



Die Städtereinigung

Büsing, F. W.

Stuttgart, 1897

4. Kap. Verdunstung und Versickerung; Festhalten von Meteorwasser an der Vegetation
-

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

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 Abflußgefäßes 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 Regenfalls 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° bis + 40°.

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 %
— 20°	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
± 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 %
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 Wassersäulen-Höhe anzugeben, würde man das in Gramm angegebene Gewicht der Feuchtigkeit mit 13,6 zu multiplizieren haben.

Beispiel. Einem bei 20° 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° 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**) gibt 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 Stauweiichern 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 Ge-stein 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

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	Oberflächen- beschaffenheit	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
Lehm Boden	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 ge- lockert	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 Berasung 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 handelt.

§ 124. Während in bestimmten Fällen über die Größe des Anteils, wovon der eine die Verdunstung, der andre die Versickerung darstellt, wenig Genaues 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 einen 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 Jahresniederschlags Höhe (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 anderseits 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 = 98,8 „ „ „
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 welch 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 anhielt, 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.

Schließlich mag der Thatsache 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, bzw. die Schwankungen der Höhenlage des Grundwassers möglichst einzuzgrenzen. 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 Öffnungen, hat freilich zur Voraussetzung, daß ein — nicht unbeträchtlicher — Überdruck besteht. Ein solcher Überdruck kann von beiden Seiten her vorhanden sein: vom Kanal aus bei Hochwasserabführung, wobei sogar das Wasser in den Kanälen vermöge Aufstaus 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 vereinzelten Fällen hat man künstlich Einrichtungen geschaffen, um Straßengewässer 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 dürfen 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 thattsächlicher 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 Rheinthal 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 Rheinthal 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 Einnivelierung 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 R 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 hängt, und von hier entweder durch unmittelbares Aufsaugen oder Verdunsten wieder verschwindet. Dieser „Verlustanteil“ kommt bei mit Alleeböumen besetzten Straßen wie auch bei Schmuckanlagen, Rasenplätzen u. s. w. in Betracht. Man kann auf den Betrag desselben einen ungefährten 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 Wegeslänge 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 beigelebt 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 Eingangsstellen 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