f}$  größer sein als das Verhältnis  $\frac{\text{Trockenabfluß} + \text{Regenwasser}}{\text{Trockenabfluß}}$ .



§ 130. Einlauf von Regenwasser in die Kanäle setzt voraus, daß der Regenfall einen gewissen unteren Wert überschreitet; doch ist dieser Wert mit mancherlei Umständen wechselnd. Dieselbe kleine Regenhöhe, einmal auf chaussierte oder schlecht gepflasterte Straße, ein andermal auf wasserdicht gepflasterte oder Asphaltstraße fallend, mag den Kanälen entweder die Regenwassermenge Null oder auch einen nicht unbeträchtlich darüber hinausgehenden Betrag zuführen. Derselbe oder ein ähnlich großer Unterschied kann sich ergeben, wenn entweder jene Regenhöhe einmal auf schlecht gereinigte oder wagrechte (bezw. schwach geneigte) Flächen fällt und ein andermal auf sauber gehaltene Flächen, bezw. solche mit starker Neigung. Ebenso kann es sich verhalten, wenn einmal jener Regen sich auf einen längeren Zeitraum verteilt und er ein andermal innerhalb weniger Minuten niedergeht. Es wird endlich ein etwaiger Unterschied in den zu den Zeiten des Regenfalls bestehenden Sättigungsdefizits der Luft und der Bodenfeuchtigkeit, sowie ein Unterschied in der Flächengröße des Abflußgeländes sich geltend machen; letzterer Faktor ist, wie weiterhin nachgewiesen wird, unter allen der wichtigste.

Sehr geringe Regenfälle, die unter einer gewissen Höhe bleiben, vielleicht unter 1 mm, werden auch unter sehr günstigen Abflußverhältnissen kaum Beiträge zu den Kanalwassern liefern, höchstens von sogen. harten Dachflächen mit starker Neigung, weil hier die Zeit bis zur Aufnahme in den Kanal so kurz ist, daß die von der Zeit abhängenden mindernden Faktoren einen merklichen Einfluß nicht zu äußern vermögen. Unter besonders ungünstigen Abflußverhältnissen mögen sogar 2 mm Regenhöhe keinen Anteil für die Kanalwasser ergeben. Daraus folgt zunächst, daß die Kanäle überall viel weniger oft Regenwasser aufzunehmen haben als Regenfälle stattfinden. Es ist daher von Wichtigkeit, nicht nur die Regenmengen, sondern auch die Verteilung derselben auf das Jahr näher zu kennen, weil darin die Kenntnis der Zahl derjenigen Regenfälle enthalten ist, von welchen Spülwirkungen und Beeinflussungen des Luftwechsels in den Kanälen erwartet werden können.

Nimmt man etwa 2 mm als untere Grenze derjenigen Regenhöhe an, von welcher Beiträge zu den Kanalwassern geliefert werden, so kann man beispielsweise bei einer Verteilung der Regenmengen, wie auf S. 175 für Berlin angegeben ist, folgern, daß im Jahre nur etwa 60—70 Tage mit Niederschlägen stattfinden, an welchen die Kanäle Regenwasser aufzunehmen haben; durchschnittlich würde dies also jeder 5.—6. Tag sein, und es würde von dem Jahresbedarf der Spülwassermenge auch nur etwa dieser Anteil in den Regenwassermengen zur Verfügung stehen. In Wirklichkeit ist das Bild noch ungünstiger, werden die Kanäle noch seltener Spülwasser aus den Niederschlägen erhalten, weil unter jenen auch die Schneefälle einbegriffen sind, die einen Beitrag viel weniger oft liefern, als sie stattfinden. Im übrigen ist hier auf die S. 176, 177 gemachten Mitteilungen über die Dauer von Regen- und Trockenperioden zu verweisen.

§ 131. Bei dem Mangel an näherer Kenntnis über die Abzüge an den Regenwassermengen, die durch Verdunstung, Versickerung u. s. w. eintreten, sind genaue Angaben über Abflußmengen nur durch direkte Messung zu gewinnen. Bei den großen Schwierigkeiten der Ausführung ist es erklärlich, daß solche Messungen bisher nur sehr selten ausgeführt worden sind. Die frühesten Arbeiten dieser Art fanden, soviel bekannt, in London statt.

Bei einem Regenfall von mittlerer Schwere, welcher in 105 Minuten 22,9 mm Regenhöhe, also sekundlich 0,00363 mm oder 36,3 l Wasser pro ha ergab, wurde in vier großen Straßenkanälen mit reichlichen Gefällen, die in gut gepflasterten Straßen lagen, folgende sekundlichen Abflußmengen beobachtet:



	Niederschlags- gebiet	Abfluß von 1 ha		
		Minimum	Maximum	In Prozenten der Regenhöhe
Kanal I . . .	32 ha	1,30 l	3,56 l	3,6 bzw. 10,0
" II . . .	37	0,90	6,12	2,5 " 16,8
" III . . .	150	1,00	4,37	2,8 " 12,0
" IV . . .	61	2,50	24,00	7,0 " 66,0

Mank beobachtete bei einem Regenfall in Dresden, der sich über ein Gebiet von 80 ha (ungerechnet diejenigen Flächenteile, welche keinen Beitrag zum Abfluß lieferten) ausdehnte, als größte sekundliche Abflußmenge  $\frac{10,69}{49,8} = 21,5\%$ .

Es ist zu beachten, daß es sich bei den beiden vorstehenden Angaben (London und Dresden) nicht um Gesamtmengen des Abflusses handelt, sondern nur um Teilmengen, welche in der Zeiteinheit zum Abfluß gelangt sind.

Anderweite Beobachtungen aus verschiedenen Orten teilt Baumeister\*) mit. Es betrug bei einigen Regenfällen:

Städte	Das Entwässerungs- gebiet in Hektar	Die Regenmenge in Liter pro Hektar und Sekunde	Der Abfluß in Liter pro Liter u. Sekunde	Der Abfluß in Prozent der Regenmenge
München . . . . .	196	280	24	8,6
Elboeuf . . . . .	1150	104	15	14,4
Budapest . . . . .	2000	183	45	24,6
Stuttgart . . . . .	2222	54	14,5	26,8
Küssnacht . . . . .	1200	143	38,8	27,1
Zürich . . . . .	1400	143	27,3	19,1
" . . . . .	100	143	70	49,0
" . . . . .	34	143	85	60,0
" . . . . .	65	143	55	38,5

Bei anderen Beobachtungen in London, als den oben mitgeteilten, sind höhere Prozentsätze der Abflußmengen als die vorstehenden ermittelt worden, nämlich zwischen 53 und 94 %.

Daß auch auf Flächen, welche für gewöhnlich hohe Anteile sowohl zur Verdunstung als Versickerung ergeben, unter besonderen Umständen diese Anteile auf ganz minimale Beträge herabgehen können, beweist eine Beobachtung, die im Jahre 1887 in der Umgegend von Löbau in Sachsen angestellt wurde. Gleichzeitig lassen die Ergebnisse derselben den Einfluß deutlich erkennen, welchen das Gefälle der Flächen und die Größe des Niederschlagsgebietes auf die Abflußmenge ausüben.

Es hatten in den, dem 18. Mai 1887 vorausgegangenen 3 Wochen fast täglich Regenfälle von Bedeutung stattgefunden; im ganzen waren in der Zeit vom 26. April bis 17. Mai 95 mm Niederschlagshöhe gefallen. Vom 17. auf den 18. Mai ging ein lang dauernder Regen nieder, welcher in 8 Stunden 70 mm Regenhöhe brachte. Man kann nach diesem Verlauf des Regens annehmen, daß Boden und Luft mit Feuchtigkeit gesättigt waren, als der schließliche große Regenfall eintrat, daß also beides, Versickerung und Verdunstung, nur sehr ge-

\*) Deutsche Bauzeitung 1888, S. 264.



ring sein konnten. Es wurden an den 8 kleinen Wasserläufen des betroffenen Gebiets mittels Flüßmessungen folgende Abflußmengen ermittelt:

Wasserläufe	Länge des Nieder- schlags- gebiets	Relatives Gefälle des Niederschlags- Gebiets	Größe der Niederschlags- Gebiete ha	Sekundliche Abflußmenge pro Hektar l	Abflußhöhe in 1 Minute mm
1. Wittgendorfer Bach . .	2 500	0,0200	345	122	0,732
dto. . . . .	4 500	0,0222	946	111	0,666
2. Landwasser . . . . .	3 500	0,0129	980	98	0,588
dto. . . . .	4 800	0,0123	1 579	91	0,546
dto. . . . .	16 700	0,0070	5 200	40	0,240
3. Kemnitz . . . . .	7 000	0,0148	1 394	91	0,546
dto. mit Dittelsdor- fer Wasser . . . . .	7 700	0,0128	1 914	100	0,600
4. Dittelsdorfer Wasser . .	1 800	0,0333	520	125	0,750
5. Mandau . . . . .	29 500	0,0056	13 000	23	0,138
6. Spree mit Ebersbach . .	4 900	0,0102	1 750	100	0,600
7. Schöpsbach . . . . .	—	—	850	50	0,300
dto. mit Nebenwasser . .	—	—	1 870	54	0,324
8. Priefnitz . . . . .	11 700	0,0080	6 100	20	0,120
9.   dto. . . . .	19 100	0,0067	8 000	25	0,150

Die Zahlen sind beim Beharrungszustande der Wasserläufe ermittelt worden. Gewisse Widersprüche, die beim Vergleich einzelner Angaben (z. B. bei Nr. 1) zu bestehen scheinen, erklären sich aus Besonderheiten der Oberflächenform und des Bestandes derselben; es handelte sich sowohl um Ackerboden als Waldland. Als Beweis für die S. 173 hervorgehobene Thatsache, daß Angaben von Regenmessern, welche nicht mitten im Niederschlagsgebiet selbst aufgestellt sind, besonders mit Bezug auf schwere Niederschläge, leicht falsche Angaben liefern, ist noch hinzuzufügen, daß bei dem obigen Regenfall der in nächster Nähe außerhalb des Gebiets aufgestellte Regenmesser eine erheblich kleinere Regenmenge als gefallen angegeben hatte als thatsächlich abgeflossen war.

Die oben aus verschiedenen Städten mitgetheilten Zahlen erweisen außerordentlich große Verschiedenheiten, die aber, nach demjenigen, was oben über die mitwirkenden vielen Faktoren angeführt worden ist, erklärlich sind. Auch haftet denselben ein größeres Maß von Ungenauigkeit sowohl in der Menge des Abflusses, als in der Größe des Abflußgebietes an. In den Abflußmengen wird z. B. der Trockenabfluß mit enthalten sein, der in den verschiedenen Orten sehr ungleich sein kann, und in die Flächengrößen wird für einige Orte das ganze betreffende Gebiet — ohne Rücksicht darauf, ob einzelne Teile desselben Beiträge zu dem Kanalwasser lieferte oder nicht, einbezogen sein, während an anderen Orten solche Flächen, die wie Gärten, von denen kein Abfluß erfolgt, von der Berechnung ausgeschlossen sind; letzteres ist, wie schon oben bemerkt ward, bei den Angaben für Dresden geschehen.

§ 132. Im allgemeinen lehren die obigen Zahlen, daß die Abflußmengen, welche ein größerer Regenfall liefert, zwischen 10 und fast 100 Prozent wechseln können. Die höchsten Zahlen gelten für wasserundurchlässige und gleichzeitig stark geneigte Flächen, die kleinsten für durchlässige und wenig geneigte, oder ganz ebene Flächen.



Die Größe der wasserundurchlässigen Flächen aber nimmt mit der Bebauungsdichte zu; man kann daher sagen, daß je größer die Bewohnungsdichte einer Stadt oder eines Stadtteils, um so größer auch die Abflußmengen des Regenwassers sein werden. Während aber mit Bezug auf die Hauswasser die Abflußmengen in einfachem Verhältnis mit der Bewohnerzahl für die Flächeneinheit wachsen, erfolgt das Wachstum mit Bezug auf den Abfluß, der auf die Meteorwasser entfällt, langsamer, und giebt es schließlich eine Grenze, die nicht überschritten wird, weil jedenfalls ein gewisser Teil der berechneten Fläche unüberbaut, bzw. der Benutzung als Straße u. s. w. entzogen bleibt.

Da aber die Bebauungsdichte wechselt — in der Regel zunimmt — so ersieht sich, daß bei städtischen Entwässerungsanlagen mit der Möglichkeit größerer Abflußmengen aus den Meteorwassern als den „heutigen“ gerechnet werden muß. Dieselben sind aber auch da, wo eine Vergrößerung der Bebauungsdichte nicht zu erwarten ist, in Aussicht zu nehmen, weil durch Verbesserungen in der Beschaffenheit des Straßenpflasters — z. B. Einführung von Asphaltpflaster an Stelle von Steinpflaster — der Abfluß aus den Meteorwassern eine wesentliche Vermehrung erfahren kann.

Nach dem Grade der Durchlässigkeit kann man das Entwässerungsgebiet in verschiedene Gruppen einordnen. Kuichling (a. a. O.) nimmt (für amerikanische Städte) 5 Gruppen an und rechnet in:

- Gruppe 1. Dachflächen.
- „ 2. Gehwege (Bürgersteige, Trottoire), Asphaltstraßen und Holzpflaster mit wasserdichten Fugen; hierher können auch Steinpflasterungen mit wasserdichten Fugen gerechnet werden
- „ 3. Gute Promenaden; geringere Gehwege; rauhe Steinpflasterungen. Makadam.
- „ 4. Gehwege geringster Beschaffenheit; Kiesstraßen.
- „ 5. Erdwege.

Bei den Dachflächen (Gruppe 1) ist der Anteil für Verdunsten und Aufsaugen so gering, daß hier ein Abzug dafür nicht gerechtfertigt ist, sondern die Abflußmenge = Regenhöhe gesetzt werden muß. Nur wo unter den Dächern auch flache in einiger Zahl vorkommen, mag man einige Prozente — bis vielleicht 5 — in Abzug bringen.

Bei den fast undurchlässigen Flächen der Gruppe 2 mag man, wenn nicht stärkere Straßengefälle vorkommen (nach Kuichling) etwa 20 % Abzug für Verdunsten und Einsickern rechnen, oder, was dasselbe sagt, 80 % dieser Flächen als „wasserundurchlässige“ den Flächen der Gruppe 1 zurechnen.

Für Flächen, die der Gruppe 3 zuzählen, rechnet Kuichling 40 %, für guten Makadam 50 % als Abzüge für Verdunstung und Versickerung, d. h. 60 bzw. 50 % Größe, wenn dieselben auf wasserundurchlässige umgerechnet werden.

Flächen der Gruppe 4 sollen 60, der Gruppe 5: 80 % Abzug für Verdunstung und Versickerung zulassen, oder, was dasselbe sagt, mit 40 bzw. 20 % ihrer Größe als wasserundurchlässige Flächen in Rechnung gestellt werden.

Es läßt sich nun unter bestimmten Beobachtungsverhältnissen leicht mit einiger Annäherung feststellen, welche Prozentsätze von der Größe eines Entwässerungsgebietes auf wasserundurchlässige Flächen und solche, die nahezu wasserundurchlässig sind, entfallen.

Für die villenartige Bebauung von Rochester u. s. w. ermittelte beispielsweise Kuichling folgendes: Es wohnen auf 80 bis 100 qm durchschnittlich 80 Menschen in 15 Häusern; 12 davon haben je 100 qm und 3 haben je 160 qm Grundfläche



(Miethäuser). Die Straßenbreite ist im Durchschnitt 16,6 m. Alsdann ist die Größe der Dachflächen für 1 ha in Prozent:

$$\frac{12.100 + 3.160}{10000} = 16,8 \text{ ‰},$$

mit einem Zuschlag von 3,2 ‰ für Hintergebäude u. s. w., 20 ‰.

Die Straßenfläche nimmt bei der angegebenen Straßenbreite 23,4 ‰ ein, wofür mit Rücksicht auf etwaige spätere Durchbrüche u. s. w. 25 ‰ angesetzt werden. Von diesen sind etwa  $\frac{2}{3} = 16 \text{ ‰}$  als mit nahezu undurchlässigem Pflaster und Gehwegen anzusetzen, 9 ‰ von minderer Wasserdurchlässigkeit.

Alsdann ist die Gesamtfläche des Stadtgebietes auf wasserundurchlässige Fläche zurückgeführt:

Dächer . . . . .	20 ‰,
fast wasserdichte Straßenflächen $0,8 \cdot 16 \text{ ‰} =$	13 „
weniger wasserdichte Straßenflächen $0,4 \cdot 9 \text{ ‰} =$	3,6 „
hierzu noch ein Zuschlag für Berücksichtigung von	
Flächen, die in Gruppe 4 u. 5 oben gehören, von	1,4 „
Summa . . .	38 ‰.

Für 100 und 120 Bewohner pro Hektar berechnet Kuichling die wasserundurchlässigen Flächen in gleicher Weise auf 52 bzw. 56 ‰ des Gesamtgebietes.

Bei geschlossener städtischer Bebauung mit vielleicht 500 Bewohnern pro Hektar stellt sich der Anteil höher heraus. Wenn z. B. baupolizeilich festgesetzt ist, daß 0,66 der Grundstücksgröße bebaut werden dürfen und die Straßenfläche 25 ‰, die Fläche von Gewässern und Schmuckanlagen noch 5 ‰ bedeckt, so ergibt sich, wenn die Beschaffenheit des Pflasters und der Gehwege zu 0,8 als fast wasserundurchlässig, zu 0,2 als weniger wasserundurchlässig gedacht wird, folgende Zahlenreihe:

100 — (25 + 5) 0,66 = 46,2 ‰	in wasserundurchlässigen Flächen
	der Dächer,
25 · 0,8 · 0,8	= 16,0 ‰ desgleichen in Straßen,
25 · 0,2 · 0,5	= 5,5 ‰ desgleichen in Straßen mit ge-
	ringerer Pflasterung,
5 · 0,2	= 1,0 ‰ desgleichen in Schmuckplätzen u. s. w.
zusammen 65,7 ‰,	

wozu für spätere Zustandsänderungen, die möglich sind, vielleicht noch ein kleiner Zuschlag zu machen wäre. Doch ist die Zahl, verglichen mit bestimmten Fällen, schon ziemlich hoch, so daß man sagen darf, daß 66 ‰ des gesamten dicht bebauten Stadtgebietes als wasserundurchlässige Fläche gerechnet, wohl als ein Maximum erachtet werden dürfen; es sei denn, daß es sich um Gebiete mit starken Gefällen oder solche von sehr geringer Ausdehnung handelt; in diesen kann der Anteil (vergl. die Beobachtungsergebnisse aus England S. 204) bis auf nahezu 100 ‰ steigen.

Kuichling berechnet für Städte mit 40—125 000 Einwohnern die wasserundurchlässige Fläche auf 14,7—52,6 ‰.

§ 133. Das Wasser, welches von einer Fläche abfließt, erfolgt zwar aus einer Schicht von überall gleicher Regenhöhe; doch bildet der Prozentsatz, welcher davon zum Abfluß gelangt, keine überall gleich hohe Schicht, da derselbe mit der Entfernung von der Einlaßstelle geringer wird, weil auf den längeren Wegen zu letzterem Verdunstung und Versickerung Zeit haben, sich in stärkerem Maße geltend zu



machen, als auf dem kürzeren. Diese Schicht flacht sich daher mit der Entfernung von der Einlaßstelle etwa wie ein Keil ab, und nimmt von einer Höhe, übereinstimmend mit der Regenhöhe unmittelbar neben der Einlaßstelle, in dem Falle, daß das Abflußgebiet hinreichende Ausdehnung hat, bis zur Grenze desselben auf Null ab. Von hier ab wird, weitergehend, die ganze Regenhöhe durch Versickerung und Verdunstung, sowie durch das Arbeitsvermögen, welches zur Ueberwindung der dem Abfluß entgegen wirkenden Reibungswiderstände erforderlich ist, aufgezehrt.

§ 134. Die alsbaldige Aufnahme und Fortführung so großer Wassermengen würde Kanäle von nicht zu beschaffenden Weiten und Kosten erfordern, wenn es sich auch nur um Gebiete von ein paar hundert Hektaren Ausdehnung handelte. Denn ein Regenfall von 1,0 mm Höhe in 1 Minute, womit gerechnet werden muß (S. 180), ergibt pro Hektar:  $\frac{1,0}{60} \cdot 10 \cdot 1000 = 166 \text{ Sek.-Liter}$ , also für nur 200 ha sekundlich  $\frac{0,66 \cdot 200 \cdot 166}{1000} = 22 \text{ cbm Wasser}$ .

Die Technik stände also hier einer technisch nur schwer und wirtschaftlich gar nicht durchführbaren Aufgabe gegenüber, wenn nicht ein Umstand hinzukäme, der das Bild völlig veränderte. Dies ist die Verzögerung, welche der Abfluß erleidet, oder der Mehrbedarf der Zeit, den der Abfluß über die Dauer des Regenfalles hinaus erfordert.

Wie am Beginn eines Regenfalles zunächst nur die den Einlässen unmittelbar anliegenden Flächenteile den Kanälen Wasser zuführen, und erst nach und nach immer weitere Flächenteile dem Kanal tributär werden, bis schließlich nach Ablauf einer gewissen, besonders durch Größe, Form und Gefälle des Entwässerungsgebiets bedingten Zeitraumes der Beharrungszustand erreicht wird, während dessen Dauer die sekundlich abgeführte Wassermenge gleichbleibend ist, so schließt sich auch an das Ende des Regenfalles eine Uebergangsperiode an. Wenn die am Anfang liegende Uebergangsperiode die Zeit des stetigen Wachstums der sekundlich zugeführten Wassermenge war, so ist die am Ende liegende Periode, in welcher vermöge des Umstandes, daß von einem immer größer werdenden Flächenteil der Zufluß aufhört, diejenige, der stetigen Wiederabnahme der sekundlichen Wassermenge, bis auf Null. Die Erfahrung lehrt nun, daß in dieser Verzögerung eine gewisse Regelmäßigkeit besteht. Man hat in zahlreichen Fällen beobachtet, daß in ebenem oder wenig bewegtem Gelände die Zeitdauer, welche vom Beginn des Zuflusses bis zur Beendigung desselben erforderlich wird, das 3- bis 4fache der Regendauer beträgt, im Mittel also das  $3\frac{1}{2}$ fache. Die Verzögerung würde dabei also das  $2\frac{1}{2}$ -fache der Regendauer sein.

Wenn nun auch diese Zahl nicht zu allgemeiner Anwendung geeignet ist, so hat man von derselben doch nicht selten Gebrauch gemacht; besonders scheint dies von englischen Technikern geschehen zu sein. Indem man von einem bestimmten Verhältniß  $A:R$ , wo unter  $A$  der (sekundliche) Abfluß, unter  $R$  die (sekundliche) Regenmenge verstanden ist, ausging, erhielt man nach der Gleichung:

$$\frac{A}{R} = \frac{0,53 - 0,94}{3,5}$$

sekundliche Abflußmengen:

$$A = 0,15 R \text{ bis } A = 0,27 R, \text{ im Mittel } A = 0,21 R,$$

nach welchen die Querschnitte bestimmt werden konnten, wenn das Niederschlagsgebiet gegeben war.



Es ersieht sich indessen, daß die Anwendung dieser Formeln zu groben Fehlern führen kann, da dieselben weder das Gefälle des Abflußgebietes noch die Größe desselben berücksichtigen; beide werden aber die Verzögerungsdauer bedeutend beeinflussen. Es ist daher der Wert 3,5 nicht als gleichbleibend anzusehen, sondern muß veränderlich sein und zwar in der Weise, daß derselbe mit der Flächengröße wächst und abnimmt; einem kleinen  $F$  gehört ein Wert  $< 3,5$  an, während einem großen  $F$  ein Wert  $> 3,5$  entspricht. Dies führt darauf, daß richtige Formeln für Abflußmengen als Funktionen der Flächengröße zu denken sind, daneben des Gefälles.

Bevor auf die Angabe derartiger Formeln eingegangen wird, sei noch ein anderer Punkt, der an die obige Formel für  $A:R$  anknüpft, erledigt. Jene Beziehung zwischen Abfluß und Regenmenge ist linear und sie setzt Gleichheit des Regenfalles während der ganzen Regendauer voraus. Da aber die Dichte gerade solcher Regenfälle, die bei Anlage städtischer Kanalisationen zu Grunde zu legen sind, stark wechselt, so folgt, daß die nach jenen Formeln berechneten Kanäle nicht im Stande sind, während der ganzen Dauer des Regenfalles das zufließende Wasser aufzunehmen, sondern der Zufluß zeitweilig über ihre Leistungsfähigkeit hinausgehen wird. Dieser Mangel der Formel ist indessen leicht zu verbessern, wenn das Verhältnis der größten Regendichte zur durchschnittlichen bekannt ist, indem man alsdann die Abflußmenge nur in demselben Verhältnis größer annehmen braucht.

Wird verlangt, daß die Kanäle im Stande sind, das Wasser in demselben Maße aufzunehmen, als dasselbe zufließt und geht man von einem bestimmten häufig beobachteten Intensitätswechsel aus, nämlich 2,5 (S. 181), so wird man sich der Formel bedienen können:

$$A = 2,5 \cdot 0,15 R = 0,375 R, \text{ bzw. } A = 0,665 R, \text{ bzw. } A = 0,525 R.$$

Kanäle, die hiernach berechnet sind, würden im Stande sein, den sogen. gleichzeitigen Abfluß der Regenmenge zu bewältigen.

§ 135. Die vorstehend mitgeteilten Formeln sind, obwohl auf Beobachtungen fußend, insofern mangelhaft, als in denselben der Einfluß, den die Ausdehnung des Niederschlagsgebietes, die Flächengröße, übt, unberücksichtigt bleibt. Von der Flächengröße, d. h. von der Zeit, die eine gewisse Regenmenge zum vollständigen Abfluß braucht, hängen Verdunstung und Versickerung ab; von der Flächengröße hängt auch die Zeitdauer, innerhalb welcher der Abfluß zu Ende gelangt, ab. Es kann daher nicht richtig sein, die Dauer des Abflusses allgemein = dem 3,5fachen der Regendauer zu setzen, wie in den obigen Formeln geschieht. Bei kleinen Flächen wird die Verzögerung geringer, bei großen kann sie größer als 2,5 sein. In einer richtig gebauten Formel für die Abflußmenge muß daher notwendig die Flächengröße  $F$  vorkommen. Außerdem müßte die Formel das Gefälle des Niederschlagsgebietes enthalten. Letzteres Erfordernis ist jedoch von etwas minderem Belang, weil die bei städtischen Straßen vorkommenden Gefälle innerhalb gewisser, nicht allzu weiter Grenzen liegen, so daß man im Stande ist, das Gefälle durch Einführung gewisser Koeffizienten oder Zuschläge ausreichend genau zu berücksichtigen.

Bezeichnet man mit  $A$  die sekundliche größte Abflußmenge, mit  $R$  die sekundliche größte Regendichte (beide in Liter pro Hektar ausgedrückt), mit  $F$  das Niederschlagsgebiet in Hektar und mit  $\varphi$  und  $\psi$  zwei Koeffizienten, von denen  $\varphi$ , weil er der Verlängerung der Abflußdauer im Vergleich zur Regendauer entspricht, als „Verzögerungskoeffizient“ bezeichnet werden mag und  $\psi$  Bezug auf das Verhältnis der



wasserundurchlässigen Flächengröße zur Gesamtgröße des Niederschlagsgebietes hat, so ist der allgemeinste Ausdruck für die maximale sekundliche Abflußmenge in der Formel gegeben:

$$\frac{A}{R} = \varphi \cdot \varphi \cdot F.$$

Für  $\varphi$  sind die Werte auf S. 70 ff. zu etwa 0,4 bis 0,7 berechnet worden. Es ist klar, daß man zu unrichtigen Resultaten gelangen würde, wollte man für das ganze Stadtgebiet einen einzigen Wert des Koeffizienten annehmen; es müssen „Bezirke“ gebildet und ist für jeden einzelnen ein besonderer Wert von  $\varphi$  zu ermitteln.

Was den Wert  $\varphi$  betrifft, so ist dieser von  $F$  abhängig, vielleicht auch von der Regendauer. Bringt man ihn (wie Kuichling es gethan hat) in Beziehung zu letzterer und nimmt man mit ihm einfache Proportionalität zwischen beiden an, d. h.  $\varphi = \mu t$ , wo  $\mu$  eine aus örtlichen Verhältnissen zu bestimmende Konstante ist, so hat man:

$$\frac{A}{R} = \varphi \cdot \mu t \cdot F,$$

und wenn man für die größte Regendichte  $R$  den Wert nach S. 182 einsetzt und umformt, so findet sich:

$$A = \varphi \mu t F (b - c t).$$

Die Formel ist selten anwendbar, weil sie Konstanten enthält, die nur aus den örtlichen Verhältnissen durch Beobachtungen bestimmt werden können. Außerdem ist es fraglich, ob eine so gesetzmäßige Beziehung zwischen Regendauer, größter Regendichte und Verzögerung des Abflusses besteht, als Kuichling annimmt, während die Abhängigkeit des Koeffizienten  $\varphi$  von der Flächengröße unbezweifelt ist, bis zu einem gewissen Grade theoretisch klar gelegt werden kann und von der Erfahrung überall bestätigt wird. Wären die in der Formel enthaltenen Voraussetzungen zutreffend, so würde die Formel das Maximum der Abflußmenge ergeben.

Von englischen, amerikanischen und deutschen Technikern rühren mehrere Formeln her, die hier ohne Angabe von Zahlenkoeffizienten mitgeteilt werden:

$$\text{Von Hawksley} \quad \frac{A}{R} = k F \sqrt[4]{\frac{s}{F R}} \quad (1)$$

$$\text{„ Adams} \quad \frac{A}{R} = k_1 F \sqrt[12]{\frac{s}{F^2 R^2}} \quad (2)$$

$$\text{„ Mc. Math} \quad \frac{A}{R} = k_2 F \sqrt[5]{\frac{s}{F}} \quad (3)$$

$$\text{„ Bürkli-Ziegler} \quad \frac{A}{R} = k_3 F \sqrt[4]{\frac{s}{F}} \quad (4)$$

Ganz absehend von der Frage, ob diese Formeln sich auf theoretischer Grundlage aufbauen oder rein empirische sind, kann man gegen die unter 1 und 2 mitgeteilten das Bedenken erheben, daß der Abfluß mit der Regenmenge  $R$  nicht in geradem sondern nur in einem geringeren Verhältnis wächst; hierfür dürfte ein Grund kaum erdenkbar sein. Die Formeln zu 3 und 4 sind von diesem Bedenken frei. Kuichling teilt a. a. O. Zahlenwerte der Koeffizienten  $k_1 \dots k_3$  mit, von welchen jedoch hier abgesehen wird.  $s$  bezeichnet in allen Formeln den sinus der Oberflächenneigung, oder das damit nahe übereinstimmende relative Gefälle. —







worin  $\beta$  ein von der Form der Fläche abhängiger Koeffizient ist. Danach wird:

$$\sqrt{2l} = \sqrt{2\beta} \sqrt[4]{F}$$

wonach schließlich wird:

$$\frac{A}{R} = \psi \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{2\beta}} \frac{1}{\sqrt[4]{F}} \quad \dots \quad 6)$$

Bei rechteckigen oder nahezu rechteckigen Figuren ist  $l$  etwa  $\frac{1}{2}$  der Seitenlänge, beim Kreise etwa  $\frac{1}{2}$  des Durchmessers; mithin kann für Flächen dieser Art  $\beta = \frac{1}{2}$  gesetzt werden. Dann wird:

$$\frac{A}{R} = \psi \sqrt{g \sin \alpha} \frac{1}{\sqrt[4]{F}}.$$

Der mittlere Faktor nimmt für die Neigung von etwa 0,1 den Wert 1 an; für kleinere Neigungen wird derselbe geringer, für stärkere größer. Für größere Neigungen als 0,1 wird daher die Formel:

$$\frac{A}{R} = \psi \frac{1}{\sqrt[4]{F}}$$

zu kleine Abflußmengen ergeben, für geringere dagegen zu große, also sichernde.

Bei der Ungewißheit, welche hiernach bestehen bleibt, empfiehlt sich der Versuch  $\frac{A}{R}$  aus Beobachtungen zu bestimmen. Dazu setzte Baumeister\*):

$$\frac{A}{R} = \frac{x}{\sqrt[4]{F}} \text{ oder } x = \frac{A}{R} \sqrt[4]{F}$$

und ermittelte nun aus den S. 204 mitgeteilten Beobachtungen den Wert  $x$  angenähert wie folgt:

	im flachen Gelände	im Gelände mit Neigung
für offene Bebauung . . . . .	0,5	1,0
„ geschlossene (enge) Bebauung	1,0	2,0

Wenn man ausrechnet, für welche Werte von  $F$  die Abflußmenge einen bestimmten Prozentsatz der Regenmenge — etwa 0,3 — erreicht, so ergibt sich, daß für

offene	Bebauung im flachen Gelände dies bei $F_1 =$ etwa 10 ha ( $x = 0,5$ )
„	„ „ geneigten „ „ „ $F_2 =$ „ 50 „ ( $x = 1,0$ )
geschlossene	„ „ flachen „ „ „ $F_3 =$ „ 50 „ ( $x = 1,0$ )
„	„ „ geneigten „ „ „ $F_4 =$ „ 100 „ ( $x = 2,0$ )

stattfindet. Für diese oder ähnliche große Flächen würde daher die Faustregel, daß der Abfluß etwa 0,3 oder wenig darüber beträgt, Geltung beanspruchen können, desgleichen für größere Flächen, nicht aber für kleinere. Die Benutzung der obigen Zahlen ist daher an die ermittelten untern Grenzwerte von  $F$  gebunden.

Die vorstehenden Ermittlungen, halb rechnerisch, halb auf Beobachtung gegründet, lassen die großen Schwierigkeiten erkennen, welche einer nur halbwegs genauen Bestimmung der Abflußmengen entgegenstehen. Bei den weiten Grenzen,

\*) Deutsche Bauzeitung 1884, S. 178.



innerhalb deren die dem Einfluß des Gefälles entsprechende Zahl sich bewegt, ist es sehr schwer, in einem bestimmten Falle den dafür passenden Wert zu treffen. Deshalb wird es richtiger sein, die Anwendung des obigen Verfahrens auf überschlägliche Rechnungen zu beschränken, für die entscheidenden Rechnungen jedoch die Grundlagen den thatsächlichen Verhältnissen des betreffenden Falles zu entnehmen. Dies hat auch keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, da sowohl das Gefälle des Geländes (Koeffizient  $\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{F}}$ ) als auch die Größe der wasserundurchlässigen Flächen (Koeffizient  $\psi$ ) ausreichend genau festgelegt werden können.

Die Berücksichtigung des Gefälles läßt sich auch anstatt der Einführung eines besonderen Koeffizienten in der Weise verwirklichen, daß man  $\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{F}}$  entsprechend vergrößert, indem man anstatt der 4. die 5. oder 6. Wurzel aus der Flächengröße einführt. Obwohl dies Verfahren nicht gerade als rationell anzusehen ist, findet dasselbe doch neuerdings Eingang. In Königsberg i. Pr. mit teilweise stark bewegtem Gelände hat man  $\frac{A}{R} = \frac{1}{\sqrt[5]{F}}$ , in Wiesbaden, mit größtenteils sehr steilem Gelände  $\frac{A}{R} = \frac{1}{\sqrt[6]{F}}$  angenommen.

Wie sich die Ergebnisse der drei Annahmen für  $\varphi$  unter Voraussetzung zweier Regenfälle, die bezw. 25 und 45 mm Regenhöhe in 1 Stunde liefern, bezw. liefern würden, wenn der Regenfall die Dauer von 1 Stunde erreichte, gestalten, zeigt folgende Tabelle, welche neben den Abflusmengen die zugehörigen Werte der Verzögerungskoeffizienten angiebt:

Tabelle I.

Fläche ha	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[5]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[6]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.
1	1,00	1,00	{ 70 125	1,00	1,00	{ 70 125	1,00	1,00	{ 70 125
2	0,85	1,18	{ 60 106	0,87	1,15	{ 61 109	0,88	1,13	{ 62 110
3	0,76	1,32	{ 53 95	0,80	1,25	{ 56 100	0,83	1,21	{ 58 104
4	0,71	1,34	{ 50 89	0,76	1,32	{ 53 95	0,79	1,26	{ 55 99
5	0,67	1,49	{ 47 84	0,73	1,38	{ 51 91	0,77	1,31	{ 54 96
6	0,64	1,56	{ 45 80	0,70	1,43	{ 49 88	0,74	1,35	{ 52 93
7	0,62	1,63	{ 44 78	0,68	1,48	{ 48 85	0,72	1,39	{ 50 90
8	0,60	1,69	{ 42 75	0,66	1,52	{ 46 83	0,70	1,42	{ 49 88
9	0,58	1,74	{ 41 73	0,64	1,56	{ 45 80	0,69	1,45	{ 48 86
10	0,56	1,79	{ 39 70	0,63	1,59	{ 44 79	0,68	1,47	{ 48 85
15	0,51	1,96	{ 36 64	0,58	1,72	{ 41 73	0,63	1,57	{ 44 79
20	0,47	2,12	{ 33 59	0,55	1,82	{ 39 69	0,60	1,65	{ 42 75
30	0,43	2,34	{ 30 54	0,51	1,97	{ 35 64	0,57	1,76	{ 41 71



Fläche ha	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[5]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.	$\varphi = \frac{1}{\sqrt[6]{F}}$	Verzögerung + 1	Abfluß Sek.-Lit.
40	0,40	2,52	28	0,48	2,09	34	0,54	1,85	38
50	0,38	2,66	50	0,46	2,19	60	0,52	1,92	68
60	0,36	2,78	27	0,44	2,27	32	0,51	1,98	36
70	0,34	2,89	48	0,43	2,34	58	0,50	2,02	65
80	0,33	3,00	25	0,42	2,40	31	0,48	2,08	36
90	0,32	3,10	45	0,41	2,46	55	0,47	2,12	64
100	0,31	3,16	24	0,40	2,50	30	0,46	2,15	35
150	0,29	3,50	43	0,37	2,72	54	0,43	2,34	63
200	0,27	3,75	23	0,35	2,89	29	0,41	2,46	34
300	0,24	4,16	41	0,32	3,10	53	0,39	2,59	60
400	0,22	4,48	22	0,30	3,32	28	0,37	2,72	33
500	0,21	4,73	40	0,29	3,47	51	0,36	2,81	59
1000	0,18	5,63	20	0,25	4,00	26	0,32	3,16	32
2000	0,15	6,69	36	0,21	4,58	46	0,28	3,55	58
3000	0,14	7,40	19	0,20	4,96	25	0,27	3,80	29
4000	0,13	7,95	34	0,19	5,25	44	0,25	3,98	51
5000	0,12	8,41	17	0,18	5,49	22	0,24	4,14	27
			8			21			26
			15			38			46
						20			25
						36			45
						18			22
						31			41
						15			20
						26			35
						14			19
						25			34
						14			18
						24			31
						13			17
						23			30

Die vorstehend berechneten Werte bedürfen nun noch der Korrektur mittelst des Koeffizienten  $\phi$ , um die Oberflächenbeschaffenheit, d. h. den Abzug, der auf Verdunstung und Versickerung entfällt, zu berücksichtigen. Die Korrektur kann ausgeführt werden, indem man das — durchlässige — Entwässerungsterrain in seiner Gesamtheit auf wasserundurchlässiges zurückführt (für welches  $\phi = 1$  ist) oder auch — und mit größerer Genauigkeit — indem man das Gebiet in Teile zerlegt, in deren jedem ein gewisser Grad von Uebereinstimmung mit Bezug auf den Koeffizienten  $\phi$  stattfindet und nun für die einzelnen Teile mit den den Verhältnissen anzupassenden Werten  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  u. s. w. rechnet.

Für die Entwässerungsanlage von Wiesbaden wurde mit fünf Werten von  $\phi$  gerechnet, entsprechend der Einteilung des ganzen Gebiets in fünf Gattungen und zwar:

1. Gattung: Bezirke mit dichter Bebauung . . . . .  $\phi_1 = 0,80$ ,
2. " " " weiträumiger Bebauung . . . . .  $\phi_2 = 0,60$ ,
3. " " " Villenbebauung . . . . .  $\phi_3 = 0,40$ ,
4. " Unbebaute Bezirke mit nackter Oberfläche  $\phi_4 = 0,20$ ,
5. " Waldflächen, Schmuckplätze, Anlagen . . .  $\phi_5 = 0,10$ .

Die Werte von  $\phi$  mögen unter anderen Verhältnissen anders als hier gewählt werden. Es scheint aber, daß sie nicht zu klein angenommen sind und dieser Umstand rechtfertigt es, die obigen Tabellenwerte der Abflusmengen nach denselben abzuändern; dadurch ergibt sich folgende weitere Tabelle:



Tabelle II: Abflußmengen für 25 bzw. 45 mm stündliche Regenhöhe.

Fläche <i>F</i> ha	Abflußmengen Sekunden-Liter					Abflußmengen Sekunden-Liter					Abflußmengen Sekunden-Liter				
	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10
1	56	42	28	14	7	56	42	28	14	7	56	42	28	14	7
	100	75	50	25	12,5	100	75	50	25	12,5	100	75	50	25	12,5
2	48	36	24	12	6	49	37	25	13	6,5	50	37	25	13	6,5
	85	64	42	21	10,5	87	65	44	22	11	88	66	44	22	11
3	42	32	21	10	5	45	34	23	12	6	46	35	23	12	6
	76	57	38	19	9,5	80	60	40	20	10	83	62	42	21	10,5
4	40	30	20	10	5	42	32	21	11	5,5	44	33	22	11	5,5
	71	50	35	18	9	76	57	38	19	9,5	79	59	40	20	10
5	38	29	19	10	5	41	31	21	11	5,5	43	32	22	11	5,5
	67	50	33	17	9	73	55	37	19	9,5	77	58	39	20	10
6	36	27	18	9	4,5	39	29	20	10	5	42	31	21	11	5,5
	64	48	32	16	8	70	53	35	18	9	74	56	37	19	9,5
7	35	26	18	9	4,5	38	29	19	10	5	40	30	20	10	5
	62	47	31	16	8	68	51	34	17	8,5	72	54	36	18	9
8	34	25	17	9	4,5	37	28	19	10	5	39	29	20	10	5
	60	45	30	15	7,5	66	50	33	17	8,5	70	53	35	18	9
9	33	25	17	9	4,5	36	27	18	9	4,5	38	29	19	10	5
	58	44	29	15	7,5	64	48	32	16	8	69	52	35	18	9
10	31	23	16	8	4	35	26	18	9	4,5	38	29	19	10	5
	56	42	28	14	7	63	47	32	16	8	68	51	34	17	8,5
15	29	22	15	8	4	33	25	17	9	4,5	38	26	19	10	5
	51	38	26	13	6,5	58	44	29	15	7,5	63	47	34	17	8,5
20	26	20	13	7	3,5	31	23	16	8	4	34	25	17	9	4,5
	47	35	24	12	6	55	41	28	14	7	60	45	30	15	7,5
30	24	18	12	6	3	28	21	14	7	3,5	33	25	17	9	4,5
	43	32	22	11	5,5	51	38	26	13	6,5	57	43	29	15	7,5
40	22	17	11	6	3	27	20	14	7	3,5	30	23	15	8	4
	40	30	20	10	5	48	36	24	12	6	54	41	27	14	7
50	22	16	11	6	3	26	19	13	7	3,5	29	22	15	8	4
	38	29	19	10	5	46	35	23	12	6	52	39	26	13	6,5
60	20	15	10	5	2,5	25	19	13	7	3,5	29	22	15	8	4
	36	27	18	9	4,5	44	33	22	11	5,5	51	38	26	13	6,5
70	19	14	10	5	2,5	24	18	12	6	3	28	21	14	7	3,5
	34	26	17	9	4,5	43	32	22	11	5,5	50	38	25	13	6,5
80	18	15	9	5	2,5	23	17	12	6	3	27	20	14	7	3,5
	33	25	17	9	4,5	42	32	21	11	5,5	48	36	24	12	6
90	18	13	9	5	2,5	23	17	12	6	3	26	20	13	7	3,5
	32	24	16	8	4	41	31	21	11	5,5	47	35	24	12	6
100	18	13	9	5	2,5	22	17	11	6	3	26	19	13	7	3,5
	31	23	16	8	4	40	30	20	10	5	46	35	23	12	6
150	16	12	8	4	2	21	16	11	6	3	24	18	12	6	3
	29	22	15	8	4	37	28	19	10	5	43	32	22	11	5,5
200	15	11	8	4	2	20	15	10	5	2,5	23	17	12	6	3
	27	20	14	7	3,5	35	26	18	9	4,5	41	31	21	11	5,5
300	14	10	7	4	2	18	14	9	5	2,5	22	16	11	6	3
	24	18	12	6	3	33	25	17	9	4,5	39	29	20	10	5
400	12	9	6	3	1,5	17	13	9	5	2,5	21	16	11	6	3
	22	17	11	6	3	30	23	15	8	4	37	28	19	10	5



Fläche <i>F</i> ha	Abflußmengen Sekunden-Liter					Abflußmengen Sekunden-Liter					Abflußmengen Sekunden-Liter				
	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10	$\psi_1 =$ 0,80	$\psi_2 =$ 0,60	$\psi_3 =$ 0,40	$\psi_4 =$ 0,20	$\psi_5 =$ 0,10
500	12	9	6	3	1,5	16	12	8	4	2	20	15	10	5	2,5
	21	16	11	6	3	29	22	15	8	4	36	27	18	9	4,5
1000	10	8	5	3	1,5	14	11	7	4	2	18	13	9	5	2,5
	18	14	9	5	2,5	25	19	13	7	3,5	33	25	17	9	4,5
2000	9	7	5	3	1,5	12	9	6	3	1,5	16	12	8	4	2
	15	11	8	4	2	12	16	11	6	3	28	21	14	7	3,5
3000	7	5	4	2	1	11	8	6	3	1,5	15	11	8	4	2
	14	10	7	4	2	20	15	10	5	2,5	27	20	14	7	3,5
4000	7	5	4	2	1	11	8	6	3	1,5	14	11	7	4	2
	14	10	7	4	2	19	14	10	5	2,5	25	19	13	7	3,5
5000	6	5	3	2	1	10	8	5	3	1,5	14	10	7	4	2
	12	9	6	3	1,5	18	14	9	5	2,5	24	18	12	6	3

Aus der Tabelle 1 ist zunächst zu ersehen, daß der Verzögerungskoeffizient  $\varphi$  nur für die kleineren Flächen einigermaßen rasch wechselt, indem derselbe von 0—5 ha von 1,0 auf bzw. rund  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{4}$  und  $\frac{4}{5}$  herabgeht, von da an bis 20 ha aber nur auf bzw. 0,47—0,55—0,60. Bis 100 ha erfolgt nur Herabgehen auf bzw. 0,31—0,40—0,46 und bis auf 1000 ha nur auf bzw. 0,18—0,25—0,32. Für ein sehr großes Gebiet von 5000 ha nimmt dann der Koeffizient nur noch bis auf 0,12—0,18 und 0,24 ab.

Demnach kann es gestattet sein, für Flächen, die 1000 ha und darüber groß sind, mit einem einzigen, gemittelten Koeffizienten zu rechnen. Anders aber bei kleineren nur wenige Hektar großen Gebieten, weil hier für jedes Hektar mehr eine nicht unbedeutende Herabminderung des Koeffizienten stattfindet. Ohne merkliche Fehler kann man etwa gruppieren:

0—2 ha, 2—5 ha, 5—10 ha, 10—20 ha, 20—40 ha, 40—80 ha, 80—150 ha, 150—300 ha, 300—1000 ha u. s. w.

und dafür etwa die gemittelten Koeffizienten  $\varphi$

$\varphi_1 = 0,90$ ,  $\varphi_2 = 0,75$ ,  $\varphi_3 = 0,60$ ,  $\varphi_4 = 0,50$ ,  $\varphi_5 = 0,45$ ,  $\varphi_6 = 0,36$ ,  $\varphi_7 = 0,30$ ,  
 $\varphi_8 = 0,26$ ,  $\varphi_9 = 0,20$

den Rechnungen zu Grunde legen.

Im umgekehrten Verhältnis zu  $\varphi$  wächst die Verzögerung. Bei Flächen von 20 ha wird nach Spalte 3 der Tabelle (und den korrespondierenden Zahlen für die anderen Gruppen) die Abflußdauer das 2,12-, bzw. 1,82- und 1,65fache der Regendauer, bei 50 ha das 2,66- bzw. 2,19- und 1,92fache, bei 100 ha das 3,16- bzw. 2,50- und 2,15fache, bei 1000 ha das 5,63- bzw. 4,00- und 3,16fache. Letztere Verzögerungen sind wesentlich größer, und die sekundlichen Abflußmengen entsprechend geringer als die auf S. 208 auf Grund von Beobachtungen ermittelten, daher diese Zahlen der Tabelle jedenfalls eher zu kleine als zu große Werte liefern. Unter besonderen Verhältnissen wird dies nicht übersehen werden dürfen. Der hervorgehobene Umstand darf um so weniger unbeachtet bleiben, als die Tabellen durchschnittliche sekundliche Abflußmengen angeben, also nicht die größten, welche bei Wechseln der Regendichte abzuführen sind. Nimmt man die S. 181 angegebene Zahl von 2,5 für die größte Regendichte im Vergleich zum durch-



schnittlichen an, so würden, wenn die Kanäle im Stande sein sollen, die Regenmengen, so wie dieselben fallen, auch aufzunehmen, die Regenmengen Zahlen der Tabelle mit 2,5 multipliziert werden müssen.

Auch selbst wenn die Regendichte während der ganzen Regendauer gleichmäßig bleibt, gehen die während des größten Teils der Zeitdauer aufzunehmenden Abflusssmengen um einiges über die Angaben der Tabelle hinaus, weil in der Zeitdauer, aus welcher die Durchschnittsmenge sich ergibt, die Anfangs- und Endperiode des Regenfalles enthalten sind; während beider Zeiträume ist der Abfluß geringer, als während des zwischenliegenden Beharrungszustandes.

Der große Wechsel in der Verzögerung, welcher nach der Tabelle 1 für die Fläche bis 1000 ha schon von 1—5,63 bzw. von 1—4,00 bzw. von 1—3,16 geht, läßt erkennen, daß ein konstanter Verzögerungskoeffizient, wie er auf S. 208 angewendet wurde und auch noch häufig in Gebrauch ist, keine Berechtigung hat, daß der Koeffizient vielmehr mit geringer werdender Gebietsgröße in starkem Verhältnis abnehmen muß. Die Annahme der Abflußmenge unabhängig von der Größe des Abflußgebiets, welche hier und da erfolgte, ist daher ein grundsätzlicher Fehler.

Ein weiterer Punkt, zu dessen Hervorkehrung die Tabellen Anlaß geben, knüpft an den Einfluß an, den das Gefälle auf den Verzögerungskoeffizienten ausübt. Setzt man nämlich den für flaches Gelände geltenden Verzögerungskoeffizienten = 1, so sind die Verzögerungskoeffizienten für wenig geneigtes, bzw. stärker geneigtes Gelände nach Tabelle 1 bzw. folgende:

5 ha	0,67	} = 1	$\frac{0,73}{0,67} = 1,09$	} \text{ und }	$\frac{0,77}{0,67} = 1,15$
10 "	0,56		$\frac{0,63}{0,56} = 1,13$		$\frac{0,68}{0,56} = 1,23$
100 "	0,31		$\frac{0,40}{0,31} = 1,27$		$\frac{0,46}{0,31} = 1,48$
500 "	0,21		$\frac{0,29}{0,21} = 1,35$		$\frac{0,36}{0,21} = 1,66$
1000 "	0,18		$\frac{0,25}{0,18} = 1,38$		$\frac{0,32}{0,18} = 1,77$
5000 "	0,12		$\frac{0,18}{0,12} = 1,50$		$\frac{0,24}{0,12} = 2,00$

Diese Zahlenreihen besagen, daß mit größer werdendem Niederschlagsgebiet, die Abflußmenge von stärker geneigten Flächen im Vergleich zu den Abflusssmengen von Flächen ohne oder mit nur geringer Neigung stark wachsen. Dies dürfte aber mit der Wirklichkeit des Vorganges in Widerspruch stehen. Denn das Wachstum würde voraussetzen, daß das Wasser auf den geneigten Flächen in beschleunigter — und nicht gleichförmiger — Geschwindigkeit zu Thal geht. Eine beschleunigte Bewegung kann allerdings dadurch hervorgerufen werden, daß mit der Höhe der abfließenden Wasserschicht eine Verminderung der Bewegungswiderstände stattfindet. Daß aber die Beschleunigung so beträchtlich werde, wie die obigen Zahlen angeben, ist kaum anzunehmen; es ist vielmehr wahrscheinlich, daß die Bewegung auch auf den geneigten Flächen eine im ganzen gleichförmige sei.

Der wahrscheinlich vorhandene Widerspruch zwischen dem Rechnungsergebnis und der Wirklichkeit ist in den Ungenauigkeiten — besser gesagt unvermeidlichen Willkürlichkeiten — begründet, auf denen die Schlußformel für die Abflußmenge sich aufbaut. Dieselbe wird bei geneigten Flächen einem andern Gesetz als dem



in dem Ausdruck  $\frac{1}{\sqrt[n]{F}}$  bzw.  $\frac{1}{\sqrt[n]{F}}$  enthaltenen folgen, welches Gesetz aber zur Zeit noch nicht bekannt ist.

Außer dieser Ungenauigkeit leidet die Abflußmengenformel  $\frac{A}{R} = \phi \frac{1}{\sqrt[n]{F}}$  noch an dem folgenden weiteren: Es wird in derselben die Verzögerung als Funktion lediglich der Flächengröße gegeben. Dies ist unrichtig, da ebenso sehr als die Flächengröße die Flächenform dabei beteiligt ist. Dies wird klar, wenn man sich dieselbe Fläche einmal als von quadratischer, und ein andermal als von gestreckt rechteckiger Form vorstellt, oder einmal die Sammelstelle für das abfließende Wasser an einer Langseite, und ein andermal an einer Schmalseite einer gestreckt rechteckigen Figur liegend denkt. In allen diesen Fällen ist die Flächengröße und die Abflußmenge die gleiche, während die durchschnittlichen Wegeslängen, die das Wasser von der Fläche bis zur Sammelstelle zurückzulegen hat, sehr ungleich sind, mithin auch die bezüglichen Zeiten, welche zum Abfluß erfordert werden, verschieden sein müssen.

Um ein richtiges Resultat von der Formel erwarten zu können, müßte der Wert  $F$  mit einem Koeffizienten multipliziert werden, in welchem die Abweichung der Flächenform etwa vom Quadrat oder von einem Kreise zum Ausdruck gebracht wäre. Bei der Vielgestaltigkeit der Flächen erscheint eine solche Vervollkommenung aber kaum ausführbar; es bleibt ein anderes nicht übrig, als daß man die Formel — und die nach derselben berechneten Tabellen — als etwa für Flächen von quadratischer oder nahezu quadratischer Form passend ansieht. Handelt es sich dann um stark abweichende Formen, so mag man diese in quadratische oder rechteckige Formen verwandeln, und nun, je nach der Lage der Sammelstelle des Wassers zur Fläche entweder eine entsprechend vergrößerte oder eine verminderte Abflußdauer zu Grunde legen. Bei Lage derselben in einer Schmalseite würde sich die Abflußdauer verlängern, die einfache Annahme der Formelwerte also sichernde Zahlen ergeben. Anders bei Lage der Sammelstelle in einer Langseite, oder innerhalb der Fläche selbst. Dabei würde sich die Abflußdauer verkürzen, d. h. es würden die einfachen Formelwerte zu gering, der sekundliche Zufluß stärker sein, als die nach derselben berechneten Zahlen angeben, und es wären entsprechende Zuschläge zu denselben notwendig. Etwas Näheres über die Höhe derselben ist hier nicht angebbar, da, wie bemerkt, die Verschiedenartigkeit der Fälle eine allgemeine Behandlung der Aufgabe nicht zuläßt und übrigens ein auf anderweiten Grundlagen fassendes genaueres Verfahren zur Feststellung der Abflußmengen noch anzugeben sein wird.

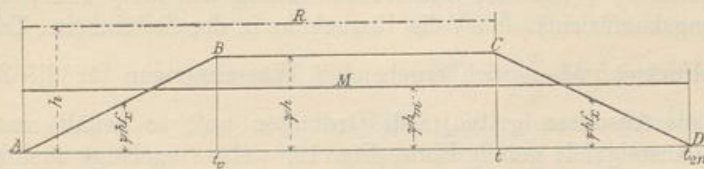
Zuvor sei aber noch die notwendig erscheinende Bemerkung gemacht, daß selbstverständlich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Abfluß an der Oberfläche und Abfluß in unterirdischen Kanälen nicht besteht, wenn bei letzteren die Wegeslängen des Wassers im einzelnen und im ganzen vielleicht auch etwas andere sein können. Es haben daher die oben entwickelten Ausdrücke für die Abflußmengen auch Geltung, einerlei ob dieselben auf einen Punkt bezogen werden, an welchem das Wasser erst in einen unterirdischen Kanal aufgenommen wird, oder ob es sich um einen beliebigen Punkt in dem Kanalnetz selbst handelt, den eine gewisse Wassermenge passiert, welche an einem oberhalb liegenden Punkte, oder auch an mehreren Punkten von der Oberfläche aufgenommen war.

§ 136. Die Bestimmung der Abflußmengen durch Rechnung führt nach dem vorhergehenden Paragraphen zu Resultaten, die nur als Annäherungen be-



trachtet werden können, weil das Problem zu verwickelt liegt, um sich in genügend einfache Ausdrücke zusammenfassen zu lassen. Eine klarere Einsicht in die Wirklichkeit des Vorganges und die Erlangung genauerer Schlußresultate gewährt das zeichnerische Verfahren. Trägt man Fig. 10 die auf die Zeiteinheit bezogenen Regenhöhen als Ordinaten zu den zugehörigen Zeiten  $t$  als Abscissen auf, so erhält man Linien, welche in den beistehenden Figuren durchgehends mit

Fig. 10.



$R$  bezeichnet sind. Bei gleichbleibender Regendichte sind die Linien  $R$  Parallelen zur Abscissenaxe, und zwar ungebrochene, Fig. 10, wenn während der ganzen Dauer des Regenfalles die Regenhöhe dieselbe ist. Treten Aenderungen ein, und findet innerhalb der betreffenden Zeitabschnitte wieder Gleichbleiben der Regenhöhe

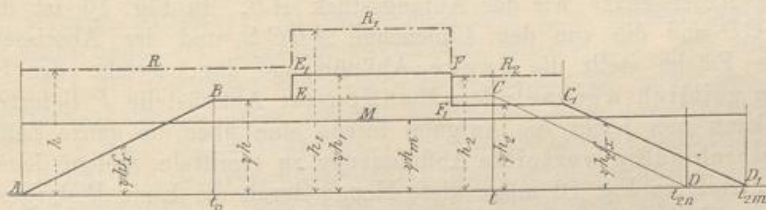
Fig. 11.



statt, so erhält man, Fig. 11 bis 13, Linienzüge  $R, R_1, R_2$  u. s. w., welche ebenfalls parallel der Abscissenaxe verlaufen, zu denen jedoch ungleiche Ordinaten  $h, h_1, h_2$  u. s. w. gehören.

Es werde nun der einfachste Fall angenommen, daß das Abflußgebiet ein Rechteck

Fig. 12.



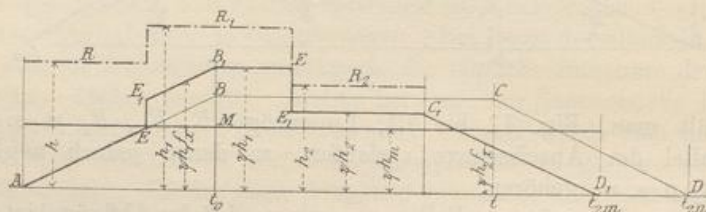
der Seitenlängen  $b$  und  $2b$ , Fig. 14 (S. 222) und die Aufgabe gegeben sei, die Abflußmengen pro Zeiteinheit zu bestimmen, welche an dem in einer Schmalseite liegenden Punkte  $P$  zusammentreffen. Man kann dazu die ganze Fläche  $= 2b^2$  durch Parallelen, die im Abstände  $\frac{b}{n}$  gezogen werden, in Teilflächen  $f$  zerlegen, die unter sich gleich groß und die Größe  $b \cdot \frac{b}{n} = \frac{b^2}{n}$  haben. Die durch  $n$  ausgedrückte Teilweite ist so zu



wählen, daß in jeder Zeiteinheit 1 Flächenteilchen mehr zur Abflußmenge, welche bei  $P$  eintrifft, beiträgt (bezw. wenn der Regenfall zu Ende gekommen), in jeder Zeiteinheit 1 Flächenteilchen weniger für den Abfluß außer Wirksamkeit tritt.

Alsdann fließt in der ersten Zeiteinheit ( $t_1$ ) die Menge  $\phi h \frac{b^2}{n}$ , bis zum Ablauf der zweiten  $\phi h \frac{2b^2}{n}$  und allgemein bis zum Ende der Zeit  $t_x$  die Menge  $\phi h b^2 \frac{x}{n}$  am Punkte  $P$  zusammen.  $\phi$  hat hier dieselbe Bedeutung wie im § 134 (Verdunstungs- und Einsickerungskoeffizient).  $h$  ist die Regenhöhe in der Zeiteinheit. Trägt man die aus dem Ausdruck  $\phi h b^2 \frac{x}{n}$  sich ergebenden Wassermengen für die Zeiten  $t_1 \dots t_x \dots t_{2n}$  (die als Abscissen gelten), als Ordinaten auf, so erhält man eine in  $A$  aus beginnende ansteigende gerade Linie, Fig. 10, welche so lange ansteigt, bis nach Ablauf der Zeit  $t_{2n}$  die ganze Fläche  $\frac{2b^2}{n}$  zum Abfluß bei  $P$  beiträgt und die Abflußmenge  $= \phi h b^2 \frac{2n}{n} = \phi h 2b^2$  geworden ist. Damit ist der Beharrungszustand erreicht, während dessen Dauer die auf die Zeiteinheit entfallende Abflußmenge dieselbe bleibt. Die graphische Darstellung ergibt also vom Punkte  $B$  ab eine Gerade, welche parallel der Abscissenaxe verläuft. Hört nun nach einer gewissen Zeitdauer der Regen auf, so werden von da an die entferntest liegenden Flächenteilchen  $t$  in der umgekehrten Ordnung und in denselben Zeiträumen wieder außer Wirksamkeit für den Abfluß treten, als sie beim Beginn des Regens in Wirksamkeit getreten sind. Der

Fig. 13.



letzte Teil der Abflußkurve ist also wieder eine Gerade von gleicher Länge und gleicher Neigung zur Abscissenaxe wie das Anfangsstück  $AB$ . In Fig. 10 ist dieser Teil das Stück  $CD$  und die von dem Linienzuge  $ABCD$  und der Abscissenaxe eingeschlossene Fläche stellt die ganze Abflußmenge dar, welche der betreffende Regenfall in zeitlich wechselnden Mengen zur Abflußstelle  $P$  lieferte.

Man kann nun leicht die Aufgabe lösen, eine über die ganze Zeitdauer des Abflusses gleichmäßig verteilte Abflußmenge zu ermitteln, welche denselben Gesamtabfluß liefert; in Fig. 10 möge diese Menge durch die Linie  $M$  dargestellt sein. Man entnimmt hieraus die Bestätigung der bereits S. 217 angeführten Thatsache, daß auch, ohne daß Wechsel in der Regendichte stattfinden, die Abflußmengen nicht während der ganzen Abflußzeit gleichbleibend sind, sondern entsprechend der Form und Ausdehnung des Abflußgebietes wechseln: im Anfangs- und Endteile unter dem Durchschnitt bleiben, im mittleren (Beharrungszustande) darüber hinausgehen.

In Fig. 11 ist ein Fall mit wechselnder Regendichte behandelt; und zwar tritt die Dichtevermehrung in demjenigen Zeitpunkte ein, wo gerade der Beharrungszustand im Abfluß erreicht ist. Fig. 12 und 13 betreffen etwas verwickelter liegende



Fälle, in denen beiden es sich um Wechsel in den Regendichten handelt; in Fig. 12 tritt 2maliger Wechsel, beide Male während des Beharrungszustandes ein. Bei Fig. 13 ist ebenfalls 2maliger Wechsel vorausgesetzt; es tritt aber der erste Wechsel ein, bevor noch der Beharrungszustand erreicht ist, der zweite während desselben.

Die Darstellungen sind die gleichen wie in Fig. 10. Man verfährt am besten so, daß man zunächst die Abflußkurve in ihren 3 Teilen, genau wie in der Anfangsfigur (10), ohne Rücksicht auf die Wechsel in den Regendichten, zeichnet und erst nachher diese Wechsel in Betracht zieht. In dem Augenblick, wo ein solcher stattfindet, vermehrt oder vermindert sich die Ordinate der Abflußkurve um den entsprechenden

Teil:  $\phi(h - h_1) b^2 \frac{x}{n}$ , wie in den Fig. 11—13 angegeben ist. Ueberdauert der Regenfall den Zeitpunkt, wo die ganze Fläche  $2b^2$  dem Sammelpunkt  $P$  tributär geworden ist, so verlängert sich der Beharrungszustand nebst der ganzen Abflußdauer um gleiche Zeiteile, und der abfallende Teil der Abflußkurve erleidet die der Verlängerung entsprechende Verschiebung parallel der ursprünglichen Lage  $CD$  nach  $C_1 D_1$ , Fig. 12. Wenn der Regenfall nicht so lange anhält, bis durch Eintritt der Wirksamkeit der ganzen Fläche  $2b^2$  der Beharrungszustand erreicht ist, verkürzt sich die Länge des Mittelteils der Abflußkurve und rückt das abfallende Stück derselben parallel der ursprünglichen Lage  $CD$  zurück in die Lage  $C_1 D_1$ , Fig. 13.

Wie in Fig. 10 ist auch in den Fig. 11—13 die gemittelte Abflußlinie angegeben.

Man ersieht, daß das dargestellte Verfahren für jede Flächengestalt, wie immer dieselbe auch beschaffen sei, anwendbar ist, mit der einen Abweichung nur, die an die veränderte Zerlegung des Abflußgebiets in einzelne Teile anknüpft; alles übrige bleibt wie vor. Es ist deshalb unnötig, die Anwendung des Verfahrens auf Flächen von anderer als Rechtecksgestalt hier vorzuführen; doch bleiben einige Bemerkungen nachzutragen.

Zunächst geben die Darstellungen einen Anhalt, um zu erkennen, welche bedeutende zeitweilige Veränderungen der Abflußmengen durch Änderungen der Regendichten eintreten können. Minderungen der Regendichte sind irrelevant, dagegen Vermehrungen von großer Wichtigkeit; indessen waltet doch ein Unterschied nach der Zeit ob, in welcher sie eintreten. Sie mögen relativ gleichgültig sein, so lange der Beharrungszustand noch nicht erreicht ist (vergl. aber Fig. 13); sie können aber eine Ueberlastung der Kanäle, Brüche derselben und Kellerüberschwemmungen durch Rückstau, vermöge Aufstauens in den Schächten u. s. w. hervorbringen, wenn sie in den Zeitabschnitt des Beharrungszustandes fallen, und ihre Gefährlichkeit erhöht sich mit der Zeitdauer der Regendichtevermehrung, sowie mit der Größe des Niederschlagsgebietes. Was hieraus folgt, ist, daß die Berechnung der Kanäle für — durchschnittliche — Wassermengen, wie sie in den Figuren durch die Linien dargestellt und in den Tabellen S. 213—216 zahlenmäßig angegeben ist, keine Sicherheit gegen Zufälle und Uebelstände, wie die oben erwähnten, gewährt, daß vielmehr, wo vermehrte Sicherheit verlangt wird, entsprechende Zuschläge zu den Durchschnittszahlen gemacht werden müssen, oder auch in geeigneter Weise — etwa durch Regenüberfälle oder Notauslässe — gegen zeitweilige Ueberlastungen der Kanäle mit ihren möglichen schlimmen Folgen vorzukehren ist.

Die obigen Darstellungen vermögen ein anschauliches Bild von dem Einfluß zu gewähren, den die Gestalt des Abflußgebiets auf die Abflußmenge ausübt. Je mehr „gedrängt“ die Fläche ist, um so kürzere Zeit ist zur Erreichung des Beharrungszustandes und nach dem Ende desselben zur Beendigung des Abflusses



erforderlich und umgekehrt. Daher vermehrt „gedrängte“ Gebietsform und vermindert „gestreckte“ Gebietsform die Gefahr zeitweiliger Ueberlastung der Kanäle.

Auch das eben vorgeführte graphische Verfahren gewährt aus mehreren Gründen kein vollkommen genaues Bild der Wirklichkeit. Zunächst werden die Wechsel in der Form der Abflußkurven nicht so schroff als dargestellt sein, sondern sich einigermaßen ausgleichen. Alsdann führt die eingehaltene Art der Zerlegung des Abflußgebiets in Teile notwendig zu einem Fehler im Resultat: denn die Vermehrung und Verminderung der Abflußmengen erfolgt genau in dem Verhältnis der Zunahme oder Abnahme der Wegeslängen des Wassers. Diese Aenderung würde man durch Zerlegung des Gebiets in schmale Ringflächen zwischen Kreisen, zu denen der Sammelpunkt  $P$  als Mittelpunkt gehört, erhalten; es müßten also an die Stelle der einzelnen Rechtecke in Fig. 14 entsprechende ringförmige Stücke gesetzt werden.



Man kann aber den durch die gewählte Vereinfachung in die Ermittlung hineingetragenen Fehler dadurch fast beliebig weit herabziehen, daß man die Höhe  $\frac{b}{n}$  sehr klein macht. Im übrigen

ist diese Höhe der Zeiteinheit (Sekunden oder Minuten) anzupassen und die Zeiteinheit um so kleiner zu wählen, je rascher das Wasser den Sammelpunkt  $P$  erreicht. Danach ist klar, daß das graphische Verfahren vor dem rechnerischen auch einen Vorzug darin besitzt, daß es gestattet, bei der Ermittlung das Gefälle des Abflußgebiets in ausreichender Weise zu berücksichtigen.

§ 137. Bei den Stadtkanalisationen deutscher Städte aus der älteren Zeit (von den 60er bis in die 80er Jahre hinein) sind die Abflußmengen aus Regenwassern oft zu gering angenommen worden, teils aus Unvollständigkeit in der Kenntnis der Regenfälle, teils aus Sparsamkeitsrücksichten, teils weil der Verbleib oder die schließliche Behandlung der Wasser besondere Schwierigkeiten bot. Zuweilen auch ist man englischen Vorbildern gefolgt, ohne zu beachten, daß bei englischen Anlagen das Wasser heftiger Regenfälle vielfach unmittelbar in die Flußläufe geht, ohne erst die Kanäle zu füllen. Ueble Erfahrungen (häufige Kellertüberschwemmungen) und die seitdem gewonnene bessere Kenntnis der Regenverhältnisse haben neuerdings Wandel herbeigeführt; es wird wohl heute allgemein mit ungleich größeren Meteorwassermengen als früher gerechnet.

Als ungenügend kann man bei uns da, wo nicht wenigstens teilweise unmittelbare Abführung in offene Gewässer stattfindet, oder vermöge großer Bodendurchlässigkeit ein bedeutender Teil der Regenmenge versickert, oder wo nicht starkes Straßengefälle das Wasser rasch aus der Nähe der Häuser entfernt, die Annahmen über Regenhöhen bezeichnen, welche von täglichen Regenhöhen ausgehen, wenn auch dabei eine geringere Regendauer als die Tageslänge angenommen wird. Dahin gehört z. B. die in Widnes (England) gemachte Annahme einer Regenhöhe von 12,5 mm in 24 Stunden; ähnliche oder etwas größere Annahmen sind auch hier und da in deutschen Städten zu Grunde gelegt worden. Doch ist dann in der Regel eine Verkürzung der Abflußdauer auf 12 oder 8 Stunden, gewissermaßen als Sicherheitskoeffizient, hinzugenommen.

Nachstehende Tabelle enthält für eine Reihe von Städten die Zusammenstellung über angenommene Regenhöhen und die der Berechnung der Kanalweiten zu Grunde gelegten Anteile derselben\*).

\*) Die für Wiesbaden zu Grunde gelegten Zahlen sind S. 214 mitgeteilt.



Nr.	Stadt	Beschaffenheit des Abflußgebietes, bezw. Gattung der Kanäle	Oberhalb Notauslaß			Unterhalb Notauslaß		
			Regen- höhe in 1 Minute mm	Aufzunehmender Anteil Sekunden-Liter für 1 ha		Regen- höhe in 1 Minute mm	Aufzunehmender Anteil Sekunden-Liter für 1 ha	
1	Ludwigshafen	—	—	—	18,5	—	—	—
2	Kaiserslautern	—	—	—	56—110	—	—	—
3	Linz	—	—	—	55	—	—	—
4	Karlsruhe	—	0,216	$\frac{1}{2}$	18	—	—	—
5	Mainz	—	0,666	$\frac{1}{2}$	55	—	—	—
6	Leipzig	—	0,200	$\frac{1}{2}$	16,7	—	—	—
7	Posen	—	0,600	$\frac{1}{2}$	50	—	—	—
8	Oeynhausen	—	0,250	$\frac{1}{3}$	14	—	—	—
9	Nürnberg	—	0,216	$\frac{1}{3}$ u. $\frac{1}{2}$	12 u. 18	—	—	—
10	Lüttich	—	0,366	$\frac{1}{3}$	20	—	—	—
11	Mülhausen i. E.	—	0,300	0,4 u. 0,6	20 u. 30	—	—	—
12	Braunschweig	Außere Stadt	0,348	$2\frac{1}{3}$	29	—	—	—
13	Paris	Sammelkanäle	0,750	$\frac{1}{3}$	42	—	—	—
14	Witten a. d. R.	30 m Breite zu jeder Seite der Straßenaxe als Ab- flußgebiet gerechnet	0,216	$\frac{1}{2}$	18	—	—	—
15	Chemnitz	—	—	—	17—50	—	—	2,0, 3,5
16	Hamburg	—	0,468	$\frac{1}{2}$	39	0,0168	0,64	1,8
17	Budapest	Sammelkanäle	0,420	0,15—0,30	11—21	—	—	—
18	Mannheim	Enge Bebauung	0,750	—	42—84	—	—	—
19	Frankfurt a. M.	—	—	—	12—30	—	—	—
		Abfangkanäle	—	—	—	—	—	2,8
20	Königsberg i. Pr.	Sammelkanal	1,008	$\frac{1}{4}$	40	—	—	—
		Neuere Anlagen	1,008	0,6	100	—	—	—
21	Stuttgart	Seitenkanäle	—	—	12—17	—	—	—
		Sammelkanal	—	—	—	0,075	0,27	3,4
22	Emden	Seitenkanäle	0,384	$\frac{1}{3}$	21,2	—	—	—
		Sammelkanal	—	—	—	—	—	2,8
23	Danzig	Enge Bebauung	0,216	$\frac{1}{2}$	18	—	—	—
		Weiträumige desgl.	0,216	$\frac{1}{3}$	12	—	—	—
24	Berlin	Enge Bebauung	0,384	$\frac{1}{3}$	21,2	—	—	—
		Weiträumige desgl.	0,384	$\frac{1}{6}$	10,6	—	—	—
25	München	Weiträumige Bebauung	0,273	$\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{2}$	9—22	—	—	—
		Sammelkanäle	0,273	—	14—16	—	—	—
26	Stettin	Ältere Anlagen	0,216	$\frac{1}{2}$	18	—	—	—
		Neuere desgl.	—	—	50	—	—	—
27	Hannover	Innere Stadt	—	—	40	—	—	—
		Außenstadt	—	—	25	—	—	—
		Schmuckanlagen	—	—	8,3—12,5	—	—	—
28	Freiburg	Enge Bebauung	—	—	40—50	—	—	—
		Weiträumige desgl.	—	—	20	—	—	—
		Neuere Anlagen	—	—	108	—	—	—
29	Dresden	Enge Bebauung	—	—	50	—	—	—
		Halbenge desgl.	—	—	40	—	—	—
		Weiträumige desgl.	—	—	30	—	—	—



Nr.	Stadt	Beschaffenheit des Abflußgebietes, bezw. Gattung der Kanäle	Oberhalb Notauslaß			Unterhalb Notauslaß		
			Regen- höhe in 1 Minute mm	Aufzunehmender Anteil Sekunden-Liter für 1 ha		Regen- höhe in 1 Minute mm	Aufzunehmender Anteil Sekunden-Liter für 1 ha	
30	Breslau	Seitenkanäle	0,036	$\frac{1}{3}$	6	—	—	—
		Sammelkanäle	0,018	$\frac{1}{3}$	3	—	—	—
		Neuere Anlagen	—	—	20—25	—	—	—
31	Wien	Ältere Seitenkanäle	0,420	$\frac{3}{8}$	25	—	—	—
		Neuere Sammelkanäle	0,330	$\frac{1}{3}$	18,3	—	—	—
		Kulturflächen	0,330	$\frac{1}{6}$	9,2	—	—	—
32	Dortmund	Obere Kanalstrecken	0,150	$\frac{2}{3}$	16,7	—	—	—
		Mittlere desgl.	0,150	$\frac{1}{2}$	12,5	—	—	—
		Untere desgl.	0,150	$\frac{1}{3}$	8,4	—	—	—
33	Düsseldorf	—	0,678	$\frac{1}{2}$	38	—	—	—
		Nur Dachwasser d. Gebäude im Ueberschwemm.-Gebiet	0,678	$\frac{1}{6}$	19	—	—	—
		Bahnhofsgebäude	0,678	$\frac{1}{12}$	9,5	—	—	—
34	Köln	Innere Stadt: Seitenkanäle	0,420	$\frac{4}{5}$	55	—	—	—
		„ „ Sammelkanäle	0,420	$\frac{3}{5}$	42	—	—	—
		Außere Stadt: Seitenkan.	0,420	$\frac{1}{2}$	33	—	—	—
		„ „ Sammelkan.	0,420	$\frac{1}{3}$	25	—	—	—

Auf S. 187 ist es als notwendig bezeichnet worden, mit minutlichen Regenhöhen von 0,40—0,75 mm zu rechnen. In den meisten Städten ist man nach der vorstehenden Zusammenstellung nicht so weit gegangen, in mehreren aber noch darüber hinaus. Bei manchen Anlagen mag aber das Minus durch reichliche hohe Annahmen der Koeffizienten  $\varphi$  und  $\psi$  wieder ausgeglichen worden sein, was aus der Zusammenstellung freilich nicht erkannt werden kann. Daß aber die Erfahrung die gewählten Sätze vielfach als zu eng gegriffen erwiesen hat, wird durch die höher gewählten Sätze u. a. zu 5, 7, 15, 16, 18, 20, 26, 28, 29, 30, 33 und 34 der vorstehenden Zusammenstellung erwiesen.

## 6. Kapitel.

### Modalitäten der Abführung der Wasser.

§ 138. Vergleicht man die im allgemeinen als angemessen zu bezeichnenden höheren Abflußmengen Zahlen des Regenwassers der vorstehenden Tabelle im Betrage von 25—50 Sek.-Liter mit den auf S. 158 mitgeteilten Abflußmengen Zahlen der häuslichen Brauchwasser, welche selbst bei Bebauungsdichten, die nicht mehr als „klein“ gelten können (etwa 300 Köpfe auf 1 ha), meist noch nicht 1 l erreichen, sondern sich zwischen 0,5 und 1 Sek.-Liter halten, sogar bei der für größte Bebauungsdichte geltenden Kopfzahl von 1000 noch nicht über 2 Sek.-Liter hinausgehen, so ersieht man, daß der Mengenanteil der häuslichen Brauchwasser an dem bei heftigen Regenfällen stattfindenden Gesamtabfluß nicht mehr als etwa 2 % beträgt; bei mittleren Regenfällen mögen 4—5 % erreicht werden. Auch dieser Mengenanteil ist noch so gering, daß ein Unterschied verbleibt, um dessentwillen die auszuführenden Kanalquerschnitte auf das Zwanzig- bis Fünfundzwanzigfache derjenigen Größe gebracht



werden müssen, welche ausreichend sein würde, wenn man sich auf die Aufnahme der häuslichen Brauchwasser beschränkte, und das Regenwasser sich selbst überließe.

Wenn es aber unvermeidlich ist, für das Regenwasser unterirdischen Abfluß zu beschaffen und man gemeinsame Ableitung mit den häuslichen Brauchwassern nicht will, so müssen zwei gesonderte Systeme von Leitungen angelegt werden, und man hat es dann mit einem Trennsystem zu thun, als Gegensatz des sogen. Schwemmsystems, bei den Franzosen tout à l'égout genannt, das zur Abführung nur ein einheitliches Leitungsnetz beider Arten der aufzunehmenden Wasser besitzt.

§ 139. Es bleibt jedoch anstatt der Ausführung des Trennsystems noch das Mittel der Schaffung von Regenüberfällen, auch Notauslässe genannt, übrig, deren Wesenheit darin besteht, daß sie den Kanälen einen gewissen größeren Teil des zeitweilig zufließenden Regenwassers entziehen, bevor dasselbe die unteren Teile eines Leitungsnetzes erreicht; es wird durch diese Ableitung (die möglichst aus den oberen Teilen der Leitung geschieht) das Kanalnetz in denjenigen Teilen, welche die größeren Wassermengen aufzunehmen haben, entlastet. Zwischen „Regenüberfällen“ und „Notauslässen“ kann, da beide Einrichtungen ihren Zweck nicht in genau gleicher Weise erfüllen, der Unterschied gemacht werden, daß erstere selbstthätig in Wirksamkeit treten, wenn der Wasserspiegel in den Kanälen eine gewisse Höhenlage erreicht, sie daher den Weg des Wassers beständig frei lassen. Bei Notauslässen ist dagegen der Weg für gewöhnlich gesperrt und wird erst im geeigneten Augenblicke — im Falle der Not — frei gegeben. Es ergibt sich daraus, daß während bei Regenüberfällen die Höhenlage der Ueberfallsschwelle eine bestimmte ist, beim Notauslaß eine Ueberfallsschwelle nicht vorhanden zu sein braucht, da es dabei nur auf die Freilegung einer Oeffnung, die sich unter dem bestimmten Höhenstande des Kanalwassers befindet, ankommt.

In den obern Teilen eines Kanalnetzes werden gewöhnlich Regenüberfälle angelegt, während Notauslässe ihre Stelle gewöhnlich am unteren Ende eines Kanalnetzes erhalten; indessen kann auch das Umgekehrte vorkommen.

§ 140. Sowohl bei Regenüberfällen als Notauslässen ist die Aufgabe der konstruktiven Durchbildung an Wichtigkeit weit geringer als die Aufgabe der richtigen Bestimmung des Zeitpunktes, von welchem ab die Thätigkeit der Einrichtung beginnt.

Zunächst kommt der Spiegelstand des Gewässers in Betracht, zu welchem das austretende Kanalwasser seinen Weg nimmt. Ist jener wechselnd, so muß berücksichtigt werden, daß mit den heftigen Regenfällen gewöhnlich eine Anschwellung stattfinden wird, die bei zu geringer Höhenlage der Ueberfallsschwelle dem zu entlastenden Kanal von rückwärts Fluß- oder Seewasser zuführen könnte. Allerdings bleibt in schwierig liegenden Fällen das Mittel übrig, durch bewegliche Teile (Schütze oder Dammbalken) die Ueberfallsschwelle vorübergehend entsprechend zu erhöhen. Die richtige Bestimmung der Höhenlage der Ueberfallsschwelle setzt also eine genaue Kenntnis des Verhaltens und besonders der höchsten Spiegelstände des Gewässers voraus, nach welchem hin die Entlastung erfolgt.

Da dem Gewässer vom Regenüberfall aus Schwebestoffe zugeführt werden, so ist auch die richtige Lage der Anschlußstelle von Wichtigkeit. Die Lage muß so gewählt werden, daß nicht größere Ablagerungen vor den Anschlußstellen entstehen können, vielmehr die Schwebestoffe immer sogleich mit dem Strome fortgeführt werden. Die Anschlüsse dürfen daher nicht an stark konvexen flachen Uferstrecken geschehen, sondern müssen möglichst in konkaven oder, höchstens, an



geraden Uferstrecken liegen. Wo dies nicht zu erreichen ist, muß die Ausmündung in den Strom hinein bis an den Stromstrich verlängert werden.

Von gleichen Rücksichten ausgehend, ist mehreren kleinen Regenüberfällen an Stelle eines großen der Vorzug zu geben.

Die überschüssig aufgenommenen Wassermengen sollen nicht unnötig lange Wege in den Kanälen machen, daher die Regenüberfälle möglichst nahe den oberen Enden eines Kanalnetzes, und weniger in den unteren Teilen anzuordnen sind. Uebrigens kommen dabei die Längen, welche die Ableitungskanäle der Regenüberfälle erreichen in wesentlichen Betracht, sowie etwaige Rücksichten auf Fischerei, Schiffsfahrtsverhältnisse, Schleusen, Wehre oder Hafenanlagen und endlich wasserrechtliche Zustände.

In der Regel wird sich die Vorbereitung der Entscheidung über die mancherlei Fragen, welche bei der Anlage von Regenüberfällen auftreten und die endgültige Planfeststellung derselben als der schwierigste Punkt eines Kanalisationsplanes herausstellen, an welchem derselbe unter Umständen geradezu scheitern kann. Denn von der Möglichkeit oder Unmöglichkeit Regenüberfälle anzulegen, bezw. dieselben an Stellen anlegen zu können, wo ihre Ausführung nicht unerschwingliche Kosten mit sich bringt, hängt in manchen Fällen die finanzielle Durchführbarkeit eines Kanalisationsprojekts überhaupt ab. Wo eine Unmöglichkeit dieser Art eintritt, bleibt nur übrig, entweder auf die Anlage ganz zu verzichten, oder sich auf die Ausführung eines Trennsystems zu beschränken. Man erkennt daraus, daß die Nähe eines offenen Gewässers und Führung der Hauptkanäle so, daß dieselben in einer solchen Nähe des Gewässers verlaufen, daß die Ableitungen der Regenüberfälle nicht zu bedeutende Längen erreichen — gewöhnlich die entscheidenden Vorfragen: das Ob und Wie eines Kanalisationsprojekts sein werden.

§ 141. Um die Schädigungen eines Flußlaufs durch Zuführung von Schwebestoffen und Verunreinigungen anderer Art möglichst zu beschränken, soll das Verdünnungsverhältnis der Wasser, welche der Regenüberfall ableitet, möglichst groß sein. Erfüllt der Trockenabfluß (§ 128), und zwar das Maximum desselben, den Querschnittsteil  $f$  eines Kanals, und vermehrt sich bei heftigem Regenfall der Teil  $f$  auf  $F$ , wo  $F = n f$  und  $\frac{F}{f} = n$ , so stellt  $n$  das Verdünnungsverhältnis dar und muß der Kanalquerschnitt so gestaltet werden, daß, verglichen mit dem Augenblick, wo der Regenüberfall in Wirksamkeit tritt, die Höhenlage der Ueberfallsschwelle  $f = \frac{1}{n} F$  ist.

In der Regel wird indessen das Verdünnungsverhältnis durch eine andere Zahl angegeben. Wenn nämlich  $R$  die bei größtem Regenfall sekundlich zufließende Regenwassermenge und  $B$  die gleichfalls sekundliche Menge von häuslichem Brauchwasser ist, so wird auch das Verhältnis  $\frac{R}{B}$  als Verdünnungsverhältnis bezeichnet. Es ersieht sich, daß dasselbe nicht mit dem Werte  $F = n f$  übereinstimmt, sondern geringer ist, dass wenn beide Ausdrücke gleichwertig sein sollen, anstatt  $\frac{R}{B}$  vielmehr  $\frac{R+B}{B}$  gesetzt werden muß.

Es hängt von örtlichen Besonderheiten ab, ob für alle Regenüberfälle einer Anlage das Verdünnungsverhältnis übereinstimmt oder Verschiedenheiten bestehen; jedenfalls wird möglichste Uebereinstimmung anzustreben sein. Für eine



Anzahl von deutschen Städten wird das Verdünnungsverhältnis  $\frac{R}{B}$  wie folgt angegeben:

Düsseldorf . . . . .	2,1	Wiesbaden, Chemnitz . . . . .	5,0
Köln . . . . .	2,2—3,5	Mannheim . . . . .	5—7
Hamburg . . . . .	3,4	Berlin . . . . .	6,4 (?)
Freiburg i. B. . . . .	3,5	Emden . . . . .	7
Frankfurt a. M. . . . .	4,0	Stettin . . . . .	9,5
Königsberg i. Pr. . . . .	4,5		

Zu diesen Zahlen ist indessen zu bemerken, daß sie nur für den bestimmten Zeitpunkt des Beginns der Thätigkeit des Regenüberfalls, und gewöhnlich auch nur für die erste Zeit nach der Inbetriebsetzung der Kanalisationsanlage gelten. Wenn trotz der Ableitung einer gewissen Regenwassermenge der Wasserspiegel im Kanal über die Höhe der Ueberfallsschwelle hinaus steigt, vergrößert sich das Verhältnis  $\frac{F}{f}$ .

Und wenn umgekehrt im Laufe der Zeit entweder der Wasserverbrauch pro Kopf oder die Bevölkerungszahl des Gebiets zunimmt, so wächst die häusliche Brauchwassermenge und das Verhältnis  $\frac{F}{f}$  wird geringer. Wenn man also ein gleich-

bleibendes  $\frac{F}{f}$  verlangt, so muß die Höhe der Ueberfallsschwelle veränderlich eingerichtet, d. h. im Laufe der Zeit erhöht werden. — Auch durch ein etwaiges Wachsen des Wasserspiegels in dem Fluß, an den der Regenüberfall anschließt, kann auf die Größe  $\frac{F}{f}$  ein Einfluß geübt werden; es ist daher wichtig, die Ueberfallsschwelle so hoch zu legen, daß sie dem Rückstau aus dem Flusse sicher entzogen ist.

Der Wert  $\frac{F}{f}$  steht in einer gewissen Abhängigkeit auch von der Größe des Gewässers, an den der Regenüberfall anschließt. Je kleiner der Rezipient, um so größer muß  $\frac{F}{f}$  sein; je größer derselbe, um so kleiner darf  $\frac{F}{f}$  gehalten werden. Denselben Rücksichten, die hier zu Grunde liegen, entspricht die Forderung, daß bei innerhalb des Stadtgebiets liegenden Regenüberfällen  $\frac{F}{f}$  größer sein soll, als bei den weiter unten, außerhalb des Stadtgebiets vorkommenden.

Wenn, wie es in der Regel geschieht, der Kanalquerschnitt unterhalb des Regenüberfalles in derselben Größe weitergeführt wird, die er oberhalb desselben besaß, umgekehrt vielleicht noch eine Vergrößerung stattfindet, ungeachtet der Regenüberfall einen mehr oder weniger beträchtlichen Teil der Kanalwassermenge abgeleitet hat, so wird dadurch der Raum für eine vergrößerte Aufnahme von Regenwasser gewonnen, und folglich eine Vergrößerung des Verhältnisses  $\frac{F}{f}$  erzielt. Je weiter abwärts man geht, um so stärker wird unter der obigen Voraussetzung die Verdünnung des Kanalwassers, und in entsprechendem Verhältnis darf die Höhe der Ueberfallsschwelle an den abwärts folgenden Regenüberfällen gesenkt werden. Unterbleibt die Senkung, so wird nach unten hin das Kanalwasser immer stärker verdünnt; es hat keine Schwierigkeit, in einem gegebenen Falle diese Aenderung auch rechnerisch zu verfolgen. Ist am unteren Ende des Netzes der Wert  $\frac{R}{B}$  um  $m$  größer als am



oberen Ende, so darf bei dem untersten Regenüberfall die Höhenlage der Ueberfallschwelle um so viel tiefer als bei den oberen Regenüberfällen gelegt werden, daß sie der Bedingung  $\frac{F}{f} = n - m$  genügt. Günstig für den Flußlauf wird es freilich immer sein, von dieser Erleichterung keinen Gebrauch zu machen, und der Verzicht darauf empfiehlt sich um so mehr, als bei der vergrößerten Wassermenge, die der Kanal im unteren Lauf führt, hier die absolute Menge der beigemischten Schmutzstoffe immer noch größer ist (oder doch größer sein kann) als in dem Wasser in den oberen Teilen des Kanalnetzes. Häufig wird jedoch die Einrichtung so getroffen, daß man den untersten, bei der Pumpstation liegenden Regenüberfall, der hier immer als Notauslaß konstruiert wird, nach dem Verhältnis  $\frac{F}{f} = m$  gestaltet, worin  $m < n$  ist.

Handelt es sich um Kanäle mit nicht reinen Wandungen, so ist der Vorgang bei der Wirksamkeit der Regenüberfälle folgender: Durch die mit der stärkeren Füllung des Kanalprofils eintretende Geschwindigkeitsvermehrung werden die an der Kanalwand haftenden Schmutzstoffe abgelöst und dem Wasser zugemischt; auch Ablagerungen schwererer Sinkstoffe am Boden werden mitgenommen. Das Kanalwasser im ersten Teil des vermehrten Abflusses ist dann stärker verschmutzt, als die Rechnung voraussetzt, mithin ein Verdünnungsverhältnis  $n$ , mit welchem gerechnet wurde, in dem Augenblick noch nicht vorhanden, wo der Wasserspiegel die Höhenlage der Regenüberfallschwelle erreicht. Daher soll bei Kanälen, die sich nicht selbstthätig dauernd rein halten, oder nicht durch Zuhilfenahme künstlicher Spülung beständig rein erhalten werden, der Wert  $n$  nicht klein, vielmehr hoch, jedenfalls höher gegriffen werden, als bei gut gepflegten reinwandigen Kanälen.

Die im Trockenabfluß des Kanalwassers vorhandenen spezifisch leichteren Schwebestoffe werden durch starken Regenwasserzufluß zur Oberfläche gehoben, und hier gesellen sich demselben die leichteren Schmutzstoffe (Düngerreste und Pflanzenrückstände u. s. w.) hinzu, die das Regenwasser im Anfang des Abflusses von Straßen, Höfen und Dächern mit sich führt. Im Anfang wird daher fast jeder Regenüberfall dem Flußlauf stark verunreinigtes Wasser zuführen, eine Thatsache, die ebenfalls dazu nötigt, bei der Annahme des Wertes  $n$  bis an die äußerste Grenze der Möglichkeit zu gehen. Im weiteren Verlauf eines Regensfalls tritt eine wesentliche Aenderung des Zustandes ein: die vorhandenen älteren Schmutzmassen sind fortgeführt, und gleichzeitig hat das Regenwasser an Reinheit gewonnen, weil nun Straßen, Höfe, Dächer, die Wände der Einlässe u. s. w. gewissermaßen gewaschen sind. In einem späteren Stadium des Abflusses erreicht daher das von den Regenüberfällen abgeführte Wasser den Verdünnungszustand wirklich, auf welchen die ganze Einrichtung basiert ist; nun erst findet das vorausgesetzte Verdünnungsverhältnis  $n$  wirklich statt und später ein noch günstigeres.

Die vorstehend dargelegten Verhältnisse erklären die Thatsache genügend, daß mitunter von Regenüberfällen schwere Schädigungen der öffentlichen Wasserläufe ausgehen. Es ist fast überflüssig, hinzuzufügen, daß dies kein, mit dem Vorkommen von Regenüberfällen unzertrennlich verbundener Mißstand ist. In vielen Fällen wurden Schädigungen der Flußläufe thatsächlich vermieden; in anderen hätten sie vermieden werden können. Sorgfältig gewählte Lage, hinreichende Anzahl, passende Bestimmung der Höhenlage der Ueberfallschwelle und der Breite derselben im Verhältnis zum Flußlauf, endlich Sorge für gute Straßenreinigung und gute Reinhaltung der Kanäle wären die Mittel dazu gewesen; hie und da ist das eine oder andere davon vernachlässigt worden. Daraus erklärt sich das häufige allgemeine Verdammungsurteil, welches über die Regenüberfälle und insofern, als dieselben fast



unentbehrliche Bestandteile der Schwemmkanalisation sind, über das ganze Schwemmsystem ausgesprochen wird. Teilweise erklärt sich aus derselben Ursache auch das Lob, das man gleichzeitig dem Trennsystem zuwendet.

Ohne die etwa sich einstellenden Bedenklichkeiten der Regenüberfälle zu unterschätzen, wird ausgesprochen werden müssen, daß weder das Trenn- noch das Schwemmsystem ausschließliche Geltung beanspruchen kann, beide ihre Berechtigung haben, sich ergänzen, und jedes am rechten Orte angewendet, durchaus am Platze ist. Regenüberfälle sind auch niemals eine lobenswerte, sondern nur eine unentbehrliche Zugabe der Schwemmkanalisation, ein notwendiges Uebel, das man zuweilen nicht vermeiden kann, von zwei Uebeln, die sich darbieten: Verzicht auf Schaffung einer gesundheitlichen Einrichtung ersten Ranges, Verzicht auf volle Befriedigung von ästhetischen und Verkehrsansprüchen, oder Schaffung einer Schwemmkanalisation, an welcher ein Bestandteil weniger Vollkommenes leistet, als man erwarten möchte, jedenfalls das kleinere.

§ 142. Der auch schon S. 23 erwähnte Streit um die Frage: ob Trennsystem, ob Schwemmsystem, ist in früherer Zeit gewöhnlich viel zu sehr vom allgemeinen Standpunkte aus, der den individuellen Verhältnissen des besonderen Falles nicht gerecht wurde, behandelt worden. Neuerdings hat sich die Ueberzeugung fast zur allgemeinen Anerkennung durchgerungen, daß jeder Fall besonders behandelt sein will. Wie sehr dies geboten ist, wie sehr man sich vor Verallgemeinerungen gewisser Sätze zu hüten hat, ergeben die nachstehenden Abwägungen.

1. Das Schwemmsystem kann, sobald es sich um Bezirke von nur einiger Größe handelt, Regenüberfälle nicht entbehren. Wo ihre Anlage unmöglich ist oder übermäßig hohe Kosten erfordert, und man auf eine Kanalisation nicht ganz verzichten will, bleibt nur das Trennsystem übrig.

2. Für hügelige Bezirke, aus denen das Straßenwasser auch ohne unterirdische Ableitung rasch verschwindet, ebenso für flach liegende Orte bzw. Stadtbezirke, welche lang hingestreckt am Ufer eines nicht zu kleinen Gewässers liegen, empfiehlt sich das Trennsystem wegen seiner geringeren Herstellungskosten.

3. In Ländern mit vielen und großen Flußläufen, in nicht zu flach liegenden Orten unmittelbar an der Meeresküste, in Städten an Berghängen, in Oertlichkeiten, an denen zu Zeiten außergewöhnlich hohe Regenfälle stattfinden, für welche man ausreichende Vorflutmittel auch nicht in Regenüberfällen zu schaffen vermag, wird das Trennsystem das empfehlenswertere, bzw. allein mögliche System sein.

4. Für Fabrikstädte, in welchen sorgsame Ausnutzung der in einem Gewässer gebotenen Betriebskraft stattfindet, mag die Zuführung des Regenwassers zu dem Gewässer von Bedeutung sein. Wenn nicht die sonstigen Verhältnisse der Wahl eines Trennsystems zu sehr widersprechen, mag man dasselbe mit Vorteil ausführen.

5. Gebiete mit ländlich gearteter oder weiträumiger städtischer Bebauung, in welchen dieser Zustand für die Dauer gesichert ist, werden mit Trennsystem gut ausreichen und dabei an Kosten erheblich sparen.

6. Wo die Reinigung der Abwässer mit besonderen Schwierigkeiten oder Kosten verbunden ist, das Straßenwasser aber sich selbst überlassen, oder auf billige Weise beseitigt werden kann, erscheint das Trennsystem besonders vorteilhaft.

7. In einer Stadt mit dichter Bevölkerung und großem Straßenverkehr ist bei flacher Lage und größerer Ausdehnung des Stadtgebiets ein Trennsystem so gut wie ausgeschlossen, wegen der auf den Verkehr zu nehmenden Rücksichten und wegen der Vergrößerung der Schwierigkeiten, welche die Reinhaltung der Straßen und die Fortschaffung der häuslichen Abfallstoffe erfordert. In langen Straßen mit schwachen Gefällen erreichen die für den Regenwasserabfluß anzulegenden Gossen



(Rinnsteine) schließlich solche Weiten und Tiefen, daß dem Verkehr unerträgliche Beschränkungen und Unsicherheiten auferlegt werden, und im Winter können bei Schneeablagerung und Eisbildung auf den Straßen und in den Gassen die ärgsten Zustände eintreten. — Es ist ferner Thatsache, daß durch die für das Straßen- und Hofwasser dienenden Einlässe beim Bestehen des Schwemmsystems größere Mengen von Abfällen mit fortgeschafft werden, deren Fortschaffung beim Bestehen eines Trennsystems erhebliche Kosten und Verkehrsbelästigungen mit sich bringt.

8. Wo auf rasche und vollständige Entfernung aller Abfallstoffe — ausgenommen die trockenen —, auf besondere Reinheit der Straßen und Höfe Wert gelegt wird, wo auch die sogen. ästhetischen Ansprüche an den Modus der Fortschaffung eine Rolle spielen, erscheint nur das Schwemmsystem als ausreichend.

9. In beckenförmigen Gebieten oder nur flacher Lage ist bei einigem Straßenverkehr das Schwemmsystem dann angezeigt, wenn nicht etwa besonders hohe Lage des Grundwasserspiegels die Schaffung ausreichender Gefälle verhindert, oder die Baukosten der — weiten — Kanäle in ungebührlichem Maße erhöht; in letzterem Falle ist das Trennsystem angezeigt.

10. In Städten oder Bezirken mit raschem Wachstum und zunehmender Dichte der Bebauung soll man, auch wenn im Anfang das Trennsystem im Vorzug wäre, von demselben absehen und von vornherein das Schwemmsystem einführen, weil sich früher oder später die Notwendigkeit zu demselben überzugehen einstellen wird und der Wechsel allerhand Schwierigkeiten und vermehrte Kosten mit sich bringt.

11. Wenn die Geländeform oder sonstige Verhältnisse dazu nötigen, für das Straßenwasser unterirdische Ableitung einzurichten, so wird die Ausführung des Schwemmsystems meist im Vorzuge sein, denn die Kosten der beiden Leitungssysteme werden in der Regel höher sein, als die Kosten der einfachen Schwemmleitung. Und es kommt hinzu, daß die Unterbringung der doppelten Leitung im Straßengrunde Schwierigkeiten mit sich bringen kann, wenn bereits anderweite Leitungen (für Reinwasser, Gas, Elektrizität) vorhanden sind. Auch führt das Vorhandensein von doppelten Leitungen leicht zu absichtlichen oder unabsichtlichen Verwechslungen, die den Zweck der doppelten Leitung beeinträchtigen. Immer führt es zu vermehrten Kosten für die Anlieger, welche nunmehr doppelte Anschlußleitungen herzustellen haben. Dies ist ein Punkt, welcher oft absichtlich außer acht gelassen wird, da es für den Stadtsäckel in der Regel erwünscht erscheint, die Kosten der Kanalisationsanlage in möglichst großem Umfange direkt auf die Schultern der Stadtbewohner abzubürden. — Uebrigens kann bei den hier berührten Verhältnissen auch der Umstand eine Rolle spielen, ob bereits Kanäle aus älterer Zeit vorhanden sind, welche ganz oder zum Teil ohne erhebliche Umänderungskosten für die neue Anlage benutzbar sind.

12. Das Trennsystem läßt gewöhnlich auch die Aufgabe der Fortschaffung der Dach- und Hofwasser oder Wasser, überhaupt hinteren Teil der Grundstücke ungelöst. Liegen letztere Flächen tiefer als die Straße, so können durch die nun erforderliche anderweite Beseitigung der Hof- und Dachwasser den Schultern der Eigentümer bedeutende Kosten auferlegt bzw. gesundheitsschädliche Zustände gewissermaßen verewigt werden. Es bleibt allerdings das Aushilfsmittel, eine Modifikation des Trennsystems insoweit eintreten zu lassen, daß die genannten Wasser mit aufgenommen werden, und es handelt sich dann um ein Zwischensystem, wie es an vielen Orten, bzw. in gewissen Ortsteilen ausgeführt ist, dem sowohl gegenüber dem Schwemmsystem als Trennsystem gewisse Vorzüge eigen sind.

13. Gegen das Schwemmsystem wird oft der Vorwurf erhoben, daß durch Haften von Schmutz an den Kanalwänden, welche Erscheinung sich infolge des großen Wechsels in den Abflüßmengen allerdings leicht zeigt, schwere gesund-



heitliche Nachteile entstanden oder doch entstehen könnten. Dabei wird übersehen (oder auch verschwiegen), daß ein derartiger Zustand sich durch rationelle Ausgestaltung der Kanalprofile und durch Sorgsamkeit im Betriebe des Kanalnetzes (systematisch durchgeführte Reinigung und Spülung) unschwer vermeiden läßt. Es wird ferner übersehen, daß beim Trennsystem, wenn dasselbe ohne Zugabe einer Regenwasserableitung ausgeführt wird, sich auf den Straßen, Höfen u. s. w. viel größere Schmutzmengen ansammeln können als in den Kanälen und daß diese Schmutzmengen bei ihrer großen Ausbreitung und ihrer der Luft und Sonne ausgesetzten Lage viel größere Schädlichkeiten mit sich bringen, als die halb verschlossen liegenden geringen Mengen an den Kanalwänden. Wenn — gesonderte — Regenwasserableitungen vorhanden sind, werden Straßen- und Hofflächen reiner bleiben; es wird aber alsdann gerade dasjenige beim Trennsystem eintreten, was man dem Schwemmsystem oft zum schweren Vorwurf machen hört: die Verunreinigung der Gewässer durch die Regenüberfälle. Und letztere Verunreinigung wird wohl in der Regel hinter derjenigen zurückbleiben, welche bei der gesonderten Ableitung des Trennsystems stattfindet (vergl. § 139, 140).

14. Ein unbestreitbarer Vorzug des Trennsystems ist es, daß die Menge der Abwasser, die dasselbe abzuführen hat, genauer bekannt und mit relativ geringen Abweichungen auch gleichbleibend während der Tagesstunden ist. Es können daher sowohl die Querschnitte der Leitungen, als die etwa erforderlichen Hebeeinrichtungen des Wassers (Pumpen), als die Reinigungsanlagen dem Bedarf möglichst eng angepaßt werden, wodurch Bau und Betrieb sich viel ökonomischer als beim Schwemmsystem herausstellen.

15. Ein ähnlich großer Vorzug des Trennsystems besteht darin, daß die Wassermengen gering sind, man daher mit engen Leitungen, kleinen Hebewerken und mit Reinigungsanlagen beschränkter Größe ausreicht. Dieser Vorzug gewinnt da besondere Bedeutung, wo die Bodenverhältnisse Schwierigkeiten für den Bau bieten, und desgleichen auch da, wo die Beschaffung der Reinigungsanlagen auf Schwierigkeiten stößt.

16. Ein weiterer Vorzug des Trennsystems liegt in der gleichbleibenden Beschaffenheit der Abwasser, die es ermöglicht, die Reinigungsanlagen (ob diese nun in Rieselfeldern, Filtern oder Klärwerken bestehen) der Beschaffenheit des Wassers eng anzupassen, mithin rationeller auszuführen und zu betreiben, als es beim Schwemmsystem, das mit Wasser von stark wechselnder Menge und Beschaffenheit zu thun hat, möglich ist.

17. Die genauere Begrenzung der Wassermengen ermöglicht es, sich einigermaßen unabhängig vom Terraingefälle zu machen. Denn, wenn mechanische Hebung der Wasser zu Hilfe genommen wird, kann man das Entwässerungsgebiet in Teile zerlegen, für jeden Teil den Tiefpunkt willkürlich festsetzen und dadurch für die Zuleitungen von den Straßen und Häusern die passenden Gefälle schaffen. Indem man die Bezirke hinreichend klein bestimmt, ist man im stande, auch Einsenkungen dieser Leitungen ins Grundwasser zu vermeiden. Es kommen Stadtlagen vor, in welchen eine solche Einteilung unvermeidlich, in welchen auch der Stand des Grundwassers so hoch ist, daß einzig die Wahl eines Trennsystems übrig bleibt.

18. Die mehr oder weniger willkürliche Wahl der Tiefenlage und Beständigkeit des Wasserabflusses bringen die Möglichkeit mit sich, Kellerüberschwemmungen der angeschlossenen Gebäude vorzubeugen, ohne dazu künstlicher und oft unzuverlässiger Einrichtungen zu bedürfen.

19. Vermöge der möglichen genauen Anpassung der Gefälle an Wassermenge und Wasserbeschaffenheit können die Wandungen der Kanäle des Trennsystems sich im allgemeinen besser rein halten als die des Schwemmsystems. Man bedarf also



zahlreicher Revisionseinrichtungen, wie sie bei letzterem unentbehrlich sind, nicht; entweder fallen dieselben ganz fort oder sind nur in beschränktem Umfange erforderlich. Künstliche Spülungen sind bei den kleineren Querschnitten, der geringeren Verunreinigung der Kanäle und den passenderen Gefällen mit geringeren Wassermengen ausführbar als beim Schwemmsystem.

20. Die örtlichen Verhältnisse werden es öfter gestatten, den etwa erforderlichen Kanal für die Regenwasserableitung mit dem Kanal für die Brauchwasserableitung zu einem einheitlichen Baukörper zusammenzufassen; ersterer kann sowohl über, als neben dem letzteren liegen. Diese Ausführungsweise ergibt ansehnliche Kostenersparnisse und gewährt daneben den Vorteil, den Brauchwasserkanal vom Regenwasserkanal aus gelegentlich spülen zu können.

21. Zwei Vorzügen des Trennsystems, welche gewöhnlich angeführt werden, kann eine besondere Bedeutung nicht zugestanden werden. Es soll: a) der Anschluß der Hausleitungen an die engen Leitungen des Trennsystems weniger kostspielig sein, als der an die größeren Leitungen des Schwemmsystems. Dies ist keineswegs durchgehend der Fall, und namentlich dann gar nicht, wenn schon beim Bau der Leitungen die Anschlußvorrichtungen gebührend berücksichtigt werden. Außerdem wird bei der Geltendmachung jenes Vorzugs der Umstand übersehen, daß auch beim Schwemmsystem die Mehrzahl der Grundstücksanschlüsse an den oberen Enden der Leitung liegt, welche der Regel nach ebenfalls aus — engen — Rohrkanälen bestehen. Es soll: b) beim Trennsystem die Gefahr des Eindringens von Kanalgasen in die angeschlossenen Gebäude bedeutend verringert, nach den Behauptungen einiger sogar ganz ausgeschlossen sein, weil bei der beständigen Füllung der Kanäle für Gasbildungen überhaupt kein Raum vorhanden sei. Hierzu ist auf die Darlegungen S. 141 ff. über die wirkliche Bedeutung der Kanalgase und über die mögliche Vermeidung von Schädlichkeiten in den angeschlossenen Häusern hinzuweisen und ergänzend hinzuzufügen, daß Gasbildungen auch in den engen Rohren nicht verhindert sind, einmal weil dies unter den Verhältnissen, welche in Rohrkanälen bestehen, überhaupt unmöglich ist, und sodann weil auch die engen Rohre des Trennsystems nicht immerwährend, sondern nur zu gewissen Stunden ganz gefüllt sind, zu andern nur zu einem mehr oder weniger großen Teile ihres Querschnitts (betr. Angaben s. S. 201). Was alsdann die Möglichkeit betrifft, daß Gase aus dem Straßenrohr auf Unrechtwegen in die Häuser eindringen, so wird man nicht zweifelhaft sein können, daß es besser ist, dieser Gefahr durch sachgemäße Einrichtungen — rationelle Vorkehrungen zum Luftwechsel — entgegenzutreten, als etwa mit unbegründbarer Hartnäckigkeit sich jener Möglichkeit zu verschließen. Diese ist um so weniger am Platze, als die Gase, welche in den nicht gelüfteten Kanälen des Trennsystems erzeugt werden, stärkere Konzentrationen aufweisen werden, als die in gut gelüfteten Kanälen des Schwemmsystems sich bildenden.

Im übrigen leisten die verschiedenen Ausführungsweisen des Trennsystems — auf welche erst im Teil II einzugehen sein wird — sowohl was Gasbildung als was Gasabhaltung betrifft, Verschiedenes; das sogen. Shone-System ist in dieser Hinsicht das vollkommenste.

§ 141. Wie man aus den vorstehenden Darlegungen entnimmt, müssen Trennsystem und Schwemmsystem sich gegenseitig ergänzen und können nicht nur in verschiedenen Orten, sondern sogar in einem und demselben Orte zweckmäßig nebeneinander bestehen, wie es dafür in der That auch in Deutschland eine Reihe von Beispielen giebt. Ebenso sind Beispiele eines gemischten Systems — Aufnahme bestimmter Mengen von Regenwasser — bereits in einiger Zahl vorhanden und



werden in Zukunft jedenfalls noch häufiger ausgeführt werden, als es bisher schon der Fall gewesen ist.

Im übrigen handelt es sich keineswegs immer um die Frage, ob nur das eine oder andere System, oder keines von beiden möglich, bzw. auszuführen sei? So eng wird sich das vielgestaltige Problem der Städtereinigung längst nicht immer umgrenzen lassen, besonders nicht in kleineren und Mittelstädten. Eine von den Hauptfragen wird nämlich immer die sein: wie es mit dem Verbleib der menschlichen Absonderungen zu halten sei? Ist hierfür durch eine gut organisierte Abfuereinrichtung (Gruben-, Tonnen-, Liernur-System) gesorgt, so bleibt nur noch für die häuslichen Brauch- und die Regenwasser vorzukehren: Ob man diese gemeinsam oder getrennt beseitigen soll, kann sowohl eine Frage der Oertlichkeit als der Zeit sein. Es kann sich nach Lage des besonderen Falles empfehlen, zunächst nur für Ableitung der häuslichen Brauchwasser, oder auch die Ableitung der Regenwasser allein, und später erst für beide, oder von vorn herein für den Verbleib beider Wassergattungen zu sorgen. Es kann sich dabei um stückweises Vorgehen in einzelnen Stadtbezirken, es kann sich auch um Inangriffnahme des ganzen Stadtgebiets auf einmal handeln. Ersichtlich ist Raum für eine ganze Reihe von Möglichkeiten, so daß die Behandlung der Frage, ob Trenn-, ob Schwemmsystem, wenn dieselbe ohne Rücksicht auf den besonderen Fall in Angriff genommen wird, leicht in die Gefahr gerät, einen ins „Komische“ fallenden Anstrich anzunehmen.

Es sei zur Bekräftigung der oben gemachten Auslassungen auf die zahlreich vorkommenden Beispiele von Städten hingewiesen, welche, neben einem Abfuhrsystem für die Klosettstoffe, mit Leitungen, sei es für Schmutz-, sei es für Regenwasser, sei es für beide gemeinsam, ausgestattet sind. Darunter seien nur etwa Bremen, Leipzig, Görlitz, Essen a. d. R., Mailand genannt, Dutzende anderer kleinerer Städte unerwähnt zu lassen.