

DIE SCHWANKUNGEN  
des  
GRUNDWASSERS

mit besonderer

Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse

von

D<sup>R.</sup> ISIDOR SOYKA

Professor der Hygiene an der deutschen Universität in Prag.

---

MIT 18 ABBILDUNGEN IM TEXTE.

---

GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. D<sup>R.</sup> ALBRECHT PENCK IN WIEN.

---

BAND II. — HEFT 3.

---

WIEN  
EDUARD HÖLZEL  
1888.

# INHALT.

|  | Seite:       |
|--|--------------|
| Einleitung . . . . .   | 1            |
| <b>I. Capitel: Entstehung und Ausbreitung des Grundwassers . . . . .</b>   | <b>2—13</b>  |
| 1. Entstehung und Ausbreitung des Grundwassers. — Horizontale Ausbreitung des Grundwassers. — Bildung einheitlicher Becken von großer geographischer Ausdehnung. — Bayerische Hochebene. — Münchener Becken, Ebene bei Wiener-Neustadt, Straßburger Becken, Norddeutsche Ebene, Römische Campagna. — 2. Beziehungen des Grundwassers zu seiner Unterlage und zum Oberflächen-Niveau des Bodens. — Incongruenz zwischen Boden-Oberfläche und -Unterlage. — Locale Unebenheiten der Unterlage. — München, Brünn, Wien. — Brunnenerscheinungen. — Zutagetreten des Grundwassers als Quelle. — Wechselnder Abstand des Grundwassers von der Oberfläche. — Moosbildung. — Unterirdische Seen, Quellgänge.   |              |
| <b>II. Capitel: Die Beziehungen des Niederschlages und der atmosphärischen Feuchtigkeit zu den Grundwasserschwankungen. . . . .</b>  | <b>14—52</b> |
| 1. Niederschlag als Ursache der Grundwasseransammlung. — Bilanz zwischen Niederschlag und Abfluss. — Verdunstung. — Verhältnis zwischen Niederschlag und atmosphärischer Verdunstung. — Verdunstung aus dem Boden. — Abnahme mit der Tiefe. — Eindringen des Niederschlages in den Boden. — Niederschlags-Intervalle von Prag und München. — Ungleichzeitigkeit der Niederschläge auf großen Gebieten; Verzögerung der Schwankungen mit der Tiefe. — Mangelnde Übereinstimmung zwischen Niederschlag, Grundwasser und Quellentheorie. — Lysimeterbeobachtungen. — 2. Grundwasserstand als Ausdruck der Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag und Verdunstung. — Berechnung der wirklichen Verdunstung. — Sättigungsdeficit, ein besserer Maßstab als die relative Feuchtigkeit. — Jährliche Vertheilung des Niederschlages in Mitteleuropa. — Jährlicher Gang des Sättigungsdeficit in Deutschland. — Zwei Typen der Jahresperiode der Grundwasserschwankungen. — Jahresperiode der Grundwasserschwankungen in München. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Grundwasser in Berlin. — Jahresperiode. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich zwischen München und Berlin. — Grundwasser in Salzburg. — Jahresperiode. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich mit München. — Jahresperiode des Grundwassers in Innsbruck, Klagenfurt, Trient, Graz. — Grundwasser in Frankfurt a. M., Jahresperiode. — Grundwasser in Brünn. Jahresperiode. — Grundwasser in Bremen, Jahresperiode. — Vergleich zwischen Berlin, Frankfurt a. M., Bremen, Brünn, mit Rücksicht auf Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich der Jahresperiode der Grundwasserstände und Niederschläge von Prag, Krakau, Josephstadt, Baden, Agram, Debreczin, Szegedin, Czernowitz, Resumé. |              |
| <b>III. Capitel: Die Beziehungen des Grundwassers zu den oberirdischen Wasserläufen . . . . .</b>  | <b>53—71</b> |
| 1. Beziehungen des Grundwassers zu den oberirdischen Gerinnen: Würm, Leitha, Hachinger Bach. Sicilien, paradoxe Erscheinungen an Brunnen. Quantitative Verhältnisse. — Beziehungen des Grundwassers zu Flüssen: a) Speisung der Flüsse durch Grundwasser. Dreisam in Breisgau. Ausnahmefälle (Bremen). Das Grundwasser strömt den Flüssen zu. München, Zürich, Paris, Wien, Niederung zwischen Donau und Theiß. Berlin. — b) Einsickerung des Flusswassers in die Alluvialschichten. Donau bei Wien, Loire, Donau und Ach. — c) Grundwasserschwankungen unabhängig von Flussschwankungen; Flussbett im impermeablen Boden. München, Isarvertiefung ohne Grundwassersenkung. Jahresperiode von Grundwasser und Isar. Salzburg, Salzachvertiefung ohne Grundwassersenkung. Jahresperiode von Grundwasser und Salzach. — d) Grundwasserschwankungen beeinflusst vom Flusswasserstande. Flussbett im permeablen Boden. Seitliche Infiltration, Stauung bei Hochwasser des Flusses, beschleunigter Abfluss bei Niedrigwasser. Abnahme des Einflusses mit der Entfernng (Straßburg). 1) Einfluss des Flusses auf das Grundwasser bei gleichartigen meteorologischen Bedingungen. Berlin, Bremen, Frankfurt a. M. 2) Einfluss auf das Grundwasser bei ungleichartigen meteorologischen Bedingungen (Schnee- und Gletscherschmelze, Gebirgsklima), die nur die Flüsse und nicht das Grundwasser beeinflussen können. Wien.   |              |
| <b>IV. Capitel: Übereinstimmung der hydrometeorischen Vorgänge nach Ort und Zeit . . . . .</b>   | <b>72—84</b> |
| Beziehungen zwischen Grundwasser in München und Würm-See, Ammer-See und Isar. — Jahresperiode des Grundwassers in München, des Würm-Sees und Ammer-Sees und der Isar. — Künstliche Vertiefung des Isarstrombettes. — Vergleich der Jahresmittel des Wasserstandes, von Grundwasser in München, Würm-See und Ammer-See. — Parallelismus mit dem Niederschlage. — Klimatische Übereinstimmung in dem Gebiete der norddeutschen Tiefebene. — Jahresmittel der Grundwasserschwankungen in Berlin, Frankfurt a. M., Bremen. — Übereinstimmung der Jahresmittel des Wasserstandes der Spree, des Mains und der Weser. — Die Jahressumme der Niederschläge. — Klimatischer Vergleich von München und Salzburg. — Jahresmittel des Grundwasserstandes, Jahressumme der Niederschläge von München und Salzburg. — Schluss.  |              |

## EINLEITUNG.

---

Die Anregungen, denen diese Arbeit entsprang, liegen auf einem anderen Gebiete, als auf dem der Geographie, das jedoch nicht aller Beziehungen zu der letzteren entbehrt. Denn wenn die Anthro-Geo-graphie, welche die Beziehungen zwischen Mensch und Erdoberfläche untersucht, eine immer größere Bedeutung in der geographischen Forschung gewinnt, so kann die Hygiene, welche sich die Beziehungen des Menschen zur Außenwelt überhaupt, wenn auch nur in einer bestimmten Richtung, zum Gegenstande ihres Studiums macht, den ersten Wissenschaften nicht ganz fremdartig gegenüberstehen.

Die Hygiene wurde bei ihren Forschungen nach den äußeren Krankheitsursachen, bei dem Studium der Seuchen nach ihrer räumlichen und zeitlichen Ausbreitung zu der Annahme eines Zusammenhanges zwischen Entstehen und Verschwinden von Epidemien und zwischen gewissen, an der Erdoberfläche, im Wasser und in der Luft sich abspielenden Vorgängen geführt. Um dieses Zusammentreffen, das mitunter zu höchst wichtigen Aufschlüssen über klimatische Ereignisse früherer Perioden führen kann, aufzuklären und den eventuellen Causalnexus zu finden, war es dann nöthig, dass sich die Hygiene ausführlicher mit dem Studium gewisser im Boden sich abspielender, jedoch von den meteorologischen, respective klimatischen Factoren der Atmosphäre abhängender Ereignisse beschäftigte, und so wurde von Seite dieses Forschungsgebietes (zum Theile wenigstens) eine Art unterirdischer Klimatologie aufgebaut, die nun aber auch von anderen Wissenszweigen, insbesondere von den geographischen Disciplinen nicht unberücksichtigt gelassen wird. Eine im Sinne der Hygiene gegebene Darstellung<sup>1)</sup> dürfte jedoch die Kenntnissnahme des Gegenstandes von Seite anderer interessierter Kreise durch das nothwendige fachwissenschaftliche Beiwirk erschweren.

So komme ich denn hiemit einer Aufforderung von befreundeter Seite nach, diese Frage für geographische Kreise zu bearbeiten.

Während der Abfassung dieser Abhandlung erschien nun auch Daubrée's großes und schönes Werk,<sup>2)</sup> welches das Auftreten des Grundwassers ausführlich behandelt, weswegen es sich als unthunlich erwies, diesen Theil der Abhandlung in größerer Ausdehnung zu bearbeiten. Es konnte dadurch das erste Capitel »Entstehung und Ausbreitung des Grundwassers« auf einen geringeren Umfang reduciert werden, indem nur soviel hievon angeführt zu werden brauchte, als eben zum Verständnis der anderen Capitel nothwendig war.

---

<sup>1)</sup> Soyka. Der Boden. Handbuch der Hygiene und Gewerbekrankheiten. Herausgegeben von Pettenhofer und Ziemssen. I. Bd. 2 Abtheil. 3. Heft 1887.

<sup>2)</sup> Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. Paris. Dunod. 1887. 2 Bände.

## ERSTES CAPITEL.

---

### Entstehung und Ausbreitung des Grundwassers.

1. Entstehung und Ausbreitung des Grundwassers. — Horizontale Ausbreitung des Grundwassers. — Bildung einheitlicher Becken von großer geographischer Ausdehnung. — Bayerische Hochebene. — Münchener Becken, Ebene bei Wiener-Neustadt, Straßburger Becken, Norddeutsche Ebene, Römische Campagna. — 2. Beziehungen des Grundwassers zu seiner Unterlage und zum Oberflächen-Niveau des Bodens. — Incongruenz zwischen Boden-Oberfläche und -Unterlage. — Locale Unebenheiten der Unterlage. — München, Brünn, Wien. — Brunnenerscheinungen. — Zutagetreten des Grundwassers als Quelle. — Wechselnder Abstand des Grundwassers von der Oberfläche. — Moosbildung. — Unterirdische Seen, Quellgänge.

Die Geschichte menschlicher Ansiedlungen hängt mit den verschiedenen Erscheinungsformen des Wassers im und auf dem Erdboden aufs innigste zusammen. <sup>1)</sup> Nur dort, wo Wasser zu Tage trat, suchten die neuen Ankömmlinge eine Stätte für ihre Lagerplätze, fanden sie die Gegend zu dauerndem Wohnsitze geeignet, und auch heute noch wählen Nomaden nur solche Stellen zu ihren vorübergehenden Ansiedlungen, die von Quellen, Bächen oder Flüssen durchzogen sind. Aber so wie die Wüste ob ihrer Trockenheit der Besiedelung widerstand, so musste auch der Sumpf, das Moos ob seines überquellenden Wasserreichthums gemieden werden, und wehe den Ansiedlern, wenn dies nicht beachtet wurde, wenn kurzsichtige Bevorzugung geringwerthigerer Lebensinteressen, wie die der leichteren Zugänglichkeit durch Schiffsverkehr, der bequemerer Handelsbeziehungen, doch solche Plätze zu dauernden Ansiedlungen wählen liess. Böse Krankheiten, verheerende Seuchen rächten an den Bewohnern diese Unklugheit, und wenn ein ärztlicher Schriftsteller schon 1773 zorn erfüllt ausruft, <sup>2)</sup> »es ist unmöglich, ohne Erstaunen zu sehen, dass die Unwissenheit und Dummheit der Erbauer großer Städte und der Befehlshaber großer Provinzen volkreiche und prächtige Städte dem Unglück ausgesetzt haben, dass sie alle Jahre von einer pestartigen Krankheit verwüstet werden,« so meint er damit das unglückliche Geschick Batavias, bei dessen Anlage eben diese wichtigste Regel der sorgfältigsten Auswahl des Platzes vernachlässigt worden zu sein schien.

---

<sup>1)</sup> Topley. Water supply in its influence on the distribution of the Populations. International Health Exhibition. London 1884.

<sup>2)</sup> Lind: Versuche über die Krankheiten, denen Europäer in heißen Klimaten unterworfen sind. 1773.

Das innerhalb der festen Erdkruste vorhandene Wasser verdient schon wegen seiner ungeheuren Masse besondere und eingehende Beachtung. Delesse <sup>1)</sup> hat den Versuch angestellt, die Quantitäten des Wassers zu berechnen, das sich innerhalb unserer Erde in tropfbar flüssiger Form findet, welches die Felsen, Gesteine imbibiert, indem es durch Spalten, mikroskopische Hohlräume und Poren eindringt. Er geht von der Ansicht aus, dass sich unterirdisches Wasser in der ganzen Schichte der Erdrinde finden muss, deren Temperatur unter 100° Celsius ist, es würde sich also, eine Temperatur-Erhöhung des Erdinnern von 1° für 33 Meter vorausgesetzt, bis zu 3300 Meter Tiefe erstrecken können. Da aber die Dampfbildung vom Drucke abhängt und dieser ebenfalls mit der Tiefe zunimmt, so kann man berechnen, dass ungefähr bis zu 18.500 Meter Tiefe und bis zu einer Temperatur zu 600° flüssiges Wasser vorhanden sein wird. Weil nun die die Oberfläche zusammensetzenden Gesteine geschichtet und im Allgemeinen recht porös oder mindestens thonhaltig sind, alles Eigenschaften, die eine Imbibition mit Wasser ermöglichen, so lässt sich annehmen, dass das unterirdische Wasser einen bedeutenden Theil unserer Erdkugel ausmacht. Wir nehmen an, dass die Erdrinde auf eine Dicke von 18.5 km von Wasser durchsetzt sei, dass ihre Dichte 2.5 betrage und das Imbibitionswasser 5 Procent, dass ferner die Erde eine Kugel sei vom Radius 6370 km und finden sohin das Volumen des unterirdischen Wassers  $\frac{4}{3} 3.14 (6370^3 - 63.515^3) 2.50 \times 0.05 = 1.278,900.000 \text{ cbkm}$ , ungefähr  $\frac{1}{845}$  des Rauminhalts der Erdkugel. Nach Krümmel <sup>2)</sup> beträgt das oberflächliche Wasser der Erdkugel 1.284,765.000 cbkm oder  $\frac{1}{842}$  der Erdkugel; es wäre also das Imbibitionswasser der Menge nach fast gleich dem Oberflächenwasser; Delesse nimmt an, dass seine für das unterirdische Wasser gefundenen von obigen wenig abweichenden Zahlen jedenfalls zu gering gegriffen sind, vielleicht ist aber das Umgekehrte der Fall, indem es fraglich ist, ob die Annahme von 5 Procent Imbibitionswasser nicht eine zu hohe Summe repräsentiere; die Gesteine in großen Tiefen sind sehr trocken und enthalten das Wasser nur chemisch gebunden; außerdem muss auch in Betracht gezogen werden, dass von der Dicke der mit Wasser erfüllten Erdrinde die Zahl für die mittlere Meerestiefe abgezogen werden müsste. Aber selbst eine namhafte Reduction lässt uns doch diese Mengen als außerordentlich groß erscheinen.

Von dieser gewiss sehr bedeutenden Menge des Bodenwassers ist einem Theile unter günstigen Bedingungen der wechselseitigen Lagerung der Bodenschichten, sowie der petrographischen Beschaffenheit derselben Gelegenheit geboten, sich in einer gewissen meist geringen Tiefe in Form eines mehr weniger ausgebreiteten Stromes anzusammeln, freilich mit jener Unterbrechung der Continuität, die dadurch gegeben ist, dass das Wasser nur die zwischen den Gesteinspartikeln befindlichen Hohlräume ausfüllen kann. Es ist dies jenes Wasser, das unter dem Namen Grundwasser <sup>3)</sup> oder Horizontalwasser im Boden circuliert und dessen Ansammlung dadurch zu Stande kommt, dass eine nicht allzu steil geneigte Schichte eines für Wasser undurchlässigen Materials

<sup>1)</sup> Recherches sur l'eau dans l'intérieur de la terre. Bulletin de la Société géologique de France 1861/62.

<sup>2)</sup> Morphologie der Meeresräume. S. 163.

<sup>3)</sup> Pettenkofer. Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres 1854 im Königreich Bayern, München 1857. — Daubrée L. c. Bd. I. 19 schlägt hiefür den Namen phreatisches Wasser vor (von φρέας Brunnen), um damit auszudrücken, dass es die gewöhnlichen Brunnen speist.

überlagert wird von einer Schichte eines porösen, für Wasser durchgängigen Materials, welches die auffallenden meteorischen Niederschläge allmählich in die Tiefe sickern lässt, bis diese endlich auf der undurchlässigen Schichte ankommen und hier zur Ansammlung auf der horizontalen oder zum allmählichen Abfließen auf der geneigten Fläche gelangen.

Ein poröser Boden, wie er z. B. als Alluvial- oder Diluvialboden die Erdoberfläche auf größere Strecken bedeckt, wird das Wasser, das in ihn eindringt, zum Theil zurückhalten, entsprechend seiner Wassercapacität; durch die Adhäsion des Wassers an die Bodenpartikel und durch die Capillarität der Hohlräume wird ein Theil des auffallenden und durchströmenden Wassers festgehalten, allerdings in wechselnder Menge, und zwar hängt diese Menge von der mineralogischen, bezüglich petrographischen Beschaffenheit des Materials, der Größe und Form seiner Poren, dem Grade der vorhergehenden Durchfeuchtung ab, und nur jenes Quantum gelangt zum Abfluss in die Tiefe, welches als Überschuss über die sogenannte Wassercapacität vorhanden ist. Wir haben jedoch vom Standpunkte der Bodenphysik und insbesondere der Agriculturphysik eine doppelte Wassercapacität zu unterscheiden; eine absolute oder kleinste Wassercapacität, d. i. jene Wassermenge, welche von einem Boden trotz freien Abflusses unter allen Umständen festgehalten wird, wenn ihm ein Überschuss von Wasser zur Verfügung steht. Unter diesen Umständen wird nun gewöhnlich der Boden nicht vollständig mit Wasser erfüllt sein, da ja nicht alle Räume Capillarräume zu sein pflegen, und besonders nicht, wenn die Bodensäule eine solche Höhe besitzt, dass die Schwerkraft antagonistisch der Capillarität entgegen wirkt, was zur Folge hat, dass nur die engsten Capillarräume gefüllt sind. Es wird sich also ein Zustand im Boden entwickeln, bei welchem Wasser und Luft nebeneinander vorhanden sind; der Boden ist feucht, nass zu nennen.

Wird nun aber der Abfluss behindert, dadurch, dass unterhalb der porösen, für Wasser durchlässigen Schichte eine undurchlässige Schichte entgegentritt, so wird, wenn dem durchlässigen Boden ein Überschuss an Wasser zugeführt wird, dieses Wasser sich allmählich auf der undurchlässigen Schichte ansammeln, vorausgesetzt, dass ihr Gefälle kein derartiges ist, dass das Wasser rasch abfließen kann, es wird bei weiterem Zufluss von obenher allmählich steigen, die Luft aus den Poren der durchlässigen Bodenschichte verdrängen und dieselben vollständig ausfüllen. Es bildet sich eine unterirdische zusammenhängende Wasseransammlung innerhalb der Hohlräume des Bodens, die aber auch noch die unmittelbar oberhalb befindliche Schichte des capillar gefüllten Bodens in ihrem Wassergehalt beeinflusst, insofern als für eine kleine Strecke sämtliche Capillaren hier mit Wasser sich füllen, soweit eben die Schwerkraft überwunden wird; auf diese Weise entsteht dann in dieser dem Grundwasser unmittelbar benachbarten Zone die sogenannte größte oder volle Wassercapacität.

Auf die horizontale Ausbreitung des Grundwassers und auf die Richtung des eventuellen Abflusses wird nun in erster Linie die Configuration der undurchlässigen Schichte von maßgebendem Einflusse sein, da ja auf ihr das Grundwasser zur Ansammlung kommt; in ihr liegt aber auch die Bedingung für einen Zusammenhang des Grundwassers über große Strecken, für eine gewisse geographische Einheitlichkeit großer Grundwasserströme.

Es giebt Gebiete, wo auf große Entfernung hin die Lagerungsverhältnisse der verschiedenen Bodenschichten eine solche Continuität

zeigen, dass auch das Grundwasser, welches wir auch als eine zwischenlagernde (freilich bewegliche und darum variierende) Bodenschichte betrachten müssen, ein einheitliches Ganze darstellen muss, und so gelangen wir dazu, ausgedehnte zusammenhängende unterirdische Wasserbecken anzunehmen, die an den verschiedenen Stationen ihres Laufes große Übereinstimmung zu zeigen vermögen. Wir wollen als Beispiel zunächst die Grundwasser-Verhältnisse der bayerischen Hochebene schildern, die hiefür eine relativ leichte Orientierung geben.

Diese Hochebene bietet in ihrem südlichen, dem Gebirge anschließenden Theile einen außerordentlich einfachen, geologischen Bau, entsprechend der Entstehung desselben. Die eiszeitliche Vergletscherung erfüllte alle Thäler der Alpen und stieg bis auf die Hochebene als Inn-, Isar- und Lechgletscher herab. Während nun unmittelbar dort, wo der Gletscher selbst die Erdoberfläche bedeckte, seine Grundmoräne als eine compacte, feste, wegen der massenhaften Thoneinlagerungen undurchlässige Decke zurückblieb, lagerten sich in den vor den Gletschern gelegenen Regionen die durch die Schmelzwässer transportierten, aus der Moräne entnommenen Schottermassen als Glacialkies, Glacialschotter ab, in weit größerer Mächtigkeit und Breite, als dies den heutigen Flüssen entspricht, und gaben so Veranlassung zur Bildung jenes mächtigen Kies- und Geröll-Lagers, welches die bayerische Hochebene im Becken von München zusammensetzt.

Diese mächtigen fluvioglacialen Schotterablagerungen zerfallen nach Penck <sup>1)</sup> in drei Stufen, welche im Münchener Becken <sup>2)</sup> übereinander lagern, getrennt durch dünne Lagen von Verwitterungslehm, und bilden eine schiefe Fläche, deren größte Breite in der Gegend von München etwa 35 *km*, deren Länge von Süden nach Norden 70 *km* und deren Areal 14859 *km* beträgt. Unter dieser Schotterfläche lagert ein zäher Mergel des Obermiocäns, der sogenannte Flinz. Ihre Umrandung wird im Süden durch die Endmoränen des Isargletschers, im Osten und Westen von ebenso aufgebauten glacialen Hügelcomplexen gebildet, während im Norden das Obermiocän sich unter dem Schotter hervorhebt. Im Schotter nun findet sich über dem Flinze eine mächtige Grundwasserschichte, welche im Süden an der äußersten Grenze der Moräne beginnt und im Norden dort endet, wo sich das Tertiär heraushebt. Derartige Verhältnisse, wie die an dem Münchener Becken geschilderten, finden sich auch anderwärts. So in der Ebene bei Wiener-Neustadt <sup>3)</sup>, in jenem weiten, zum größten Theil durch die Armseligkeit seiner Pflanzendecke ausgezeichneten Landstriche, in dessen Mitte Wiener-Neustadt liegt, und der gleichfalls auf fluvioglacialen Ursprung zurückzuführen ist. Es handelt sich um ein von zwei Höhepunkten, Wöllersdorf und Neunkirchen mehr minder abfallendes Terrain, wobei diese beiden Absenkungen, indem sie aneinanderstoßen, eine Furche bilden, in welcher der Fischabach verläuft, gewissermaßen als Zusammenfluss und oberflächlicher Abfluss der beiden Grundwasserströme. Die große Durchlässigkeit des Schotters bringt es hier mit sich, dass man sich das Grundwasser dieser Gegend als eine zusammenhängende einheitliche Wassermasse zu denken

<sup>1)</sup> Penck: Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Leipzig, 1882. S. 290.

<sup>2)</sup> Vrgl. Gruber, das Münchener Becken, 1884. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde.

<sup>3)</sup> Bericht über die Erfolge der Wiener Wasserleitungs-Commission 1864. — Geologie der Franz Josephs-Quellenleitung von F. Karrer, Abhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt 1877.

hat, welche im Stande ist, die an einem Orte auftretenden Schwankungen auf eine größere oder geringere Entfernung fortzupflanzen. Das Grundwasser hat hier die Gestalt einer sehr großen Mulde, deren Ränder nach beiden Seiten hin nach den Gebirgen zu aufsteigen, von wo aus auch ein beständiges Element der Speisung dieses Grundwassers zuströmt. Die tiefste Linie, die beiläufig mit der Linie der Eisenbahn und der Poststrasse zwischen Neunkirchen und Neustadt zusammenfällt und an dem Umbiegen der Hypohydroisohypsen (Grundwasserisohypsen) zu erkennen ist, liegt ziemlich seitwärts ab vom Flusse, eine Erscheinung, die sich auch an anderen Orten (München, Frankfurt a. M.) wiederholt und offenbar auf alte nunmehr verlassene Flussbette hinzudeuten scheint. Auch das Rheinthale bei Straßburg<sup>1)</sup> erweist sich als ein zusammenhängendes breites und tiefes Grundwasserbecken, dessen Boden die undurchlässigen Schichten der Tertiärformation bilden; nach Bohrungen aus dem Jahre 1830/31 war bei einer Tiefe von 48.75 die Tertiärschichte noch nicht erreicht worden. Das Grundwasserbecken hat demnach in Straßburg eine Tiefe von mindestens 40 m, welches rund 8 m Wasser führt. Die Breite des wasserführenden Gerölles ist nach Daubrée 20 km.

Ähnliche Grundwasserschichten kehren überall dort wieder, wo mächtige Geröllmassen angehäuft worden sind, was in Mitteleuropa im Allgemeinen als Gefolgerscheinung der Eiszeit auftritt. Es konnte beispielsweise Thiem<sup>2)</sup> in der Nähe von Naunhof, 17 km von Leipzig einen Grundwasserstrom in einem mit Geröll verschütteten, eiszeitlichen Arm der Mulde nachweisen. Das Grundwasserbett stellt sich hier als eine 12–13 m hohe Röhre mit einem stark in die Breite gezogenen Querschnitt dar, die wasserdichten Wandungen werden gebildet oben durch einen undurchlässigen lössähnlichen Decklehm von durchschnittlich 2 m Mächtigkeit, unten durch tertiäre Thone oder Porphy. Seitlich westlich durch tertiäre Thone und seitlich östlich durch Porphy. Diese Röhre enthält in ihrer ganzen Ausdehnung echte fluviatile Gebilde aus Muldenschotter, Muldenkiesen und Muldenanden. Sie wird vom Wasser von Südost nach Nordwest mit einem Gefälle von 5.5 m auf 5000 bei mittleren hydrologischen Zuständen durchströmt, und zwar mit einer mittleren Geschwindigkeit von mindestens 2.5 m pro Tag bezogen auf das ganze benetzte Profil. Ähnliche Verhältnisse kehren in der Schweiz öfters wieder.<sup>3)</sup>

Auf italienischem Gebiete tritt uns eine derartige, weit sich erstreckende, unterirdische Wassercirculation einerseits in der Poebene am Fuße der Alpen, andererseits in der römischen Campagna entgegen.

Der alte Ager romanus stellt ein keineswegs ebenes Terrain dar, sondern besteht zu mindestens vier Fünfteln aus Hügeln, die auf beiden Seiten des Tiberthales stufenweise nach Norden bis zu den vulkanischen Bergen der Sabatinischen Kette und bis zu jenen der Latischen Kette im Süden aufsteigen, und meist sehr hohe Erhebungen über das Niveau des Tiberthales und seiner zahlreichen Seitenthäler bilden.

Bei der Betrachtung der Wasserverhältnisse dieser Gegend wird man nun überrascht durch das ungeheure Missverhältnis, welches zwischen der Regenmenge, die auf den Boden fällt, und der großen Menge lebendiger Quellen und Wassertümpeln besteht, die durch die unter-

<sup>1)</sup> Topographie der Stadt Straßburg nach ärztlich hygienischen Gesichtspunkten bearbeitet. Festschrift 1885.

<sup>2)</sup> Thiem, Bericht an den hohen Rath der Stadt Leipzig über die hydrologischen Untersuchungen der Umgegend von Naunhof. 1881.

<sup>3)</sup> Heim: Die Quellen. S. 16.

irdische Vertheilung dieser Quellen entstehen, welche man fast aller Orten am Fuße der Hügel, mitunter selbst an ihren Abhängen antrifft. Das Regenwasser verläuft sich oder verdunstet in diesem trostlosen Gebiet und die Sommer gehen oft vorüber, ohne dass ein einziger Regentropfen fällt. (Vergleiche die Tabelle über Niederschlag und Verdunstung, Seite 18.) Tommasi-Crudeli<sup>1)</sup> schließt sich in der Erklärung dieser Verhältnisse den Ansichten Tucci's an, welcher hier ein unterirdisches Hinzusickern von Wasser aus höher gelegenen Gegenden annimmt. Die ganze Campagna von Rom wird nämlich zu beiden Seiten des Tiber von alten vulkanischen Kratern beherrscht, welche in bemerkenswerther Höhe im Norden auf den Sabatinischen, im Süden auf den Latischen Bergen gelegen sind. Einige dieser Krater sind jetzt Seen, andere sind geschlossene Bassins. Das Wasser, welches sich in diesen Becken sammelt, und ebenso jenes, welches die Seen enthalten, dringt in die permeableren Lagen der Wände und des Grundes dieser alten Krater ein, gelangt in den unter der römischen Campagna gelegenen Grund und bildet dort ausgedehnte unterirdische Wasserflächen, welche in der Richtung der Flussthäler nach abwärts verlaufen. Diese Wasserflächen können manchmal ihrer ganzen Dicke nach die Hügel durchsetzen, in deren Zusammensetzung vulkanischer Tuff und Thon eintritt, vorausgesetzt, dass auch starke Schichten von Puzzolan, Lapilli, Sand oder Kies vorhanden sind. Damit stimmt auch überein, dass man am Fuße der römischen Hügel eine große Menge von Quellen antrifft, insbesondere auf der rechten Seite des Tibers, deren Wasserführung durch das große Reservoir von Bracciano, circa 30 km nordwestlich vom Rom beherrscht wird.

Diese unterirdischen Wasserflächen grenzen an den Tiber und die Seitenflüsse der Campagna und speisen alle diese Wasserläufe, sodass sie ihnen eine gleichmäßige Fortdauer durch alle Zeiten des Jahres erhalten. Allein ein großer Theil dieses Wassers bleibt doch im Untergrunde der römischen Campagna eingeschlossen zwischen den wenig durchlässigen Schichten der Hügel oder aber unter der Masse von abgewaschenem Erdreich, welches in den Thälern angehäuft ist. Es sei hier auf die Beobachtungen Colins<sup>2)</sup> aufmerksam gemacht, welcher constatirt hat, dass in der Campagna jeden Morgen ganz exquisite Nebel den Fuß der Berge, welche das Becken Roms begrenzen, umhüllen.

Wir haben hier offenbar nichts Anderes vor uns als einen Grundwasserstrom, der vom Gebirge her zuströmt und der vorwiegend von den im Gebirge fallenden Niederschlägen gespeist wird. Auch die Art und Weise, wie die Drainierung in jenen Gegenden vorgenommen werden kann, in welchen das Wasser unter dem lockeren Erdreich des Thalbodens sich bewegt: durch Anlegung von Gräben, parallel zur Hügelbasis, stimmt vollständig mit dem Vorschlage von Daubrée<sup>3)</sup> überein, die unterirdischen Quellen des Grundwassers behufs ihrer Verwerthung zu sammeln und in der Weise austreten zu lassen, dass man senkrecht auf die unterirdische Strömungsrichtung einen Graben führt, der den Wasserstrom in Querschnitt trifft. Auf eine solche Weise können die Thäler von diesen Gewässern, welche unter der pflanzentragenden Schicht stehen und daraus manchmal höchst ungesunde Sümpfe bilden, befreit

<sup>1)</sup> Tommasi-Crudeli, *Il Clima di Roma*. Rom 1896. Ferner: *Die Malaria von Rom*; Deutsch von A. Schuster 1882.

<sup>2)</sup> Colin: *Traité des maladies épidémiques*. 1879, S. 281.

<sup>3)</sup> Daubrée sur l'existence et l'origine des eaux souterraines, qui ce meuvent souvent à une faible profondeur. *Comptes rendus* 1849. XXVIII.

werden; es handelt sich nur darum, in tiefen Gräben, welche parallel mit der Basis der Hügel gezogen sind, alle die unterirdischen Quellen, welche daraus hervorkommen, zu sammeln und diese Gewässer dem natürlichen Sammelplatz zuzuführen.

Es scheint nun nach den Untersuchungen Tucci's, dass in der That zu dem Zwecke, das Innere der römischen Hügel von diesen Gewässern zu befreien, bei den Alten ein ausgedehntes und weitverzweigtes System von unterirdischen Stollen bestanden hat, von Tunneln (cuniculi), die eine durchschnittliche Höhe von 1·5 m und Breite von 0·5 m gehabt haben; diese zu einem großen Canalnetze sich vereinigenden Stollen bildeten ein ziemlich vollkommenes Drainagesystem. Sie werden nicht gefunden in allen jenen Hügeln, die aus Lava oder Alluvialkies bestehen, und selbst in den Hügeln, in deren Zusammensetzung sich vulkanischer Tuff findet, deren Hauptmasse aber aus Puzzolan oder Lapilli besteht. In allen diesen Fällen vollzog sich eben die Entwässerung des Untergrundes auf natürlichem Wege, was durch die Sedimente bestätigt wird, die identisch sind mit jenen, welche die cuniculi verstopfen, und welche das Wasser in den Spalten der Lava, in den Zwischenräumen des Kieses und der Lapilli und im Innern der alten Puzzolangeruben, welche man manchmal in diesen Hügeln findet, abgesetzt hat. Im Gegensatz hierzu enthalten die Hügel, deren Hauptmasse aus vulkanischem, wenig durchlässigem Gestein besteht, das man im Großen und Ganzen mit der Artenbezeichnung Tuff zusammenfasst, eine mehr oder weniger große Zahl dieser Stollen.

Eine undurchlässige, unter porösem Boden lagernde Schicht erscheint allenthalben als die Ursache der Grundwasser-Ansammlung, und der Verlauf jener Schicht bestimmt im Wesentlichen auch den Verlauf des Grundwassers. Dieses fließt in der Richtung, nach welcher sich die impermeable Lage abdacht, seine Oberfläche folgt im Wesentlichen dem Niveau derselben. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Spiegel des Grundwassers durch hydrostatische Gesetze geregelt wird, und sohin keineswegs seiner Unterlage nothwendigerweise parallel sein muss. Er folgt namentlich nicht den Unebenheiten derselben, solche können sich unter Umständen sogar bis über ihn erheben, wie dies in der Stadt München der Fall ist. Hier zeigt ein in der Richtung von Nordwest nach Südost verlaufendes Profil <sup>1)</sup> (Fig. 1) in seinen allgemeinen Zügen einen gewissen Parallelismus in Richtung und Größe des Abfalles sowohl der Bodenoberfläche als auch der undurchlässigen Schichte (des Flinzes) und des Grundwassers gegen den Fluss zu. In den Details aber stellt sich heraus, dass die Tertiärschichte nicht in derselben Weise sich gegen die Isar abdacht, wie die Oberfläche. Im Nordwesten fällt die Tertiärschichte steiler ab; im Südost jedoch steigt sie, im Gegensatze zur Oberfläche sogar etwas an. Insbesondere macht sich eine mächtige, kegelförmige Erhebung des Flinzes geltend, die aber an der Oberfläche sich durch keinerlei Zeichen verräth, trotzdem sie eine Höhe von 10 m erreicht. Ein über der Höhe des Kegels niedergebrachtes Bohrloch fand kein Grundwasser. Dieses bespült aber in ergiebiger Weise seinen Mantelsaum.

Augenscheinlich ragt der Flinzhügel über das Niveau des Grundwassers hervor, trotzdem dieses in seiner Umgebung wahrscheinlich

<sup>1)</sup> »Berichte« über die Verhandlungen und Arbeiten der vom Magistrate in München niedergesetzten Commission für Wasserversorgung, Canalisation und Abfuhr. I. und II. Bericht. Insbesondere in letzterem Gumbel: Die Bewegung des Grundwassers unter dem Boden der Stadt München 1877.

durch Rückstau höher als im weiteren Umkreise steht. Von alledem zeigt sich oberflächlich nicht die geringste Andeutung. Selbst auf ebenem Boden können demnach benachbarte Stellen infolge von Unebenheiten der undurchlässigen Schicht die verschiedensten Mächtigkeiten des Grundwassers zeigen. Derartige Verhältnisse bieten mitunter die Erklärung für manche überraschende Thatsachen, die sich bei der Suche nach Brunnen ergeben; dass z. B. von zwei naheliegenden Punkten einer die wasserführende Schichte erreicht, der andere in derselben Tiefe nur die Basis, das hier als Hügel sich hervorwölbende Tertiär, antrifft. In Brünn musste der Jesuitenbohrbrunnen in der Jesuitenkaserne selbst als wasserlos verschüttet werden, während zwei andere Brunnen im nächsten Hofe derselben Kaserne in ungleicher Stärke Wasser lieferten. In derselben Stadt bohrte man im neuen Ständehause am Ritwik-Platze erfolglos nach Wasser und erreichte in einer Tiefe von nahezu 11.5 m den Tegel, während wenige Meter von dieser Stelle entfernt nördlich, östlich und südlich Sandschichten, 1—1.5 m mächtig, reichlich wasserführend angetroffen wurden.<sup>1)</sup>

Profil über die Höhenlage der wasserundurchlassenden tertiären Schicht und den Grundwasserstand Mitte August 1875.

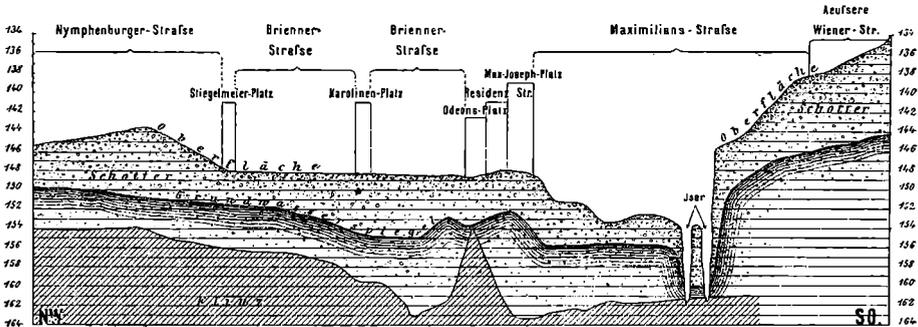


Fig. 1. Profil durch den Boden von München.

Während einerseits Erhebungen der undurchlässigen Schichte vollständig von Grundwasser entblößt sein können, werden Vertiefungen derselben von jenem erfüllt werden, und es können gelegentlich förmliche mit Grundwasser erfüllte Kessel entgegentreten, wie z. B. westlich des obenerwähnten Flinzhügels in München. In solche unterirdischen Mulden wird eine viel langsamere Erneuerung des Grundwassers eintreten, da das Quantum, das zu ersetzen ist, ein viel größeres ist.

Können Unregelmäßigkeiten im Niveau der undurchlässigen Schichte, welche sich oberflächlich nicht äußern, schon eine auffällige Nichtübereinstimmung im Auftreten des Grundwassers an benachbarten Stellen erzeugen, so geschieht dies in noch viel höherem Maße durch allgemeine Divergenzen im Niveau der Oberfläche und der impermeablen Unterlage. Es zeigt sich hierbei stets, dass der Grundwasserspiegel lediglich der letzteren folgt, und dieselben Divergenzen, welche sich zwischen dieser und der Landoberfläche zeigen, wiederholen sich zwischen ihm und der letzteren. Es kann dies durch die Grundwasser-Verhältnisse der Stadt Wien<sup>2)</sup> beleuchtet werden. Wien erstreckt sich zum Theil

<sup>1)</sup> A. Makovsky: Der Boden von Brünn. — Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn. 1876.

<sup>2)</sup> E. Sueß: Der Boden von Wien. 1862.

über eine ziemlich ebene Partie, welche an den Donaufern, sowohl des eigentlichen Stromes, als ihres natürlichen Armes, des Donaucanals, im Allgemeinen in einer Höhe von 4–6 m über den Mittelpunkt der Ferdinandsbrücke (157 m) verläuft. Diese Thalsole umfasst das ganze Donaugebiet bis zu dem sich scharf markierenden Steilrande, welcher den Donaucanal in geringer Entfernung quer durch die Stadt begleitet. Dieser Steilrand stellt den Abfall einer ziemlich ebenen Terrasse dar, welche, mit Löss bedeckt, sich grösstentheils aus Donaugeröll aufbaut.

Der Tegel nun, der in Wien als erste undurchlässige Tertiärschichte die Auffangfläche des Grundwassers bildet, zieht sich unabhängig von der Oberfläche der Terrasse, insbesondere von dem erwähnten Steilrand des Donaustromes unter derselben hin, wellenförmige Erhebungen und muldenförmige Einsenkungen bildend, die früheren Wasserläufen ihren Ursprung verdanken. Unterhalb der sogenannten inneren Stadt bildet dieser Tegel analog wie in München eine seichte Mulde, die doch wieder durch einen sanften unterirdischen Rücken, der

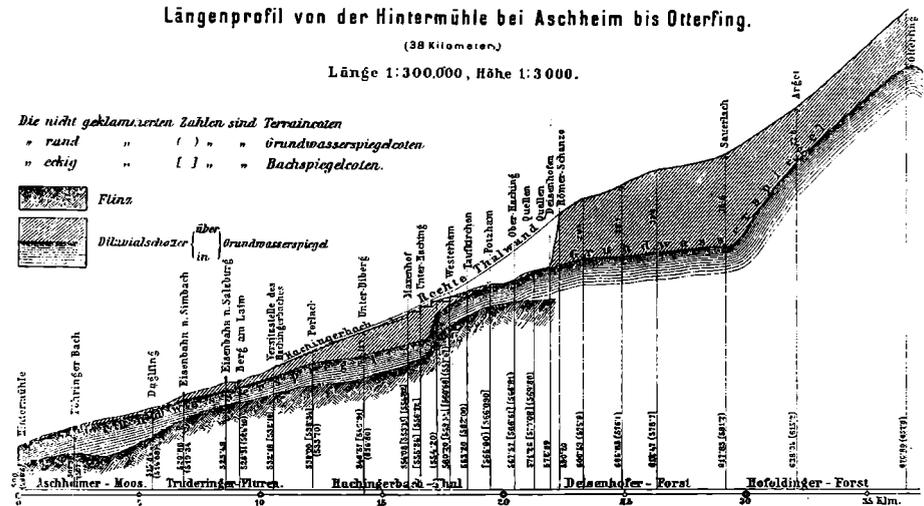


Fig. 2.

in Gestalt eines Bogensegmentes vom Schottenthore sich etwa bis zur Seilerstätte herüberzieht, unterbrochen wird. Schließlich erhebt sich der Tegel ziemlich parallel mit dem erwähnten Steilrand, jedoch viel weiter entfernt von der Donau aus dem Diluvialgeröll heraus zu einer höheren, viel unebeneren Fläche, auf welcher die Stadttheile Neubau, Mariahilf, Wieden und zum Theile Landstraße liegen, und welche gekrönt wird von einer zweiten permeablen Schicht, dem pliocänen Belvedereschotter.

Durch diese Configuration der undurchlässigen Schicht ergibt sich zuvörderst das Resultat, dass mit der seitlichen Entfernung von der Donau trotz des nicht unbedeutenden Ansteigens der Oberfläche diese letztere sich in verticaler Richtung vom Wasser nicht entfernt, sondern sich demselben sogar nähert. Wir erkennen dies aus der wechselseitigen Lage der Oberfläche zum Grundwasserniveau. In der Nähe der Burg beträgt der Abstand der Oberfläche vom Grundwasserniveau über 15 m, weiter aufwärts sinkt dieser Abstand auf 5 m und noch weniger. Diese durch das Ansteigen des Tegels bedingte Hochlage

des Grundwassers wird von practischer Bedeutung dadurch, dass sie das Zutagetreten von Grundwasser an Stellen hervorruft, die weit entfernt vom Flusse und hoch über demselben gelagert eine vorzügliche Ableitung des Wassers, oder wenigstens eine tiefe Lage desselben vortäuschen könnten. Als in Wien die Hochquellenleitung eingeführt wurde, wurden zahlreiche, das Grundwasser anzapfende Brunnen aufgelassen, es schwoll das Grundwasser an, und trat weit von der Donau an der Grenze von Belvedereschotter und Tegel zu Tage.

Diese Verhältnisse des Bodens von Wien zeigen sehr deutlich, wie unabhängig der Grundwasserspiegel vom Verlaufe der Landoberfläche ist und lassen sogleich erkennen, dass unter Umständen das Grundwasser zu Tage treten kann je nach dem Verhältnisse, in welchem die beiden maßgebenden Schichten, die undurchlässige und die durchlässige zu einander stehen, freilich auch je nach seinen eigenen Mengenverhältnissen. Dort, wo die durchlässige Schichte in großer Mächtigkeit die impermeable Unterlage bedeckt, wird das Grundwasser erst in einer

| Ortsbezeichnung        | Entfernung in km | H ö h e n (in m): |             |             | Abstand d. Oberfl. |           |
|------------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|--------------------|-----------|
|                        |                  | der Oberfläche    | des Grundw. | des Flnizes | vom Grundw.        | vom Flniz |
| Otterfing . . . . .    | —                | 676.80            | 652.8       | —           | 24.0               | —         |
| Arget . . . . .        | 4.4              | 638.04            | 615.2       | —           | 22.8               | —         |
| Sauerlach . . . . .    | 7.3              | 617.85            | 581.2       | —           | 36.6               | —         |
| Bahnwärterhaus 19      | 13.1             | 600.53            | 575.9       | —           | 24.6               | —         |
| Römerschanze . . . .   | 14.0             | 590.20            | 572.00      | —           | 17.2               | —         |
| Deisenhofen . . . . .  | 14.5             | 572.89            | 572.50      | 559.0       | 0.39               | 14.0      |
| Ober-Haching . . . . . | 15.9             | 567.57            | 566.81      | 558.0       | 0.76               | 10.0      |
| Taufkirchen . . . . .  | 17.8             | 562.20            | 562.00      | 552.5       | 0.20               | 19.7      |
| Westerham . . . . .    | 18.6             | 560.20            | 557.67      | 549.0       | 2.53               | 11.2      |
| Unter-Haching . . . .  | 19.4             | 557.91            | 543.5       | 538.0       | 14.4               | 19.0      |
| Maxenhof . . . . .     | 20.2             | 554.08            | 540.5       | 533.5       | 13.5               | 20.5      |
| Unterbiberg . . . . .  | 21.8             | 546.57            | 536.80      | 527.5       | 9.77               | 19.0      |
| Perlach . . . . .      | 23.9             | 539.70            | 533.70      | 524.0       | 5.30               | 15.0      |
| Berg am Laim . . . .   | 26.9             | 526.31            | 524.10      | 517.0       | 2.2                | 9.3       |
| Daglfing . . . . .     | 30.5             | 515.84            | 514.68      | 504.0       | 1.16               | 11.4      |
| Föhringer-Bach . . . . | 33.7             | 507.90            | 507.50      | 496.0       | 0.40               | 11.4      |
| Hintermühl . . . . .   | 36.0             | 500.00            | 498.84      | 492.0       | 1.16               | 8.0       |

gewissen Tiefe zur Wahrnehmung gelangen. Wann sich aber an irgend einer Stelle die undurchlässige Schichte so weit ausdünn, dass sie gänzlich unter das Niveau des Grundwassers zu liegen kommt, wenn die Landoberfläche, sei es in Form eines Bergabfalles, eines Einschnittes oder selbst einer allmählichen Abdachung unter den Spiegel des Grundwassers herabsinkt, so wird dann letzteres als Quelle oder als oberflächliches Gerinne zu Tage treten. (Vgl. oben Seite 7.)

Für die Beziehungen des Grundwassers zur Oberfläche, seinen Abstand von dem Niveau des Bodens, sind neben der Configuration der undurchlässigen Schicht und neben der allerdings jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzten Wassermenge (vgl. Cap. 2), vor Allem die Mächtigkeit der überlagernden durchlässigen Schichte maßgebend, und diese hängt natürlich wieder von dem geologischen Aufbau des Bodens ab. In dem als erstes Beispiel gewählten einheitlichen Grundwassergebiete der bayerischen Hochebene spricht sich dies am deutlichsten aus. Die Anhäufungen von Glacialschotter erfahren eine von Süd nach Nord erfolgende Abnahme an Mächtigkeit, sodass der Abstand der

Oberfläche von der undurchlässigen Schichte von Süd nach Nord sich allmählich verringert und damit aber auch der Abstand des Grundwasserniveaus von dem Oberflächenniveau. Wohl fällt auch das Niveau der undurchlässigen Schichte, aber nicht in demselben Maße,

In dem Seite 5 geschilderten Gebiete <sup>1)</sup> ergaben die vor der bogenförmig abschließenden Endmoräne gelegenen Bohrungen bei gleicher Terrainhöhe (circa 600 *m*) über dem Meeresspiegel in der Richtung von Südost nach Nordwest die umstehend verzeichneten Abstände des Grundwassers von der Oberfläche. (S. 11.)

Bei Otterfing (vgl. Figur 2 Seite 10) sehen wir zunächst eine unterirdische, locale Wasserscheide und den Grundwasserstrom mit mehr als 20 *m* vom Terrain überlagert; noch mächtiger ist diese Überlagerung bei Sauerlach, wo sie eine Mächtigkeit von nahezu 40 *m* erreicht. Von da nimmt sie nach Norden hin ab, sie beträgt beim Bahnwärterhaus Nr. 19 der Tölzer Bahn nur noch 25 *m* und wird negativ am Ursprung des Hachingerbaches. Dieses Verhalten hält bis Unter-Haching an. Von da ab senkt sich der Grundwasserstrom, welcher daselbst gewissermaßen eine relative unterirdische Stromschnelle bildet, veranlasst durch ein plötzliches Fallen des Flnzes und beträgt am Fuße der Schnelle die Überlagerung circa 14 *m* zwischen Perlach und Berg am Laim (beim Ende des Hachinger Baches) nur noch 4 *m* und wird in der Gegend des Föhringer Baches wiederum nahezu 0. Eine Analogie bieten auch die Beziehungen des Grundwassers zur Oberfläche auf dem oben Seite 5 geschilderten Steinfelde bei Wiener-Neustadt. Die tiefste Linie der oben erwähnten Mulde, welche oberhalb Neunkirchen noch eine Donauhöhe von 188 *m*, in Neunkirchen 188 *m*, am Bahnhofe von Neunkirchen jedoch nur mehr 172 *m* zeigte, war unter der Station St. Egyden auf 160 *m*, also um circa 115 *m* gefallen, während sie auf der fast ebenso langen Strecke von hier bis zum neuen Wirthshause nur auf 111 *m*, d. h. nur um 4 *m*, von hier bis zum Neustädter Bahnhofe auf 98 *m* herabging. Die Gestalt der tiefsten Mulde war also etwa jene einer halben Parabel, während der Längsschnitt des Neunkirchener Schuttkegels eine geneigte aber gerade Linie darstellt, und so kommt es, dass diese Parabel einmal oberhalb Neunkirchen und ein zweitesmal unten bei Neustadt von der Oberfläche des Schuttkegels geschnitten wurde, oder mit anderen Worten, dass oberhalb und unterhalb des Schuttkegels das Grundwasser nahe an die Oberfläche trat, während gegen die Mitte sehr tiefe Brunnen vorhanden waren. <sup>2)</sup>

Besitzt schließlich die undurchlässige Schichte eine nur ganz geringe Neigung und wird sie gleichzeitig von einer ziemlich parallel verlaufenden durchlässigen Schicht von geringer Mächtigkeit überlagert, so decken sich Grundwasser und Oberflächenniveau fast und das Grundwasser tritt allenthalben zu Tage. Diese Umstände begünstigen die Bildung großer Moore.

Solche Wasseransammlungen auf dem wenig geneigten Flnze werden in unserem Beispiele der Gegend von München noch durch die meist enge Nachbarschaft der Flüsse begünstigt, indem dieselben mit nicht allzugroßem Gefälle über ihre durchlässigen Alluvionen hinwegfließend je nach dem Pegelstande einen Theil ihres Wassers durch-

<sup>1)</sup> A. Thiem: Die Wasserversorgung der Stadt München. Vorproject: Anhang I. zum II. Bericht der vom Stadtmagistrate niedergesetzten Commission für Wasserversorgung, Canalisation und Abfuhr.

<sup>2)</sup> Bericht über die Erhebungen der Wasserversorgungs-Commission. Wien 1864. S. 147 und Tafel, Blatt X.

sickern lassen; zugleich versperren die Gerölleablagerungen den zufließenden kleineren Gewässern die Einmündung in die größeren. Dieselben werden infolge dessen zurückgestaut und durchfeuchten umso stärker den Thalgrund, als sie häufig veranlasst sind, der Richtung des Hauptflusses eine Strecke weit zu folgen. Sie erscheinen also als ein in eine Thalsenke zurückgestautes Bodenwasser, das im Allgemeinen keine großen Schwankungen zeigt.

Nicht bloß dadurch, dass die durchlässige Schicht sich ausdünnert und schließlich eine geringere Mächtigkeit besitzt als der Grundwasserstrom, wird ein Zutagetreten des letzteren verursacht, sondern auch namentlich durch den entgegengesetzten Fall, dass nämlich das Grundwasser mehr und mehr anschwillt, und schließlich mächtiger wird als die durchlässige Schicht. Dies ereignet sich überall dort, wo eine durchlässige Schicht ringsum von impermeablen umgeben ist, sodass das sich ansammelnde Grundwasser keinen Abfluß findet, es sammelt sich dann zu einem unterirdischen See an, bis es schließlich den tiefsten Punkt der Landoberfläche erreicht und hier abfließen kann. Gemeinhin sind es Flussläufe, welche solche unterirdisch angesammelten Grundwassermassen anschneiden und sich zu deren Drainage entwickeln.

Führt eine Convergenz zwischen undurchlässiger Schichte und der Landoberfläche in der Richtung des Grundwasserstromes den letzteren zu Tage, so wird eine entsprechende Divergenz beider das Grundwasser zur Tiefe führen. Dort, wo eine impermeabele Schicht sich allmählich und ununterbrochen senkt, wird auch der Grundwasserstrom fortlaufend fallen, und es kann sich dabei ereignen, dass er sich allmählich unter undurchlässiges Material senkt, welches sich über dem durchlässigen, in dem er entstand, einstellt. Aus dem Grundwasserstrom wird ein Untergrundstrom, welcher zwar gleichfalls den hydrostatischen Gesetzen folgend, irgendwo zu Tage treten muss, wenn er nicht zu einem Untergrundsee aufgestaut wird, welcher aber bei seinem Wege durch die Tiefen mit Erdwärme in andere Berührung tritt als ein bloßer Grundwasserstrom, und daher andere thermale Eigenschaften als dieser annimmt.

Nicht alle Gesteinsarten jedoch gestatten eine gleichmäßige Durchsetzung und Durchtränkung mit Wasser. Vielfach veranlassen weitverzweigte Kluftsysteme, Spalten und Höhlen das Einsickern und rasche Abfließen des Wassers längs gewisser Linien, sodass es nicht zur Bildung einheitlicher unterirdischer Wasserschichten, sondern zur Entstehung von bestimmten, unregelmäßig verlaufenden, verzweigten Wasserkanälen kommt. Man könnte dieselben Quellgänge nennen, welche besonders gewisse Kalksteingebiete, Karst, Rauhe Alp, Schweizer Jura, Sevennen auszeichnen. Auch sie gehören, gleich dem Untergrundwasser, nicht in das Bereich dieser Untersuchungen.

## ZWEITES CAPITEL.

Die Beziehungen des Niederschlages und der atmosphärischen Feuchtigkeit zu den Grundwasserschwankungen.

1. Niederschlag als Ursache der Grundwasseransammlung. — Bilanz zwischen Niederschlag und Abfluss. — Verdunstung. — Verhältnis zwischen Niederschlag und atmosphärischer Verdunstung. — Verdunstung aus dem Boden. — Abnahme mit der Tiefe. — Eindringen des Niederschlages in den Boden. — Niederschlags-Intervalle von Prag und München. — Ungleichzeitigkeit der Niederschläge auf großen Gebieten; Verzögerung der Schwankungen mit der Tiefe. — Mangelnde Übereinstimmung zwischen Niederschlag, Grundwasser und Quellentheorie. — Lysimeterbeobachtungen. — 2. Grundwasserstand als Ausdruck der Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag und Verdunstung. — Berechnung der wirklichen Verdunstung. — Sättigungsdeficit, ein besserer Maßstab als die relative Feuchtigkeit. — Jährliche Vertheilung des Niederschlages in Mitteleuropa. — Jährlicher Gang des Sättigungsdeficit in Deutschland. — Zwei Typen der Jahresperiode der Grundwasserschwankungen. — Jahresperiode der Grundwasserschwankungen in München. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Grundwasser in Berlin. — Jahresperiode. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich zwischen München und Berlin. — Grundwasser in Salzburg. — Jahresperiode. — Zusammenhang mit Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich mit München. — Jahresperiode des Grundwassers in Innsbruck, Klagenfurt, Trient, Graz. — Grundwasser in Frankfurt a. M. Jahresperiode. — Grundwasser in Brünn, Jahresperiode. — Grundwasser in Bremen, Jahresperiode. — Vergleich zwischen Berlin, Frankfurt a. M., Bremen, Brünn mit Rücksicht auf Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit. — Vergleich der Jahresperiode der Grundwasserstände und Niederschläge von Prag, Krakau, Josephstadt, Baden, Agram; Debreczin, Szegedin, Czernowitz, Resumé.

Wir müssen die meteorischen Niederschläge für alle Wasseransammlungen im Boden, für die Quellen, wie für das Grundwasser und die Bäche und Flüsse verantwortlich machen.

Je nachdem der Erdboden oder die Gesteine mehr oder weniger durchlässig sind, dringt mehr oder weniger von dem Meteorwasser ein. Das bis zu gewissen Tiefen gelangte Wasser kommt entweder an tieferen Stellen der Erdoberfläche in Quellen wieder zum Vorschein, oder es setzt seinen unterirdischen Lauf bis zu benachbarten Flüssen, Seen oder Meeren fort.

Die Meteorwässer, Regen, Schnee, Thau u. s. w., das Wasser der Bäche, der Flüsse, der Seen und des Meeres, das schmelzende Eis der Gletscher, sind die Gewässer unserer Erde, aus denen die Quellen entstehen. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bischof: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 1863. Band I. Seite 224.

Es ist diese Anschauung nicht widerspruchlos geblieben und hat man sowohl mit Rücksicht auf die Menge des im Boden vorhandenen Wassers, als auch mit Rücksicht auf die Schwankungen desselben, vielfach Einwendungen erhoben und andere Vorgänge als Ursachen der Quell- und Grundwasserbildung hingestellt.

Was nun die relativen Mengenverhältnisse zwischen niederfallendem Regenwasser und abfließendem Quell-, Grund- und Flusswasser betrifft, so lassen sich dieselben an gewissen großen Entwässerungsgebieten bestimmen, und durch gegenseitigen Vergleich die Bilanz ziehen, die denn auch zu der Entscheidung geführt hat, dass die Niederschläge eines großen Entwässerungsgebietes über die aus demselben zum Abfluss gelangenden Wassermengen reichlich überwiegen; aber die Niederschlagsmengen allein sind nicht das Maßgebende für die Abflussmengen, sondern vielmehr das Verhältnis derselben zur Verdunstung.

Ein sehr günstiges Object für die Untersuchung dieser Frage bietet das Flussgebiet der Elbe bis zu dem Punkte, wo sie aus Böhmen austritt. <sup>1)</sup> Dieses Flussgebiet ist beinahe genau gleich dem Flächeninhalte des ein Viereck bildenden Landes, da die Wasserscheiden gegen das Donau- und Odergebiet, sowie gegen die unterhalb jenes Punktes befindlichen Zuflüsse der Elbe mit der politischen Grenze nahezu übereinstimmen.

Die Abflussmengen der Elbe in Tetschen waren nach den Messungen Harlacher's

|       |     |            |                       |
|-------|-----|------------|-----------------------|
| 1877, | 9.0 | Milliarden | <i>m</i> <sup>3</sup> |
| 1878, | 8.5 | »          | »                     |
| 1879, | 9.4 | »          | »                     |

Vertheilt man diese Quantitäten gleichmäßig über das 51.000  $\square km$  haltende Flussgebiet, so erhält man folgende Abflusshöhen

|      |      |     |           |
|------|------|-----|-----------|
| 1877 | rund | 175 | <i>mm</i> |
| 1878 | »    | 165 | »         |
| 1879 | »    | 185 | »         |

Diese Abflusshöhen mit den mittleren Niederschlagshöhen verglichen ergeben nun einen Abfluss in Procent der Niederschlagsmengen für

|       |    |         |
|-------|----|---------|
| 1877: | 28 | Procent |
| 1878: | 26 | »       |
| 1879: | 27 | »       |

oder wenn wir die nach den neuesten Untersuchungen als mittlere Niederschlagssumme gewonnene Zahl von 35.4 *cbkm* nehmen <sup>2)</sup> für

|       |    |         |
|-------|----|---------|
| 1877: | 26 | Procent |
| 1878: | 24 | »       |
| 1879: | 26 | »       |

Die Maas führte vom 13. November 1882 bis 13. November 1883 6,645.821,111 *cbkm* bei Lüttich vorbei, d. i. 37 Procent der Niederschläge des Einzugsgebietes. <sup>3)</sup> Berghaus berechnete die abfließenden Wasser-

<sup>1)</sup> A. R. Harlacher: Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers. Leipzig 1881.

<sup>2)</sup> F. Studnička: Grundzüge einer Hyetographie des Königreichs Böhmen. Prag, 1887.

<sup>3)</sup> Spring u. Prost. Ann. Soc. géol. de Belgique. XI. 1884, p. 123.

massen des Wesergebietes mit 52·9 Procent des Niederschlages, Wurfbein die des Lippegebietes mit 71·6 Procent, Waas die des Flüsschens Rehda mit 57 Procent<sup>1)</sup>, während nach den neueren Untersuchungen von Michaelis die Flüsse des Münsterlandes nur 39·4 Procent der Niederschlagsmenge enthalten.<sup>2)</sup> Murray<sup>3)</sup> hat schließlich durch planimetrische Ausmessung der Aereale der Loomis'schen Regenkarte von unter 10, 10—25, 25—50, 50—75 und über 75 engl. Zoll Regenhöhe die Wassermassen berechnet, welche auf die ganze Landfläche der Erde fallen und so jährlich von den Gewässern des Festlandes dem Ocean zugeführt werden.

In Gruppen nach der geographischen Breite geordnet, zusammengefasst, ergibt dies folgende Werthe.

| Gebiet   | Areal in<br>1000 □ km | Regenfall in<br>Kubikkilom. | Abfluss in<br>Kubikkilom. | Abflussfactor | Abfluss in %<br>des Niedersch. | Verdunstung<br>in mm | Regen in mm |
|--|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------|-------------|
| 50°—60° N. Rhein, Oder, Memel,<br>Weichsel . . . . .   | 480                   | 268                         | 92                        | 1:2.9         | 34.3                           | 365                  | 555         |
| 40—50 N. St. Lorenzstrom, Donau,<br>Po, Wolga, Seine, Rhone, Dniepr,<br>Loire, Dniestr . . . . . | 4750                  | 3537                        | 1104                      | 1:3.1         | 31.2                           | 510                  | 745         |
| 30—40 N. Yangse-Kiang, Hoangho,<br>Nil, Peiho . . . . .  | 6300                  | 6003                        | 748                       | 1:8.0         | 12.4                           | 835                  | 955         |
| 20—30 N. Mississipi, Riogrande,<br>Indus, Ganges . . . . .                                       | 6385                  | 6000                        | 865                       | 1:6.9         | 14.4                           | 805                  | 940         |
| 10—20 N. Magdalena, Irawadi,<br>Krishna, Godavery . . . . .                                      | 1325                  | 1893                        | 722                       | 1:2.6         | 30.8                           | 885                  | 1430        |
| 1° S. — 10° N. Orinoco, Amazonas,<br>San Francisco, Congo . . . . .                              | 11425                 | 20282                       | 4549                      | 1:4.5         | 22.4                           | 1375                 | 1775        |
| 20—40 S. Orange, Olifant, La Plata,<br>Uruguay . . . . .   | 3700                  | 4536                        | 1014                      | 1:4.5         | 22.3                           | 950                  | 1225        |
| Summe und Mittel . . . . .   | 34.365                | 42.519                      | 9094                      | 1:4.7         | 21.3                           | 965                  | 1240        |

Der Abflussfactor, das Verhältnis der abfließenden Wassermenge zu der als Regen gefallenen, ist also in höheren Breiten relativ hoch, erreicht in etwa 30° sein Minimum, um in den Tropen wieder zu wachsen; überall jedoch übersteigt die Größe der fallenden Regenmenge die des Abflusses um ein Bedeutendes (66 bis 86 Procent).

Auch Woeikof<sup>4)</sup> ist geneigt anzunehmen, dass ein Viertel des Niederschlages das Weltmeer erreicht, und dass die anderen drei Viertel aber vorher von der Oberfläche des Bodens, der Gewässer und der Pflanzen verdunsten und auch theilweise für die Wassercirculation verloren gehen.

Allein trotzdem, dass die Niederschläge über die Menge des abfließenden Wassers weit überwiegen, hat man doch mitunter die Niederschlagsmengen als unzureichend für die Speisung unserer Quellen Flüsse, unserer Wasserreservoirs im Boden angenommen, da man der

<sup>1)</sup> Nach Möllendorf: Die Regenverhältnisse Deutschlands. 1862.

<sup>2)</sup> Zeitschrift für das Bauwesen, 1883. Seite 57.

<sup>3)</sup> John Murray: On the total annual Rainfall of the Land of the Globe and the relation of Rainfall to the annual Discharge of Rivers. The Scott. Geogr. Mag. III. Nr. 28, 1887. Citat nach E. Brückner's Referat: Meteorolog. Zeitschrift 1887. Heft 7.

<sup>4)</sup> Woeikof: Die Klimate der Erde. 1887 I.

Verdunstung einen zu großen Antheil an dem Wasserverlust zugeschrieben hat. In der That wird durch die Verdunstung das Wasser wieder dampfförmig in die Luft geführt, der Boden ausgetrocknet, sie entzieht also dem Boden direct Wasser und lässt auch indirect durch Erhöhung der Wassercapacität des Bodens den Niederschlag nicht bis zu der Quellenansammlung gelangen.

Man hat sich eine Vorstellung zu machen versucht über die Größe des Wasserverlustes durch Verdunstung und hat zu diesem Zwecke die Angaben über Niederschläge und über Verdunstung mit einander verglichen, kam dabei aber mitunter zu ganz merkwürdigen Resultaten.

Stellt man nämlich der Regenmenge, ausgedrückt in *mm*, diejenige Wassermenge gegenüber, die auf unseren Verdunstungsmessern die jährlich zur Verdunstung gelangende Wassermenge anzeigt, so sieht man, dass vielfach viel mehr Wasser verdunstet, als durch Niederschläge zu Boden fällt.

Nachfolgende Tabelle (S. 18) enthält eine Zusammenstellung, die die Daten zweier klimatisch sehr differenter Gebiete umfasst; die Beobachtungen Stellings über den jährlichen Gang der Verdunstung in Russland, also zumeist Ortschaften mit stark ausgeprägtem continentalen Klima, und die den Übersichten Fischer's entnommenen Daten der Mittelmeerstationen, die zum Theile Seeklima aufweisen.

Außerdem sind noch die Daten einiger Orte Mitteleuropas Wien, Magdeburg und Straßburg des Vergleichs halber beigelegt.

Darnach würde die Größe der Verdunstung in manchen Gegenden (besonders in solchen mit stark continentalem Klima und höherer Jahrestemperatur, aber auch in einzelnen am Meere gelegenen Orten), die der fallenden Niederschläge weit übertreffen (bis um das 66fache — Cairo), und es müsste sich eine Trockenheit entwickeln, wie sie kaum der Wüste eigen ist.

Aber diese Zahlen haben als Verdunstungsgrößen keinerlei praktische Bedeutung, sie haben nicht einmal Giltigkeit für freie, größere Wasserflächen, da die Beobachtung an viel zu kleinen Verdunstungsflächen angestellt wird und würden ja nur dann anzuwenden sein, wenn aller Regen, alle Niederschläge auf dem Erdboden sich ansammeln würden, ohne zu versickern und ohne oberflächlich abzuffießen. Durch diese beiden Vorgänge wird jedoch der Vorgang der Verdunstung wesentlich modificiert.

Nach dem Aufhören des Niederschlages ist das Wasser bald in den Boden eingedrungen und so gewissermaßen abgeschlossen. Nun verdunstet allerdings, theoretisch betrachtet, von einer porösen Oberfläche, also auch vom porösen Boden wegen der größeren Oberfläche, die das auf dem Boden vertheilte Wasser der Verdunstung darbietet, mehr Wasser als von einer freien Wasserfläche. Dieses Verhältnis ändert sich aber sehr rasch, sobald eine Änderung im Wassergehalt, in der Feuchtigkeit des Bodens eintritt. Der Boden verdunstet nämlich, die Menge des verdunsteten Wassers auf die Oberfläche bezogen, umso geringere Mengen, je trockener er ist, je mehr er sich jenem Zustande nähert, in welchem er bereits selbst Wasser absorbiert.

Aus diesem Grunde muss die Verdunstung des Wassers aus dem Boden in dem Maße abnehmen, als der Boden oberflächlich austrocknet, sie verringert sich aber auch in hohem Maße, indem die Verdunstungsschicht infolge von Austrocknung oder Auflagerung tiefer in den Boden herabsinkt, da ja auch das untere Flüssigkeitsniveau, von dem aus der

| Ort  | N.-Breite | Ö.-Länge (G) | Höhe über dem Meere | Jahre der Beobachtung | Niederschlag in mm | Verdunstung in mm | Differenz in mm | Differenz in % des Niederschlages | Jahresmittel der Temper. |
|--|-----------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Santiago <sup>1)</sup> . . . . .           | 42.53     | 8.33 W       | 273                 | 15                    | 1720               | 706               | +1014           | + 59                              | 12.90                    |
| Now.-Alexandra <sup>2)</sup>               | 51.25     | 21.57        | 147                 | 3                     | 593                | 251               | + 342           | + 57                              | 8.3                      |
| Bilbao <sup>1)</sup> . . . . .             | 43.15     | 2.55 W       | 16                  | 8                     | 1181               | 912               | + 269           | + 22                              | 14.5                     |
| Oviedo <sup>1)</sup> . . . . .             | 43.23     | 5.48 W       | 225                 | 20                    | 938                | 681               | + 257           | + 27                              | 12.5                     |
| Petersburg <sup>3)</sup> . . . . .         | 59.56     | 30.16        | 5                   | 8                     | 511                | 302               | + 209           | + 41                              | 3.8                      |
| Udine <sup>1)</sup> . . . . .              | 46.4      | 13.13        | 116                 | 12                    | 1383               | 1376              | + 7             | + 0.5                             | 12.69                    |
| Magdeburg <sup>3)</sup> . . . . .          | 52.8      | 11.38        | 54                  | 1                     | 484                | 495               | - 11            | - 2.2                             | 8.79                     |
| Mondovi <sup>1)</sup> . . . . .            | 44.22     | 7.48         | 556                 | 10                    | 892                | 911               | - 19            | - 2                               | 10.99                    |
| Straßburg <sup>4)</sup> . . . . .          | 48.34     | 7.45         | 144                 | 75 (5)                | 678                | 719               | - 41            | - 6                               | 10.0                     |
| Nertschinsk <sup>2)</sup> . . . . .        | 51.19     | 119.37       | 660 (?)             | 3                     | 400                | 459               | - 59            | - 15                              | -2.8                     |
| Kischinew <sup>2)</sup> . . . . .          | 46.59     | 28.51        | 87 (96)             | 3                     | 551                | 627               | - 76            | - 13                              | 9.6                      |
| Wien <sup>5)</sup> . . . . .               | 48.13     | 16.22        | 194                 | 34                    | 595                | 711               | - 116           | - 19                              | 9.7                      |
| Elisawetgrad <sup>2)</sup> . . . . .       | 48.31     | 30.17        | 127 (?)             | 5                     | 457                | 693               | - 236           | - 57                              | 8.3                      |
| Peking <sup>2)</sup> . . . . .             | 39.57     | 116.29       | 38 (?)              | 5                     | 632                | 969               | - 337           | - 53                              | 11.8                     |
| Moncalieri <sup>1)</sup> . . . . .         | 45.-      | 7.41         | 260                 | 10                    | 748                | 1177              | - 429           | - 57                              | 12.1                     |
| Taschkent <sup>2)</sup> . . . . .          | 41.20     | 69.18        | 484 (?)             | 2                     | 314                | 781               | - 467           | - 149                             | 13.8                     |
| Astrachan <sup>2)</sup> . . . . .          | 46.21     | 48.2         | -21                 | 3                     | 155                | 744               | - 589           | - 380                             | 10.5                     |
| Guarda <sup>1)</sup> . . . . .             | 40.32     | 7.16 W       | 1039                | 9                     | 999                | 1660              | - 661           | - 66                              | 10.9                     |
| Akmolinsk <sup>2)</sup> . . . . .          | 51.12     | 71.23        | 306 (?)             | 4                     | 233                | 1035              | - 802           | - 344                             | 1.7                      |
| Lagos <sup>1)</sup> . . . . .              | 37.7      | 8.25 W       | 12                  | 7                     | 585                | 1485              | - 898           | - 153                             | 17.4                     |
| Palermo <sup>1)</sup> . . . . .            | 38.7      | 13.25        | 72                  | 61                    | 591                | 1497              | - 906           | - 153                             | 17.9                     |
| Livorno <sup>1)</sup> . . . . .            | 43.33     | 10.18        | 24                  | 12 (9)                | 826                | 1766              | - 940           | - 113                             | 15.4                     |
| Lissabon <sup>1)</sup> . . . . .           | 38.43     | 9.8 W        | 102                 | 20                    | 731                | 1774              | -1043           | - 142                             | 15.6                     |
| Pavia <sup>1)</sup> . . . . .              | 45.11     | 9.9          | 98                  | 10                    | 743                | 1800              | -1057           | - 142                             | 12.8                     |
| Chieti <sup>1)</sup> . . . . .             | 42.21     | 14.10        | 349                 | 5                     | 747                | 1964              | -1217           | - 162                             | 14.74                    |
| Alessandria <sup>1)</sup> . . . . .        | 44.54     | 8.37         | 98                  | 17 (7)                | 671                | 1895              | -1224           | - 182                             | 12.3                     |
| Madrid <sup>1)</sup> . . . . .             | 40.25     | 3.41 W       | 655                 | 20                    | 380                | 1607              | -1227           | - 355                             | 13.5                     |
| Campo major <sup>1)</sup> . . . . .        | 39.1      | 7.5 W        | 288                 | 9                     | 554                | 2209              | -1655           | - 298                             | 16.3                     |
| Murcia <sup>1)</sup> . . . . .             | 37.59     | 1.8 W        | 43                  | 11                    | 362                | 2111              | -1749           | - 483                             | 17.0                     |
| Rom <sup>1)</sup> . . . . .                | 41.54     | 12.29        | 50                  | 85                    | 800                | 2621              | -1821           | - 228                             | 15.3                     |
| Nukuss <sup>2)</sup> . . . . .             | 42 27     | 59.37        | 66                  | 4                     | 70                 | 1931              | -1861           | -2660                             | 11.9                     |
| Petro-Alexandrowsk <sup>2)</sup> . . . . . | 41.28     | 61.4         | 100                 | 4                     | 65                 | 2321              | -2256           | -3470                             | 13.0                     |
| Cairo <sup>1)</sup> . . . . .              | 29.59     | 31.18        | 29                  | 5                     | 34                 | 2296              | -2262           | -6653                             | 21.3                     |

capillar aufsteigende Ersatz erfolgt, sich erniedrigt. Eser zeigte, <sup>6)</sup> dass die Verdunstungsmenge je nach der Tiefe, in welcher die Verdunstung vor sich ging, bis um das Achtfache variieren konnte.

Bei gleichmäßig befeuchtetem Boden, der im Gefäße fest eingestampft und mit trockenem Boden in verschiedener Höhe bedeckt worden war, verdunstete:

<sup>1)</sup> Fischer: Klima der Mittelmeerländer. Petermann's Mittheilungen. Ergänzungsheft 58. Seite 49—57. 1881.

<sup>2)</sup> Stelling: Über den jährlichen Gang der Verdunstung in Russland. Repertorium für Meteorologie. VII. Heft 6, 1880.

<sup>3)</sup> Jahrbuch der meteorologischen Beobachtungen der Wetterwarte der Magdeburgischen Zeitung. Herausgegeben von Dr. R. Assmann. 1884.

<sup>4)</sup> Straßburg l. c.

<sup>5)</sup> Hann: Klimatische Elemente in: Wien's sanitäre Verhältnisse und Einrichtungen. Wien 1881.

<sup>6)</sup> C. Eser: Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Verdunstungsvermögen. Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. VII.

per 1000 □ cm Fläche in Grammen:

(die eingeklammerten Ziffern bedeuten den relativen Werth, bezogen auf das Minimum = 100).

| Material  | Versuchsdauer | unbedeckt  | bedeckt mit 2 cm hoher trockener Schicht | bedeckt mit 4 cm hoher trockener Schicht | bedeckt mit 6 cm hoher trockener Schicht | bedeckt mit 8 cm hoher trockener Schicht |
|-----------|---------------|------------|--|--|--|--|
| Quarzsand | 8 Tage        | 2097 (328) | 720 (285)                                | 527 (208)                                | 368 (145)                                | 253 (100)                                |
| Kalksand  | 7 Tage        | 2925 (613) | 1922 (403)                               | 1270 (266)                               | 736 (154)                                | 477 (100)                                |

Die Verdunstung des Wassers aus dem Boden nimmt also in dem Maße ab, als die Verdunstungsschicht infolge der Austrocknung der oberen Partien tiefer in den Boden herabsinkt, und zwar ist der Übergang zwischen dem unbedeckten Boden und dem bedeckten Boden ein ziemlich rapider, wie daraus ersichtlich ist, dass die Differenzen zwischen den ersten zwei Columnen (unbedeckt und nur 2 cm bedeckt,) selbst größer sein können als die gesammten Differenzen der anderen drei Columnen (2 bis 8 cm Bedeckung).

Es ist diese Thatsache für die Wasserökonomie des Bodens von großer Bedeutung; in trockenen Zeitperioden kann dadurch eine vollständige und selbst eine bedeutendere Austrocknung tieferer Bodenschichten hintangehalten werden, und so erklärt sich auch die Thatsache, dass selbst nach großer Dürre in manchen Gegenden schon in relativ geringer Tiefe wieder capillar gebundenes Wasser entgegentritt; da demnach auch die Tiefe, bis zu welcher der Niederschlag in den Boden eindringt, auf den Wassergehalt des Bodens und dessen geringere oder größere Constanz von Einfluss ist, so sind wir gezwungen, dem Niederschlag nicht bloß mit Rücksicht auf seine absolute Menge, sondern auch auf die Art und Weise und die Mächtigkeit seines Eindringens in den Boden eine größere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Vor Allem ist die Intensität des Niederschlages, das Verhältnis der Niederschlagsmenge zur Dauer desselben von Bedeutung. Je schneller unter sonst gleichen Bedingungen ein gleich großes Wasserquantum auf die Bodenoberfläche auffällt, desto weniger Zeit bleibt ihm, in den Boden selbst einzudringen, desto rascher fließt es auf dem gewöhnlich etwas geneigten Boden ab, um mit dem nächsten Wasserlauf abgeführt zu werden. (Deshalb schwellen auch nach ausgebreiteten heftigen Regengüssen von sehr kurzer Dauer unsere Flüsse viel stärker an, als nach schwachen, jedoch über viele Tage sich hinziehenden, wenn auch bei letzteren viel mehr Wasser auf die Bodenoberfläche gelangt.) Die Folge davon ist also, dass an und für sich weniger Wasser im Boden aufgespeichert wird, und dass auch das Wasser in den oberflächlichen, der Austrocknung sehr zugänglichen Schichten verbleibt und relativ rasch wieder verdunstet, während bei einem, wenn auch nicht sehr intensiven, aber lange anhaltenden Regen das Wasser allmählich immer tiefer in den Boden eindringt und so der Verdunstung mehr und mehr entrückt wird.

Dieser Theil des Niederschlages, der wegen allzu raschen oberflächlichen Abflusses, sowie wegen seines mangelnden Eindringens in den Boden der Bodenfeuchtigkeit weniger zugute kommt, ist kein unbedeutender; doch entzieht er sich gegenwärtig noch einer genaueren Berechnung. Es liegt dies daran, dass wir über die Dichtigkeit des Niederschlages mit Rücksicht auf die Zeitdauer des Niederschlages

keine zuverlässige Beobachtung haben. Lang<sup>1)</sup> macht auf diesen Mangel aufmerksam und führt auch den Grund hiefür an. Er bemerkt: wenn es auch einzelne so sorgfältige Beobachter gibt, dass sie Anfang und Ende eines Niederschlages aufzeichnen, so sind sie doch sicher nicht in der Lage, Bericht zu geben über die Dichtigkeit des Regen- oder Schneefalls während der von ihnen bezeichneten Zeitdauer der Niederschläge; nur registrierende Regenmesser könnten hier die gewünschten Aufschlüsse geben, doch in ihrer bisherigen Construction dürften sie zwar den hydrographischen Ansprüchen der Kenntnissnahme der größten Niederschlagsmenge genügen, sicher aber nicht jenen, welche die klimatologische Forschung an einen Regenmesser stellen muss, da sie wohl die ausgiebigeren Wassermengen mit genügender Sicherheit registrieren, nicht aber die geringen, in Bruchtheilen von Millimetern fallenden, welche gerade, wenigstens bei den Flachlandstationen, einen sehr großen Bruchtheil der überhaupt fallenden Mengen bilden. Eine mit Hilfe eines solchen Regenmessers in München durchgeführte Beobachtung ergab beispielsweise für das Jahr 1882, in welchem 982.6 mm Niederschläge auf 219 Tage vertheilt zur Erde gelangten, dass allein über 220 mm, also mehr als 22 Procent dieser Niederschläge in einer größeren Menge als 1 mm per Stunde, und über 110 mm oder mehr als 11 Procent mit einer größeren Menge als 2 mm per Stunde zur Erde gelangten;<sup>2)</sup> die Intensität steigerte sich bis zu 9 mm per Stunde und darüber.

So kann also die Niederschlagsmenge eine beträchtliche Höhe erreichen, ohne dass den unmittelbar oberhalb des Grundwassers befindlichen Bodenschichten etwas von dieser Feuchtigkeit zugute kommt, ohne dass das Grundwasser steigt.

Diese mangelnde Beeinflussung des Grundwasserstandes, respective der Feuchtigkeit der unmittelbar oberhalb desselben befindlichen Bodenschichten wird dann noch unterstützt durch die Beschaffenheit der Oberfläche des Bodens, durch ihre Configuration wie durch das Material, aus dem sie besteht; eine größere Neigung der Oberfläche, ein steiler Abfall, eine impermeable Deckschicht wird den raschen, ohne wesentliches Eindringen in den Boden erfolgenden Abfluss der Niederschläge begünstigen und so abermals bei oft mächtigen Niederschlägen keinen merklichen Zufluss zum Grundwasser zu Stande kommen lassen, wohl aber würde sich dieses schließlich in den oberflächlichen Wasserläufen, in den Flüssen wieder finden.

Wir sehen also, dass auch die verschiedenartigen Verhältnisse der Niederschläge von Einfluss sind und Berücksichtigung verlangen, dass dieselben Niederschlagsmengen verschiedene Wirkung auszuüben vermögen. Es wäre aber von Belang, nicht bloß die Intensität des Regens und die Zahl der regenlosen Tage in einem Jahre zu kennen, sondern auch die Größe der Regenintervalle, jener Zeitintervalle, die zwischen zwei Regengüssen verfließen. Je größer dieses Intervall und bei je höherer Temperatur es sich einstellt, desto stärker wird die Austrocknung der oberen Bodenschichten sein, und desto mehr Wasser wird bei einem eintretenden Regenfall wieder in den oberflächlichsten Bodenschichten zurückgehalten werden, welches dann bloß zur Sättigung der Wassercapacität dient und nicht zum Abfluss in das Grundwasser gelangt. Die-

<sup>1)</sup> Niederschlags-Maximum in Bayreuth und München. Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. VI. Jahrgang 1834.

<sup>2)</sup> Soyka: Experimentelles zur Theorie der Grundwasserschwankungen, Prager med. Wochenschrift 1885.

selben Gründe nun, die eine genauere Berechnung der Regenintensität bisher als unmöglich erscheinen ließen (vgl. oben), lassen uns auch keinen genauen Einblick in das relative Verhalten von Regen und Niederschlag und niederschlagfreien Zeit gewinnen. Wenn wir jedoch auch nur jene größeren Zeiträume berücksichtigen, welche sich ergeben, wenn wir die zwischen zwei Niederschlagsperioden verfließenden Tage summieren, so erhalten wir schon einige Anhaltspunkte über die alternative Befeuchtung und Austrocknung des Bodens. Als Vergleich seien hier die betreffenden Verhältnisse von München<sup>1)</sup> und Prag<sup>2)</sup> dargestellt, von zwei Städten, die sich allerdings auch mit Rücksicht auf die quantitativen Verhältnisse der Niederschläge recht verschieden verhalten.

## Regenintervalle in Prag und München.

| Dauer der Regeninterv. nach Tagen | München 1879—85 |       |      |       |     |      |      |      |       |      |      |      | Zahl d. Regenintervalle | Zahl d. regenlosen Tage | Procentantheil an der regenlosen Zeit |  |
|-----------------------------------|-----------------|-------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
|                                   | Jan.            | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |                         |                         |                                       |  |
| 1                                 | 12              | 16    | 15   | 12    | 15  | 22   | 12   | 15   | 12    | 20   | 8    | 8    | 167                     | 167                     | 15.3%                                 |  |
| 2                                 | 6               | 8     | 7    | 9     | 10  | 7    | 9    | 3    | 6     | 7    | 12   | 9    | 93                      | 186                     | 16.8                                  |  |
| 3                                 | 3               | 5     | 6    | 4     | 5   | 3    | 6    | 1    | 5     | 4    | 7    | 3    | 52                      | 156                     | 14.3                                  |  |
| 4                                 | 4               | 1     | 1    | 3     | 3   | 2    | 3    | 7    | 2     | 1    | 1    | 2    | 30                      | 120                     | 11.0                                  |  |
| 5                                 | —               | 2     | 2    | 2     | 1   | 1    | 2    | 1    | 1     | 2    | 1    | 1    | 16                      | 80                      | 7.3                                   |  |
| 6—10                              | 3               | 1     | 4    | 4     | 2   | 2    | 3    | 3    | 5     | 1    | 3    | 3    | 34                      | 230                     | 21.1                                  |  |
| 11—20                             | 4               | 3     | 1    | 1     | —   | —    | —    | —    | 1     | —    | —    | —    | 10                      | 147                     | 13.4                                  |  |
| über 20                           | —               | —     | —    | —     | —   | —    | —    | —    | —     | —    | —    | —    | —                       | —                       | —                                     |  |
| Summe                             | 32              | 36    | 36   | 35    | 36  | 37   | 35   | 30   | 32    | 35   | 32   | 26   | 402                     | 1086                    |                                       |  |
| Prag 1879—85                      |                 |       |      |       |     |      |      |      |       |      |      |      |                         |                         |                                       |  |
| 1                                 | 15              | 6     | 18   | 10    | 6   | 18   | 17   | 7    | 13    | 19   | 13   | 20   | 162                     | 162                     | 10.0%                                 |  |
| 2                                 | 1               | 4     | 5    | 7     | 10  | 10   | 11   | 10   | 8     | 9    | 2    | 4    | 81                      | 162                     | 10.0                                  |  |
| 3                                 | 4               | 2     | 5    | 6     | 6   | 2    | 4    | 7    | 4     | 5    | 3    | 3    | 51                      | 153                     | 9.5                                   |  |
| 4                                 | 1               | 4     | 4    | 2     | 2   | 5    | 10   | 7    | 4     | 2    | 2    | 4    | 47                      | 188                     | 11.7                                  |  |
| 5                                 | 4               | 2     | 2    | 3     | 2   | 6    | 4    | 3    | 3     | —    | 2    | 4    | 35                      | 175                     | 11.0                                  |  |
| 6—10                              | 4               | 5     | 6    | 11    | 9   | —    | 2    | 4    | 8     | 4    | 6    | 3    | 62                      | 460                     | 28.6                                  |  |
| 11—20                             | 2               | 3     | 1    | 1     | 1   | 2    | —    | —    | 2     | 2    | 2    | 2    | 18                      | 274                     | 17.0                                  |  |
| über 20                           | 1               | —     | —    | —     | —   | —    | —    | —    | —     | —    | —    | —    | 1                       | 35                      | 2.1                                   |  |
| Summe                             | 32              | 26    | 41   | 40    | 36  | 43   | 48   | 38   | 42    | 41   | 30   | 40   | 457                     | 1609                    |                                       |  |

In Prag fällt weit weniger Regen als in München, (in diesem siebenjährigen Durchschnitt betrug die jährliche Niederschlagsmenge in Prag 490 mm, in München dagegen 899 mm), und die Zahl der regenlosen Tage ist eine bedeutendere als in München, wenn auch die Differenz hier nicht so groß ist: 221 gegen 171. Das Plus für München beträgt hier nur 21 Procent, während der Regenüberschuss über 83 Procent beträgt.

Dagegen sehen wir in obenstehender Tabelle, dass bei den Regenintervallen in Prag die größeren Zeiträume vorwiegen. Während von

<sup>1)</sup> Nach: Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. Herausgegeben von Betzold und Lang.

<sup>2)</sup> Nach: Astronomische, magnetische und meteorologische Beobachtungen von der k. k. Sternwarte zu Prag. Herausgegeben von Weinek.

sämmtlichen regenlosen Tagen in München 46 Procent, also circa die Hälfte sich auf Intervalle von einem bis drei Tagen sich vertheilen, sind in Prag in diese Kategorie nur 29.5 Procent der sämmtlichen niederschlagsfreien Tage zu stellen; dabei ist auch aus der Tabelle ersichtlich, dass in Prag ein viel größerer Theil der längeren Regenpausen in die Herbstmonate fällt als in München. Der Boden erfährt infolge dessen also nicht bloß eine geringere Durchfeuchtung ob des geringeren Niederschlages, sondern er ist auch längeren Perioden von Trockenheit ausgesetzt, die auch noch in die warmen Jahreszeiten fallen, er wird also stärker austrocknen und mehr Wasser in den oberen Schichten zurückhalten.

Ferner ist auch noch in Erwägung zu ziehen, dass das Grundwasser in seinen Erscheinungsformen nicht von seiner Umgebung losgelöst werden darf; es repräsentiert, wie schon ausgeführt wurde, einen großen Strom, der sich unterirdisch ausbreitet, und auf welchen nicht bloß die localen meteorologischen Factoren, sondern die des gesammten Gebietes ihre Einwirkung äußern; wie gering nun oft die Übereinstimmung in dem Ablaufe der Erscheinungen ist, geht aus den Untersuchungen über die zeitliche und räumliche Vertheilung der Niederschlagshäufigkeit hervor.<sup>1)</sup>

Nachfolgende Tabelle gibt im fünfjährigen Durchschnitt 1879/83 die Zahl der Tage an, an denen in den einzelnen Monaten in Bayern und in seinen Theilen übereinstimmendes Wetter herrscht.

## B a y e r n.

| Monat | Pfalz   |               |                        | Norden  |               |                        | Süden   |               |                        | Osten   |               |                        | Ganz Bayern |               |                   |
|-------|---------|---------------|------------------------|---------|---------------|------------------------|---------|---------------|------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------|---------------|-------------------|
|       | trocken | Niederschläge | Tage gleichen Charakt. | trocken     | Niederschläge | Tage gl. Charakt. |
| Jan.  | 11.0    | 7.6           | 18.6                   | 9.0     | 4.4           | 13.4                   | 11.0    | 3.4           | 14.4                   | 14.0    | 8.2           | 22.2                   | 4.2         | 1.4           | 5.6               |
| Feb.  | 7.6     | 11.2          | 18.8                   | 6.0     | 5.6           | 11.6                   | 10.4    | 4.4           | 14.8                   | 11.4    | 11.2          | 22.6                   | 3.2         | 2.6           | 5.8               |
| Mz.   | 14.6    | 8.8           | 23.4                   | 8.6     | 5.8           | 14.4                   | 9.6     | 6.2           | 15.8                   | 13.6    | 9.2           | 22.8                   | 5.4         | 3.0           | 8.4               |
| Apr.  | 9.8     | 8.2           | 18.0                   | 6.0     | 3.4           | 9.4                    | 4.8     | 6.0           | 10.8                   | 12.2    | 9.4           | 21.6                   | 2.6         | 1.4           | 4.0               |
| Mai.  | 12.0    | 5.8           | 17.8                   | 5.2     | 2.6           | 7.8                    | 6.0     | 7.4           | 13.4                   | 11.2    | 9.2           | 20.4                   | 2.8         | 0.6           | 3.4               |
| Juni  | 5.6     | 11.2          | 15.8                   | 3.4     | 6.8           | 10.2                   | 3.8     | 10.2          | 14.0                   | 15.0    | 13.0          | 18.6                   | 0.8         | 3.8           | 4.6               |
| Juli  | 8.2     | 14.0          | 22.2                   | 5.2     | 8.4           | 13.6                   | 5.6     | 14.2          | 19.8                   | 8.6     | 15.8          | 24.4                   | 3.0         | 6.2           | 9.2               |
| Aug.  | 9.8     | 9.8           | 19.6                   | 5.2     | 6.2           | 11.4                   | 6.6     | 9.6           | 16.2                   | 10.4    | 13.2          | 23.6                   | 2.2         | 4.2           | 6.4               |
| Sep.  | 6.4     | 12.4          | 18.8                   | 4.0     | 5.8           | 9.8                    | 4.8     | 8.0           | 12.8                   | 8.6     | 9.8           | 18.4                   | 4.4         | 3.0           | 4.4               |
| Oct.  | 8.2     | 12.8          | 21.0                   | 3.2     | 8.0           | 11.2                   | 5.0     | 8.8           | 13.8                   | 5.8     | 13.4          | 19.2                   | 0.6         | 5.2           | 5.8               |
| Nov.  | 4.8     | 13.4          | 18.2                   | 2.6     | 9.6           | 12.2                   | 6.0     | 7.0           | 13.0                   | 6.6     | 13.4          | 20.0                   | 1.0         | 3.2           | 4.2               |
| Dec.  | 6.8     | 12.8          | 19.9                   | 4.6     | 7.6           | 12.2                   | 5.8     | 6.6           | 12.4                   | 8.0     | 13.0          | 21.0                   | 0.8         | 4.2           | 5.0               |
| Jahr  | 104.8   | 127.0         | 231.8                  | 63.0    | 74.2          | 137.2                  | 79.4    | 91.8          | 171.2                  | 116.0   | 138.8         | 254.8                  | 28.8        | 38.8          | 66.8              |

Je größer das Gebiet, desto weniger Übereinstimmung ist vorhanden, sodass in ganz Bayern innerhalb eines Jahres nur an 67 Tagen ein einheitlicher Charakter in der Witterung herrscht, doch ist die Übereinstimmung bezüglich der Tage mit Niederschläge insgesamt eine höhere als die bezüglich der trockenen Tage. Es können also Nieder-

<sup>1)</sup> Horn: Die zeitliche und räumliche Vertheilung der Niederschlagshäufigkeit in Bayern. Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreiche Bayern. VI. Jahrgang.

schläge aus entfernteren Gegenden das Grundwasser zur Anschwellung bringen, die eben wegen der mangelnden Übereinstimmung der Witterung an dem betreffenden Orte der Grundwasserbeobachtungen nicht constatirt wurden.

Endlich ist noch anzuführen, dass ganz analog, wie die Temperaturschwankungen im Boden durch die erschwerte Wärmeleitung des letzteren gegenüber den periodischen Schwankungen der Temperatur der Bodenoberfläche in größeren Tiefen stark verzögert und die Größe derselben abgeschwächt, ja in bestimmten Tiefen bis auf 0 reducirt werden, dies auch beim Grundwasser ob des behinderten Ablaufes erfolgen muss, und wir werden auch in einzelnen Fällen, wo ein gewisser Parallelismus zwischen Grundwasserstand und oberflächlichem Wasserlauf besteht, sehen, dass eine Verzögerung sowohl als auch eine Verringerung der Amplitude eintritt.

Es ist nun noch zu bedenken, dass diese Verhältnisse entsprechend den Jahreszeiten großen Schwankungen ausgesetzt sind, ja, dass eben der Wechsel der Jahreszeiten die Veranlassung zu großen Incongruenzen abgibt. Ein viel geringerer Niederschlag, der in der kalten Jahreszeit fällt, wo der Boden viel weniger ausgetrocknet ist als im Sommer, kann dem Bodenwasser viel stärker zugute kommen, als ein relativ viel größerer in der heißen Jahreszeit niederfallender. Alle diese hier hervorgehobenen Momente machen es nun erklärlich, warum ein Parallelismus zwischen Grundwasser und Niederschlag nach der zeitlichen Vertheilung derselben nicht vollständig zu sein braucht, und in der That sind auch die Angaben über solche mangelhafte Übereinstimmung in reichem Maße vorhanden, wenn ihnen auch andererseits (vgl. Cap. IV) eine bemerkenswerthe Übereinstimmung im allgemeinen Gange der Witterung und der Grundwasserschwankungen gegenübersteht.

In München stiegen zum Beispiel die jährlichen Regenmengen von 1857 bis 1860 und fielen 1861 nahezu wieder auf den Stand des Jahres 1858 zurück, das Grundwasser fiel aber bis zum Jahre 1857, blieb 1858 nahezu auf gleicher Höhe, stieg aber beträchtlich nicht bloß bis 1860, sondern bis 1861, wo es bedeutend höher stand als 1860, während die Niederschläge von 1860—61 sich umgekehrt verhielten.<sup>1)</sup> In Berlin, Bremen, Frankfurt a. M. erreichen die Niederschläge ihre größte Stärke in den Sommermonaten Juli-August, das Grundwasser hat dagegen seinen höchsten Stand im Frühjahr (April).

Woldrich<sup>2)</sup> findet nach neunjährigen Beobachtungen in Salzburg, dass die Bewegung des Grundwassers, sein Steigen und Fallen in gar keinem Verhältnisse steht zur Niederschlagshöhe, indem es bei gleichen Niederschlagsmengen einmal steigt, ein andermal fällt und selbst bei bedeutend zunehmenden Niederschlagsmengen constant fallen kann. Wir werden später sehen, dass diese Ausnahmen durchaus ihre natürliche Erklärung finden.

Dieser scheinbare Widerspruch hat zur Aufstellung der Volger'schen<sup>3)</sup> Hypothese über die Entstehung des Grundwassers geführt, welche als Ursache der Bildung von Quellen und somit auch von Grundwasser

<sup>1)</sup> Pettenkofer: Über die Schwankungen der Typhussterblichkeit in München von 1856—67. Zeitschrift für Biologie IV. — Buhl, ibidem I.

<sup>2)</sup> Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie. IV.

<sup>3)</sup> Buch der Erde. 1859. Bd. II., S. 11, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. XXI. 1877. Während des Druckes dieser Abhandlung erschien eine neueste Äußerung Volger's über seine Hypothese (Über eine neue Quellentheorie auf meteorologischer Basis). Meteorol. Zeitschrift. 1887. S. 386.

die innerhalb des Bodens erfolgende Condensation der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe hinstellt. Indem die mit Wasserdampf beladene atmosphärische Luft in den kühlen Boden tritt, werde ihre Temperatur daselbst erniedrigt, und müsse sie infolge dessen Wasser abgeben.

Das Unhaltbare dieser Theorie lässt sich aber aus verschiedenen Thatsachen herleiten: Aus dem Vergleiche der Temperaturen der atmosphärischen Luft einerseits und des Bodens andererseits besonders nach Jahreszeiten, wodurch sich gerade in den Wintermonaten der geringste Wassergehalt des Bodens ergeben müsste, während vielfach das Umgekehrte der Fall ist. Ferner aus einer quantitativen Betrachtung der Luftströmungen, die zur Bildung solcher ungeheurer Mengen Condensations-Wassers nöthig wären und für deren Existenz keinerlei Anhaltspunkte vorliegen (Wollny<sup>1)</sup>, endlich auch aus der Erwägung, dass bei so massenhafter Condensation im Boden die Erwärmung desselben eine so bedeutende werden müsste, dass dadurch die Differenz gegen die Temperatur der Atmosphäre aufgehoben oder gar ins Gegentheil umgekehrt werden müsste. (Hann.)<sup>2)</sup>

### Sickerwasser.

Die ursprünglichen Zahlenangaben lauten auf englische Zoll und wurden in Metermaß umgerechnet.

| Monat               | Regenfall<br>mm | Es flossen ab in einer Tiefe von |             |                |             |
|---------------------|-----------------|----------------------------------|-------------|----------------|-------------|
|                     |                 | 20'' = 0.508 m                   |             | 60'' = 1.534 m |             |
|                     |                 | absolut                          | % d. Regens | absolut        | % d. Regens |
| Januar . . . . .    | 71.1            | 50.8                             | 71          | 51.6           | 72          |
| Februar . . . . .   | 53.1            | 35.6                             | 67          | 35.1           | 65          |
| März . . . . .      | 40.4            | 13.7                             | 33          | 14.7           | 36          |
| April . . . . .     | 61.0            | 20.6                             | 34          | 21.6           | 36          |
| Mai . . . . .       | 56.4            | 10.7                             | 19          | 10.9           | 19          |
| Juni . . . . .      | 67.7            | 13.2                             | 19          | 12.2           | 18          |
| Juli . . . . .      | 83.3            | 22.6                             | 27          | 20.3           | 24          |
| August . . . . .    | 68.2            | 17.1                             | 25          | 15.6           | 23          |
| September . . . . . | 79.2            | 29.7                             | 37          | 23.6           | 30          |
| October . . . . .   | 80.2            | 43.0                             | 53          | 36.2           | 44          |
| November . . . . .  | 78.5            | 54.9                             | 69          | 50.8           | 60          |
| December . . . . .  | 56.2            | 44.7                             | 75          | 43.7           | 74          |
| Jahr . . . . .      | 795.5           | 356.9                            | 44          | 336.3          | 42          |

Man hat nun auch versucht, dieser Frage nach dem Zusammenhange zwischen Niederschlag und Grundwasser, d. h. zwischen Niederschlag und unterirdischen Abfluss auf experimentellem Wege durch sogenannte Lysimeter-Beobachtungen näher zu treten. Große Kästen wurden mit verschiedenen Bodenarten gefüllt, dem Einflusse der freien Atmosphäre ausgesetzt, und das aus diesen Kästen ablaufende Wasser dann regelmäßigen Messungen unterworfen. Diese Untersuchungen wurden hauptsächlich im Interesse der Landwirthschaft ausgeführt.<sup>3)</sup> Hier seien nur die innerhalb der Jahre 1870—80 in Rothamsted aus-

<sup>1)</sup> Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. II.

<sup>2)</sup> Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie. XV.

<sup>3)</sup> Eine vergleichende Zusammenstellung der bis zu den Jahren 1796—1860 in England und Deutschland angestellten Versuche gibt Möllendorff in den Regenverhältnissen Deutschlands. Görlitz 1862.

geführten Versuche <sup>1)</sup> angeführt. Die Lysimeter hatten eine Oberfläche von 4.047  $\square m$  und das Bodenmaterial in einer Höhe von 20, 40 und 60 englischen Zollen (= 0.51, 1.02 und 1.53  $m$ ) eingefüllt.

Wir sehen hier (S. 24), dass der Abfluss weder in seinen absoluten Mengen, noch in dem Procentverhältnisse mit den Niederschlagsmengen übereinstimmt; während die niederschlagsreichsten Monate Juli, October und September sind, stellt sich die größte Abflussmenge sowohl in absoluter Menge als auch im Procentverhältnisse zum gefallenem Niederschlage in den Monaten November, December, Januar (respective Februar) ein.

Eine größere Übereinstimmung herrscht bezüglich der Minima. Diese fallen in die Monate März, Februar, Mai, die absoluten und relativen Minima der Abflüsse in die Monate März, Mai, Juni, respective August.

Der Mangel an Übereinstimmung bei der höchsten Niederschlagsmenge erklärt sich aber sehr einfach aus den hohen Temperaturverhältnissen der Monate, in welche dieselben fallen, und der dadurch bedingten Verdunstung und nachhaltigen Austrocknung des Bodens.

Eine etwas größere Übereinstimmung zeigt sich jedoch, wenn wir dieses Verhältnis nach einzelnen Jahren verfolgen, wie in nachstehender Tabelle versucht wurde. (Die englischen Zolle wurden auf  $mm$  umgerechnet.)

| Jahr   | Sommer: April-September |              |              | Winter: October-März |              |              | Jahr: October-September |              |              |
|--------|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|
|        | Regenfall $mm$          | Sickerwasser |              | Regenfall $mm$       | Sickerwasser |              | Regenfall $mm$          | Sickerwasser |              |
|        |                         | absolut $mm$ | % des Regens |                      | absolut $mm$ | % des Regens |                         | absolut $mm$ | % des Regens |
| 1871   | 429.1                   | 104.1        | 25%          | 325.1                | 139.7        | 43%          | 744.2                   | 243.9        | 32%          |
| 72     | 358.1                   | 40.7         | 11           | 309.9                | 153.4        | 49           | 669.0                   | 195.6        | 28           |
| 73     | 294.7                   | 22.9         | 7.7          | 508.0                | 325.1        | 64           | 802.7                   | 350.5        | 43           |
| 74     | 332.7                   | 27.9         | 8            | 248.9                | 99.1         | 39           | 581.7                   | 127.0        | 21           |
| 75     | 442.0                   | 124.5        | 28           | 340.4                | 185.4        | 54           | 782.3                   | 309.9        | 40           |
| 76     | 378.5                   | 99.1         | 26           | 490.2                | 335.3        | 63           | 868.7                   | 434.3        | 50           |
| 77     | 365.8                   | 78.7         | 21           | 543.6                | 393.7        | 72           | 909.3                   | 475.0        | 52           |
| 78     | 475.0                   | 155.9        | 32           | 353.1                | 231.1        | 65           | 828.1                   | 386.1        | 46           |
| 79     | 398.8                   | 312.4        | 47           | 431.8                | 345.5        | 80           | 627.4                   | 657.9        | 60           |
| 80     | 434.3                   | 149.9        | 34           | 177.8                | 101.6        | 57           | 612.1                   | 231.1        | 37           |
| Mittel | 417.6                   | 111.3        | 27           | 373.4                | 231.1        | 61           | 787.4                   | 342.9        | 43           |

Hier zeigt sich besonders beim Jahres-Mittel und im Sommer, dass die absolute Menge des Niederschlages nicht bloß der absoluten Menge des abfließenden Wassers, sondern auch der relativen Menge entspricht. Der Grund hiefür ist wohl darin zu suchen, dass ein regenreicheres Jahr eine geringere Verdunstung gestattet, weil eben schon der Niederschlag der Luft stärker an Feuchtigkeit und weil außerdem mit demselben meist auch eine Temperaturs-Erniedrigung verbunden ist.

Alle diese Erwägungen führen uns dazu, zu erkennen, dass der jeweilige Stand des Grundwassers, soweit nur die klimatischen Factoren ihn beeinflussen, nichts ist als der Ausdruck der Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag und Verdunstung. Indem diese beiden in ununterbrochener Einwirkung sich befindenden Factoren nach direct entgegen-

<sup>1)</sup> J. B. Lawes, J. H. Gilbert und R. Warington. Journal of the Royal agric. Soc. of England XVII.

gesetzter Richtung den Gang der Grundwasserschwankung beeinflussen, kann nur durch eine gemeinsame Betrachtung dieser beiden Factoren, die Frage gelöst werden. Dann aber gelingt es auch, die Gesetze für die periodischen Schwankungen des Grundwassers festzustellen. Die Schwierigkeit besteht nur darin, die Verdunstungsgrößen zu bestimmen, da für dieselben, wie wir gesehen haben, nicht jene Größen als Maßstab genommen werden dürfen, welche bei der einfachen Verdunstung von einer Wasseroberfläche gewonnen werden. Auch Hann bemerkt in seiner Klimatologie <sup>1)</sup>, die Quantität der Niederschläge allein ist nicht entscheidend, sie muss im Verhältnisse zur Luftwärme und Luftfeuchtigkeit beurtheilt werden; zugleich kommt in Betracht, ob sich dieselben gleichmäßiger auf viele Tage vertheilt oder in wenigen Tagen als Gussregen wenig nützlich und oft schädlich plötzlich herabstürzt. <sup>2)</sup>

Wir können aber auf einem einfachen Wege für die aus dem Boden stattfindende Verdunstung einen Maßstab gewinnen, indem wir den jeweiligen Feuchtigkeitszustand der Luft in Betracht ziehen. Die Größe der Verdunstung aus dem Boden, wie von der Oberfläche wird sich in dem jeweiligen Feuchtigkeitsgrad der Luft aussprechen, und

<sup>1)</sup> H a n n, Klimatologie. Seite 485.

<sup>2)</sup> Man hat es auch unternommen, diese Verdunstung auf rechnerischem Wege zu bestimmen. Weilenmann (Berechnung der Größe der Verdunstung aus den meteorol. Factoren. Zeitssch. d. österr. Ges. für Meteorologie. XII.) entwickelt eine Formel für die Größe der Verdunstung, nach welcher die Verdunstungshöhe  $H$  theoretisch aus den übrigen meteorologischen Factoren berechnet wird. Dieselbe lautet:

$$h = \mu^1 \left( \Sigma \frac{m}{\alpha + \lambda} + \gamma \Sigma \frac{mw}{\alpha + \lambda} \right)$$

In dieser Formel sind  $\mu^1$  und  $\gamma$  Constanten und  $\lambda = \frac{Cb}{1000 r, 0.622}$  für denselben Ort.

d. h. für denselben mittleren Luftdruck  $b$  constant. Es bedeutet ferner  $C$  die specifische Wärme der Luft (0.2375),  $r$  die Verdampfungswärme bei gewöhnlicher Temperatur (rund 0.6),  $V$  die Windgeschwindigkeit,  $\alpha$  die Änderung der Sättigungsspannkraft für 1° C. (also aus der Spannkraftstabelle unmittelbar zu entnehmen),  $m$  das Sättigungsdeficit, nämlich die Zahl der Gramme Wasserdampf, die im Cubikmeter Luft zur Sättigung noch fehlen. Das Zeichen  $\Sigma$  bedeutet, dass man die Werthe  $m$ : ( $\alpha + \lambda$ ) und  $mw$ : ( $\alpha + \lambda$ ) für jede einzelne Tagesstunde berechnen kann, und zwar wenn die Verdunstungshöhe eines ganzen Monates bestimmt werden sollte, die erhaltenen Zahlen für den ganzen Monat addieren muss. Diese Formel berechnet jedoch wieder nur die Verdunstung von der freien Wasserfläche, und können wir aus den auf Seite 17 entwickelten Gründen dieselbe nicht in Betracht ziehen, Dagegen haben Lauterburg und Riggenbach (Zur wissenschaftlichen Lösung der Wasserfrage mit Rücksicht auf die Versorgung der Städte. Mittheil. der Berner naturforschenden Gesellschaft. 1882) eine Formel aufgestellt, welche die Verdunstung aus dem porösen Boden berechnet. Sie lautet;

$$V = H \frac{1 - p^n}{1 - p}$$

In derselben bedeutet  $V$  den Wasserverlust nach  $n$  Verdunstungstagen,  $H$  die am ersten Tage nach der Sättigung verdunstete Wasserschicht in  $mm$ ,  $n$  die Zahl der Beobachtungstage seit der Sättigung,  $p$  das je nach der Porosität der verdunsteten Masse von 70—38 heruntergehende Procent der täglichen Gewichtsabnahme im Vergleiche mit der vortägigen Abwägung. Hiebei gilt als Voraussetzung: 1) dass die Zeit, während welcher sich ein erlittener Wasserverlust durch den ganzen Körper hindurch ausgleicht, verschwindend klein sei im Vergleiche zur Zeit, während der diese Wassermenge von der Oberfläche verdunstet; 2) dass der Körper von seiner Umgebung keinerlei Wasserzufuhr erhalte; 3) dass der Wassergehalt der Umgebung constant sei; 4) dass der Wasserverlust in unendlich kleiner Zeit proportioniert sei dem augenblicklichen Überschuss des Wassergehaltes des feuchten Körpers.

wenn wir den genauen Ablauf dieser Erscheinung, die sich herausstellenden Schwankungen verfolgen können, können wir auch einen directen Rückschluss auf die aus dem Boden erfolgende Verdunstung machen. Allerdings fragt es sich, welchen Maßstab wir für diesen Zustand der Luft nehmen sollen.

Die Abschätzung der Luftfeuchtigkeit aus dem jeweiligen in derselben enthaltenen Wasserdampf, also aus der Tension der Luft, ist für diesen Zweck nicht zulässig. Dadurch, dass mit der steigenden Temperatur die Capacität der Luft für Wasserdampf zunimmt, können die Angaben der absoluten Feuchtigkeit für die Beurtheilung der Trockenheit der Luft, das heißt, ihrer Fähigkeit, noch Wasser aufzunehmen und die Verdunstung zu befördern, in keiner Weise verwerthet werden.

Auch die relative Feuchtigkeit, wie sie bisher berechnet wird, gibt keinen richtigen Maßstab für die Fähigkeit der Luft, doch Wasserdampf aufzunehmen. Die relative Feuchtigkeit gibt uns den jeweiligen Feuchtigkeitszustand der Luft in Procenten an, aber in Procenten der jeweilig vorhandenen Wassercapacität. Diese Wassercapacität ist aber entsprechend der Temperatur außerordentlich wechselnd, und deshalb können diese Procent-Zahlen der relativen Feuchtigkeit keinen übereinstimmenden Werth haben, sie müssen bei den verschiedenen Temperaturgraden einen ganz verschiedenen ziffermäßigen Ausdruck finden.

Ein viel richtigerer Maßstab dagegen für den jeweiligen Feuchtigkeitszustand der Luft ist das sogenannte Sättigungsdeficit<sup>1)</sup>, ein Ausdruck für diejenige Menge Wasserdampf, welche von einer Luft, entsprechend ihrem vorhandenen Feuchtigkeitsgrade und ihrer Temperatur nach aufgenommen werden kann.

Wir gelangen zur Feststellung des Sättigungsdeficits auf folgendem einfachen Wege: Bei einer bestimmten Temperatur kann die Luft eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Die Menge dieses aufgenommenen Wasserdampfes wird entweder durch sein Gewicht oder durch die Tension gemessen. Diese Spannung, Tension ( $P$ ), entspricht also demjenigen Wassergehalte, welchen die Luft bei einer entsprechenden Temperatur bei voller Sättigung mit Wasserdampf aufgenommen hat. In der Regel ist nun die Luft nicht völlig mit Wasserdampf gesättigt, sie enthält meist weniger, als sie bei der bestimmten Temperatur aufnehmen vermag, und dementsprechend ist auch die Spannung des Wasserdampfes, die Tension eine geringere. Bezeichnen wir diese nun mit  $p$ , so erhalten wir aus der Differenz  $P-p$  jene Menge Wasserdampf, welche bei dieser Temperatur und diesem Wassergehalt von der Luft noch aufgenommen werden könnte, also das sogenannte Sättigungsdeficit. Dieses Sättigungsdeficit ist nun wohl ein Index für die Verdunstungsvorgänge in der Natur, für die Trockenheit der Luft. Es stellt gewissermaßen die Resultierende dar aus allen meteorologischen Factoren, wie Temperatur, Niederschlag, Windbewegung; er ist ein Maßstab für die Intensität der Verdunstungsvorgänge und lässt uns diese Vorgänge jedenfalls viel deutlicher erkennen, als dies die relative Feuchtigkeit thut.

Wie wenig die relative Feuchtigkeit geeignet ist, uns einen richtigen Maßstab für die Verdunstung zu geben, kann eine kleine Rechnung lehren.

<sup>1)</sup> Flügg e: Hygienische Untersuchungsmethoden. Meyer: Meteorologische Zeitschrift 1885 und 1887. Deneke Zeitschrift für Hygiene 1886.

Denken wir uns Luft von verschiedener Temperatur aber stets von gleicher relativer Feuchtigkeit, so erhalten wir für die vorhandene Wassermenge und das daraus resultierende Sättigungsdeficit folgende Werthe.

|  |  | Absoluter Wassergehalt in <i>mm</i> |      |      |      |      |       |       |       |       |
|--|--|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatur d. Luft<br>Rel. Feuchtigkeit: |  | -10°                                | -5°  | 0°   | 5°   | 10°  | 15°   | 20°   | 25°   | 30°   |
| 100 %                                    |  | 2.10                                | 3.11 | 4.60 | 6.53 | 9.17 | 12.70 | 17.39 | 23.55 | 31.39 |
| 90 %                                     |  | 1.89                                | 2.79 | 4.14 | 5.88 | 8.25 | 11.43 | 12.05 | 21.19 | 28.25 |
| 70 %                                     |  | 1.47                                | 2.17 | 3.22 | 4.55 | 6.48 | 8.89  | 9.38  | 16.45 | 21.98 |
| 50 %                                     |  | 1.05                                | 1.55 | 2.30 | 3.26 | 4.58 | 6.35  | 6.69  | 11.77 | 15.69 |
| 30 %                                     |  | 0.63                                | 0.93 | 1.38 | 1.95 | 2.76 | 3.81  | 4.02  | 7.05  | 9.42  |
| 10 %                                     |  | 0.21                                | 0.31 | 0.46 | 0.65 | 0.92 | 1.27  | 1.34  | 2.35  | 3.14  |

|  |  | Sättigungsdeficit in <i>mm</i> |      |      |      |      |       |       |       |       |
|--|--|--------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatur d. Luft<br>Rel. Feuchtigkeit: |  | -10°                           | -5°  | 0°   | 5°   | 10°  | 15°   | 20°   | 25°   | 30°   |
| 100 %                                    |  | —                              | —    | —    | —    | —    | —     | —     | —     | —     |
| 90 %                                     |  | 0.21                           | 0.32 | 0.46 | 0.65 | 0.92 | 1.27  | 1.34  | 2.30  | 3.13  |
| 70 %                                     |  | 0.63                           | 0.94 | 1.38 | 1.98 | 2.69 | 3.81  | 4.01  | 7.10  | 9.41  |
| 50 %                                     |  | 1.05                           | 1.56 | 2.30 | 3.27 | 4.59 | 6.35  | 6.70  | 11.78 | 15.70 |
| 30 %                                     |  | 1.47                           | 2.18 | 3.22 | 4.58 | 6.41 | 8.89  | 9.37  | 16.50 | 21.97 |
| 10 %                                     |  | 1.89                           | 2.80 | 4.14 | 5.88 | 8.25 | 11.43 | 12.05 | 22.20 | 28.25 |

Wir sehen, dass bei gleichem Procentgehalt relativer Feuchtigkeit nicht bloß der Wassergehalt der Luft entsprechend der höheren Temperatur ein bedeutend höherer sein kann, (bei einer Temperaturdifferenz zwischen -10 und +30 Grad sogar mehr als der 15fache), sondern auch, dass in demselben Maße das Sättigungsdeficit variiert. Ein Ansteigen der Temperatur von 0 auf 30 Grad erhöht bei gleichbleibender relativer Feuchtigkeit das Sättigungsdeficit um das Sechs- bis Siebenfache; und umgekehrt hat zum Beispiel eine Luft von 25 Grad Celsius und 90 Procent relative Feuchtigkeit und eine solche von 0 Grad und nur 50 Procent relative Feuchtigkeit dasselbe Sättigungsdeficit (2.3 *mm*).

Während uns also das Sättigungsdeficit in seinen Zahlen bereits direct über den jeweiligen Zustand der Luft orientiert, bedürfte es bei den Zahlen der relativen Feuchtigkeit stets einer Umrechnung mit Rücksicht auf die Beobachtungs-Temperaturen, um einen richtigen Schluss zu erhalten.

Das Sättigungsdeficit bildet im Vereine mit dem Niederschlag jenen Factor, von dessen Schwankungen der jeweilige Grundwasserstand beeinflusst wird, und wir können gerade aus dem wechselseitigen Verhältnisse dieser beiden meteorologischen Momente die Gesetze für den zeitlichen Ablauf der Grundwasserschwankungen feststellen.

Wir werden in Bezug auf das Grundwasser im Allgemeinen einfache Verhältnisse haben und können für unsere Gegend, Mitteleuropa, zwei Typen feststellen, nach welchen der Ablauf der Erscheinungen, der Ablauf der Jahresschwankungen bei dem Grundwasser sich gestalten muss.

Wenn wir nämlich die Curve des Niederschlags verfolgen in ihrem zeitlichen Ablauf, in der Entfaltung ihrer sogenannten Jahresperiode, so finden wir, dass sie im Ganzen und Großen in Mitteleuropa insofern einen einheitlichen Charakter trägt, als ihre relativ größten Maxima, sowie die Minima eine große zeitliche Übereinstimmung zeigen. Nach Hann hat die Regenvertheilung in Mitteleuropa einen gemäßigt continentalen Charakter, der in einem einfachen gut ausgeprägten Sommer-Maximum der Niederschläge besteht.

Jährliche Regenvertheilung in Mitteleuropa nach Hann<sup>1)</sup>  
(in Procenten.)

| Monat           | NW.Deutschl.<br>ohne Küste | Mittel-<br>Deutschland | Süd-<br>Deutschland | Nordschweiz | Deutsche Ost-<br>seelände | Pos., Brandb.<br>schles. Ebene | Böhm., Mähr.,<br>Schl., W.-Gal. | Galiz. Bukow.<br>Siebenbürgen | Ungar. Ebene | Alpen, Österr.<br>Salzb. O.-Stm. | Nord-Tirol,<br>Vorarlberg | Südseite der<br>Tauern | Süd-Tirol | NW. Kärnten,<br>Krain |
|-----------------|----------------------------|------------------------|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| December . . .  | 9                          | 8                      | 7                   | 6           | 8                         | 7                              | 7                               | 6                             | 8            | 6                                | 7                         | 6                      | 6         | 8                     |
| Januar . . .    | 7                          | 6                      | 6                   | 5           | 6                         | 6                              | 5                               | 4                             | 6            | 5                                | 5                         | 4                      | 5         | 6                     |
| Februar . . .   | 7                          | 6                      | 6                   | 5           | 5                         | 6                              | 6                               | 5                             | 5            | 5                                | 4                         | 3                      | 3         | 5                     |
| März . . .      | 7                          | 7                      | 7                   | 7           | 6                         | 6                              | 7                               | 7                             | 7            | 7                                | 7                         | 5                      | 6         | 7                     |
| April . . .     | 7                          | 7                      | 7                   | 8           | 6                         | 7                              | 7                               | 7                             | 7            | 7                                | 8                         | 7                      | 8         | 7                     |
| Mai . . .       | 8                          | 9                      | 10                  | 10          | 8                         | 9                              | 10                              | 12                            | 11           | 10                               | 9                         | 10                     | 11        | 9                     |
| Juni . . .      | 10                         | 11                     | 11                  | 12          | 11                        | 12                             | 13                              | 15                            | 12           | 12                               | 12                        | 12                     | 10        | 9                     |
| Juli . . .      | 11                         | 12                     | 11                  | 11          | 13                        | 13                             | 12                              | 14                            | 11           | 13                               | 13                        | 12                     | 11        | 9                     |
| August . . .    | 10                         | 11                     | 11                  | 12          | 12                        | 12                             | 12                              | 11                            | 10           | 13                               | 12                        | 12                     | 11        | 9                     |
| September . . . | 8                          | 7                      | 8                   | 8           | 9                         | 8                              | 8                               | 7                             | 6            | 9                                | 9                         | 10                     | 9         | 10                    |
| October . . .   | 8                          | 8                      | 8                   | 9           | 8                         | 7                              | 6                               | 6                             | 8            | 6                                | 7                         | 10                     | 11        | 11                    |
| November . . .  | 8                          | 8                      | 8                   | 7           | 8                         | 7                              | 7                               | 6                             | 9            | 7                                | 7                         | 8                      | 9         | 10                    |

Mit Ausnahme von NW. Kärnten und Krain sehen wir in allen hier verzeichneten Gebieten ein Vorwiegen der Niederschläge in den Monaten Mai-August, mitunter auch noch im September.

Diese erhebliche Steigerung der relativen Niederschlagsmenge in den Sommermonaten müsste sich nun auch im Bodenwasser bemerkbar machen, und dies zu einer gesteigerten Ansammlung, und dementsprechend zu einem Steigen veranlassen. Aber dem wirkt eben die im Sommer gesteigerte Verdunstung entgegen. Nach den Berechnungen Mayer's<sup>2)</sup> gestaltet sich die Jahresperiode des Sättigungsdeficits in den einzelnen Monaten folgendermaßen:

Jährlicher Gang der Tages-Mittel des Sättigungsdeficitcs.

| Ort               | Jan. | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jahr | Ampl. |
|-------------------|------|-------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| Berlin . . . . .  | 0.7  | 1.1   | 1.9  | 3.1   | 4.9 | 6.0  | 6.4  | 4.8  | 4.0   | 1.8  | 1.2  | 0.7  | 3.0  | 5.7   |
| Posen . . . . .   | 0.6  | 0.8   | 1.4  | 2.4   | 4.0 | 4.9  | 5.4  | 3.9  | 3.4   | 1.5  | 0.8  | 0.5  | 2.5  | 4.9   |
| Breslau . . . . . | 0.7  | 1.0   | 1.7  | 2.8   | 3.9 | 5.0  | 5.9  | 4.4  | 3.8   | 2.0  | 1.2  | 0.7  | 2.7  | 5.2   |
| Cassel . . . . .  | 0.6  | 1.0   | 1.8  | 2.9   | 4.3 | 4.4  | 4.7  | 3.7  | 2.5   | 1.4  | 1.1  | 0.7  | 2.4  | 4.1   |
| Kiel . . . . .    | 0.3  | 0.4   | 0.7  | 1.6   | 2.7 | 3.0  | 2.7  | 2.0  | 1.3   | 0.9  | 0.5  | 0.3  | 1.4  | 2.7   |
| Hamburg . . . . . | 0.4  | 0.6   | 1.3  | 2.5   | 3.8 | 4.2  | 3.6  | 3.2  | 2.3   | 1.2  | 0.7  | 0.4  | 2.0  | 3.8   |
| Borkum . . . . .  | 0.5  | 0.4   | 0.8  | 1.4   | 1.8 | 2.3  | 2.7  | 2.4  | 1.4   | 1.1  | 0.8  | 0.4  | 1.4  | 2.3   |

<sup>1)</sup> Hann, Klimatologie. Seite 483.

<sup>2)</sup> Mayer: Meteorologische Zeitschrift. 1887.

Die Monate Mai bis August, dieselben, die als die regenreichsten anzusehen sind, sind nach dieser Tabelle doch wieder diejenigen, die die größte Gelegenheit zur Verdunstung geben; es bleibt sich dieses Verhältnis ziemlich constant, ob das Sättigungsdeficit ein großes oder geringes ist, da es hauptsächlich von der Temperaturperiode abhängig ist. Die Differenzen aber, die in der absoluten Höhe und in der Amplitude gelegen sind, lassen sich theils auf den großen Regenreichthum, theils auf die Einwirkung des Meeres zurückführen.

Wir sehen also, dass hier zwei Factoren einander entgegenarbeiten, die nun beide einen ziemlich gleichmäßigen Ablauf zeigen; würden die beiden einander die Wagschale halten, würde entsprechend der gesteigerten Verdunstung und Austrocknung im Sommer genau die entsprechend größere Regenmenge niederfallen, so müsste das Resultat dieser Erscheinung vollkommen im Gleichgewichte sein, d. h. das Grundwasser würde gar keine Schwankungen innerhalb des Jahres zu zeigen brauchen. Da dies aber nicht der Fall ist, so wird das Resultat dieser beiden Actionen schließlich zu Gunsten jenes Factors ausschlagen, welcher im Überwiegen ist. Es wird sich also um das wechselseitige Verhältnis der absoluten Regenmengen und der absoluten Verdunstungsgrößen handeln. Dort, wo sehr massenhafte Niederschläge im Sommer niederfallen und gleichzeitig ein niedriges Sättigungsdeficit sich einstellt, sei es wegen der durch die Niederschläge herabgesetzten Temperatur, sei es auch infolge dieser Niederschläge selbst, werden eben die Niederschläge dem Ablauf der Grundwasserschwankungen ihren Charakter aufprägen, dort hingegen, wo die Niederschläge absolut gering sind, dagegen ein höheres Sättigungsdeficit sich einstellt, da wird der Ablauf der Grundwasserschwankungen von diesen Factoren dominirend beeinflusst werden.

Wir hätten also zwei Typen in Bezug auf den Ablauf dieser Erscheinungen.

1. Hohe absolute Menge des Niederschlages und geringes Sättigungsdeficit, die Jahresschwankung des Grundwassers wird durch den Jahresverlauf des Niederschlages beherrscht.

2. Geringe absolute Menge des Niederschlages, hohes Sättigungsdeficit, die Jahresschwankung des Grundwassers folgt der des Sättigungsdeficit.

Wir können diese Behauptung an einigen Beispielen erhärten und zunächst als Repräsentanten des ersten Typus München wählen, eine Stadt, in welcher das Studium der Grundwasserfrage durch Pettenkofer bereits im Jahre 1856 begonnen wurde, und die ob ihrer höheren Lage (519 *m* über dem Meere) und ihrer Gebirgsnähe bereits zu den regenreichen gehört. Relativ mächtige Niederschläge über 800 *mm* <sup>1)</sup> im Jahre, mit einer mittleren Jahrestemperatur von 7.36 und entsprechend diesen beiden Factoren mit einem relativ niedrigen Sättigungsdeficit, 1.6 *mm*, bezeichnen den klimatischen Charakter dieser Stadt. Als Repräsentant des zweiten Typus sei Berlin gewählt, das mitten in der Ebene nur 30 *m* über dem Meere gelegen ist, mit einer jährlichen durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 594 *mm* in 166 Tagen, einer mittleren Jahrestemperatur von 9.1 Grad Celsius und einen Sättigungsdeficit von 3.0 *mm* (Mayer) <sup>2)</sup> resp. 2.7. (Soyka 1870/85.)

<sup>1)</sup> Nach Lang: 69jährige Beobachtungen. Beobachtungen der k. meteorologischen Anstalten in Bayern. IV. 1882.

<sup>2)</sup> Meteorologische Zeitschrift. 1887, S. 117.

Betrachten wir nun zuvörderst die Jahresperiode des Grundwassers. In München wurden von Pettenkofer, der durch das Studium der Cholera auf den Zusammenhang der letzteren mit gewissen Feuchtigkeits-Zuständen des Bodens geführt wurde, seit März 1856 systematische tägliche Grundwasserbeobachtungen angestellt, und zwar zunächst an einem Brunnen der Carlstraße, an deren Kreuzung mit der Dachauerstraße. Das Straßenniveau betrug hier 517.6 m über dem Pegel des adriatischen Meeres. Vom December 1868 wurden die Beobachtungen noch an einem zweiten Brunnen, dem des physiologischen Institutes, registriert und bis zum Juli 1875 mit ersteren verglichen; bei fast vollständigem Parallelismus beider dieser Brunnen wurde vom Juli 1875 der Brunnen des physiologischen Institutes allein gemessen. Die Meereshöhe der Bodenoberfläche betrug hier 521.28 m. Um das Niveau des Carlstraßenbrunnens mit dem des physiologischen Institutes auszugleichen, musste zu den Angaben des Carlstraßenbrunnens zu dem Abstände des Fixpunktes vom jeweiligen Grundwasserniveau ein Betrag von 1.715 addiert werden.

Innerhalb dieser 30 Jahre zeigten diese Brunnen folgende Schwankungen. Die Zahlen bedeuten den Abstand des Grundwasserniveaus von der Oberfläche, dem Fixpunkte in Metern. Bis zum Jahre 1868 gehören die Zahlen zum Carlstraßenbrunnen. Aus diesem Grunde sind in jeder dieser Periode Maxima und Minima bezeichnet. Die größte Monatsamplitude betrug 1.113 (1856/68), resp. 1.388 m.

Abstände des Grundwassers von der Oberfläche.

| Jahr   | Jan.  | Febr.        | März  | April        | Mai   | Juni         | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.         |
|--------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 1856   | —     | —            | 5.818 | 6.013        | 6.037 | 5.999        | 5.882 | 5.955 | 6.072 | 6.183 | 6.226 | —            |
| 1857   | 6.174 | 6.218        | 6.183 | 6.130        | 6.115 | 5.745        | 5.882 | 6.139 | 6.241 | 6.197 | 6.270 | 6.329        |
| 1858   | 6.372 | <b>6.445</b> | 6.387 | 6.042        | 6.037 | 6.086        | 6.101 | 5.993 | 6.057 | 6.072 | 5.955 | 5.901        |
| 1859   | 5.899 | 5.940        | 5.853 | 5.832        | 5.555 | 5.546        | 5.724 | 5.803 | 5.847 | 5.949 | 5.920 | 5.876        |
| 1860   | 5.876 | 5.730        | 5.584 | 5.634        | 5.750 | 5.672        | 5.657 | 5.569 | 5.584 | 5.473 | 5.561 | 5.686        |
| 1861   | 5.628 | 5.409        | 5.444 | 5.458        | 5.517 | 5.380        | 5.143 | 5.307 | 5.648 | 5.730 | 5.841 | 5.838        |
| 1862   | 5.847 | 5.584        | 5.569 | 5.648        | 5.686 | 5.689        | 2.736 | 5.692 | 5.730 | 5.800 | 5.882 | 5.949        |
| 1863   | 5.826 | 5.759        | 5.853 | 5.911        | 5.809 | 5.692        | 5.619 | 5.699 | 5.891 | 5.978 | 6.028 | 6.101        |
| 1864   | 6.147 | 6.139        | 6.042 | 5.920        | 5.818 | 5.599        | 5.309 | 5.365 | 5.555 | 5.721 | 5.832 | 5.920        |
| 1865   | 5.876 | 5.788        | 5.803 | 5.867        | 5.934 | 5.838        | 5.853 | 5.928 | 6.080 | 6.256 | 6.334 | 6.393        |
| 1866   | 6.364 | 6.291        | 6.188 | 5.969        | 5.911 | 5.847        | 5.794 | 5.648 | 5.648 | 5.718 | 5.847 | 5.803        |
| 1867   | 5.701 | 5.380        | 5.196 | <b>4.962</b> | 5.015 | 4.971        | 5.120 | 5.292 | 5.254 | 5.283 | 5.376 | 5.350        |
| 1868   | 5.263 | 5.212        | 5.263 | 5.336        | 5.374 | 5.234        | 5.365 | 5.404 | 5.569 | 5.709 | 5.800 | 5.733        |
| 1869   | 5.732 | 5.834        | 5.873 | 5.787        | 5.734 | 5.866        | 5.825 | 5.662 | 6.015 | 6.170 | 6.199 | 5.972        |
| 1870   | 5.876 | 5.974        | 5.928 | 5.812        | 5.963 | 6.085        | 6.190 | 6.118 | 6.116 | 6.229 | 6.091 | 5.977        |
| 1871   | 5.854 | 5.580        | 5.484 | 5.685        | 5.605 | 5.765        | 5.816 | 5.896 | 6.067 | 6.142 | 6.265 | <b>6.358</b> |
| 1872   | 6.288 | 6.200        | 6.009 | 6.172        | 6.119 | 5.702        | 5.729 | 5.590 | 6.068 | 6.223 | 6.276 | 6.289        |
| 1873   | 6.194 | 6.258        | 6.086 | 6.058        | 6.066 | 5.731        | 5.679 | 5.764 | 5.907 | 6.110 | 6.215 | 6.276        |
| 1874   | 6.326 | 6.334        | 6.246 | 6.165        | 5.716 | 5.663        | 5.898 | 6.047 | 6.176 | 6.301 | 6.339 | 6.340        |
| 1875   | 6.260 | 6.165        | 5.917 | 5.747        | 5.917 | 6.027        | 6.001 | 6.058 | 6.188 | 6.180 | 6.023 | 5.779        |
| 1876   | 5.579 | 5.667        | 5.086 | 5.010        | 4.998 | 5.227        | 5.215 | 5.424 | 5.568 | 5.682 | 5.819 | 5.837        |
| 1877   | 5.833 | 5.579        | 5.352 | 5.323        | 5.370 | 5.436        | 5.446 | 5.167 | 5.304 | 5.592 | 5.838 | 5.955        |
| 1878   | 5.549 | 5.320        | 5.346 | 5.265        | 5.236 | 5.285        | 5.468 | 5.571 | 5.502 | 5.499 | 5.738 | 5.898        |
| 1879   | 5.614 | 5.740        | 5.711 | 5.756        | 5.595 | 5.578        | 5.577 | 5.556 | 5.583 | 5.853 | 5.917 | 5.930        |
| 1880   | 5.738 | 5.923        | 5.880 | 5.802        | 5.723 | 5.586        | 5.427 | 5.287 | 5.328 | 5.459 | 5.077 | 5.168        |
| 1881   | 5.162 | 5.323        | 5.402 | 5.464        | 5.584 | <b>4.970</b> | 5.318 | 5.512 | 5.631 | 5.794 | 5.860 | 5.921        |
| 1882   | 5.569 | 6.047        | 6.132 | 6.184        | 6.168 | 6.104        | 6.074 | 5.899 | 5.963 | 5.904 | 5.982 | 5.184        |
| 1883   | 5.746 | 5.885        | 6.010 | 6.100        | 6.122 | 5.850        | 5.647 | 5.714 | 5.840 | 5.811 | 5.899 | 5.889        |
| 1884   | 5.855 | 5.982        | 6.143 | 6.028        | 6.115 | 6.588        | 6.147 | 6.098 | 6.241 | 6.270 | 6.208 | 6.329        |
| 1885   | 6.340 | 6.362        | 6.189 | 6.239        | 6.197 | 6.174        | 6.000 | 6.250 | 6.140 | 6.101 | 6.059 | 5.952        |
| Mittel | 5.878 | 5.863        | 5.798 | 5.779        | 5.759 | 5.698        | 5.688 | 5.713 | 5.827 | 5.913 | 5.956 | 5.928        |

Diese Zahlen bedeuten den Abstand von dem 521.28 m über dem Meere sich erhebenden Fixpunkte des Brunnens. Durch Subtraction von dieser Größe erhalten wir die Angaben für die Grundwasserschwankungen umgewandelt in Höhengoten über dem Meere. In nachfolgender Tabelle finden sich ferner: die Jahresperiode der Grundwasserschwankungen, die Jahresperiode des Niederschlages und die des Sättigungsdeficit. Die Jahresperiode des Niederschlags ist aus den »langjährigen Beobachtungen« Langs<sup>1)</sup> berechnet. Das Sättigungsdeficit ist hier, sowie bei allen folgenden Tabellen, auf dem einfachen Wege berechnet, dass für jeden einzelnen Monat die der mittleren Temperatur entsprechende höchste absolute Feuchtigkeit in Millimeter bestimmt und von derselben das Monatsmittel der beobachteten absoluten Feuchtigkeit subtrahiert wurde. Aus diesen, für jeden einzelnen Monat gewonnenen Differenzen wurde sodann das Mittel gezogen. Man erhält dadurch noch nicht vollkommen genaue Werthe, dazu müsste man für jede einzelne der drei Tagesbeobachtungen diese Manipulation wiederholen, allein für unseren Zweck, den Rhythmus und die Größe unter gewissen Extremen mit einander zu vergleichen, genügt schon diese Methode.<sup>2)</sup>

Jahresperiode von Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit in München 1850—85.

|                 | Grundw. in m<br>über dem adr.<br>Meere | red. auf das<br>Min. 515,324=0 | Niederschlag<br>mm | Sättigungs-<br>deficit mm |
|-----------------|--|--------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Januar . . .    | 515.402                                | 0.018                          | 35.0               | 0.18                      |
| Februar . . .   | .417                                   | .083                           | 29.1               | 0.42                      |
| März . . . .    | .482                                   | .158                           | 48.4               | 0.86                      |
| April . . . .   | .501                                   | .177                           | 55.5               | 1.84                      |
| Mai . . . . .   | .521                                   | .197                           | 77.8               | 2.43                      |
| Juni . . . . .  | .582                                   | .258                           | 112.1              | 3.11                      |
| Juli . . . . .  | .592                                   | .268                           | 111.8              | 3.54                      |
| August . . . .  | .567                                   | .243                           | 101.7              | 3.23                      |
| September . .   | .453                                   | .129                           | 71.7               | 2.06                      |
| October . . . . | .367                                   | .043                           | 54.4               | 0.94                      |
| November . . .  | .324                                   | .000                           | 50.5               | 0.41                      |
| December . . .  | .352                                   | .028                           | 45.8               | 0.22                      |
| Jahresmittel    | 515.463                                | 0.133                          | 66.1               | 1.60                      |
| Amplitude . .   | 0.268                                  | 0.268                          | 83.0               | 2.36                      |

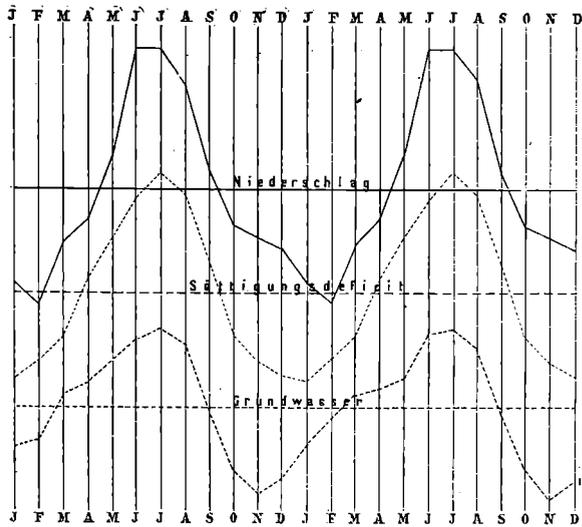
Zum graphischen Ausdruck dieser und der folgenden Jahresperiode wurde eine Darstellung in der Form eines Doppeljahres gewählt, indem das Durchschnittsjahr in unmittelbarer Folge zweimal hintereinander aufgetragen wird. Diese Darstellung hat den Vortheil, dass sie die Jahresperiode nicht willkürlich unterbricht. Sie lässt die Periodicität der Erscheinungen unabhängig von dem zufälligen Jahresanfang erkennen. Es kann dann eine jede beliebige nicht gerade mit dem Januar beginnende Jahresperiode herausgehoben werden, ohne dass dieselben gerade mit dem Schlusse des Jahres unterbrochen wird.

Die Jahresperiode des Grundwassers zeigt nun einen sehr deutlichen Rhythmus (Fig. 3). Wir haben ein scharf abgesetztes Maximum im Sommer, Mai-August, und ein entsprechend scharf ausgeprägtes Minimum,

<sup>1)</sup> Beobachtungen der k. meteorologischen Stationen in Bayern. IV. 1882.

<sup>2)</sup> Mayer: Meteorologische Zeitschrift. 1885, 1887. Deneke Zeitschrift für Hygiene I.

das in die Herbst- und Wintermonate October-Januar fällt. Wenn wir nun diese Periode mit der Periode des Niederschlages vergleichen, so sehen wir einen Parallelismus, der sich besonders in dem Eintritt der Maxima ausprägt. Die Maxima der Niederschläge fallen in dieselben Monate, wie die des Grundwassers. Dann folgt von August angefangen ein rascher Abfall, der beim Grundwasser jedoch früher sein Ende erreicht als beim Niederschlag. Das Grundwasser hat seinen tiefsten Stand im November erreicht. Der Niederschlag zeigt sein Minimum erst im Februar. Die Curve fällt vom November noch immer, wenn auch etwas langsamer. Die



(Fig. 3.) Doppeljahresperiode des Niederschlages, des Sättigungsdefizites und des Grundwassers zu München.

sich nun mit außerordentlicher Deutlichkeit aus dem wechselseitigen Verhalten des Niederschlages und Sättigungsdefizites. Das Sättigungsdefizit ist wohl in den Monaten Mai-August am höchsten, es kann aber keine direct den Grundwasserstand erniedrigende Wirkung äußern, einmal deshalb, weil um diese Zeit die Niederschläge zu mächtig sind und also den Verlust, den das Bodenwasser durch Verdunstung erleidet, reichlich compensieren, dann auch, weil sich die Wirkung des Sättigungsdefizites im Grundwasser verspätet äußern muss, entsprechend dem oben geschilderten Gange der Bodenverdunstung. Mit dem Ausfallen, der Verringerung der Niederschläge von September bis November kommt nun diese Wirkung der Verdunstung, vielleicht auch die des gesteigerten Abflusses infolge Austrocknung des das Grundwasser aufnehmenden Wasserlaufes (vergl. Cap. III) zur Geltung und das Grundwasser sinkt. Es sinkt so lange, bis das Sättigungsdefizit seine geringste Intensität erreicht. Nun kommt eine Reihe von Monaten, December-Februar, wo zwar der Niederschlag sein relatives Minimum erreicht, wo aber das Grundwasser wieder zu steigen beginnt. Eine Berücksichtigung des Sättigungsdefizites giebt hierüber vollkommene Aufklärung. In diesen drei Monaten December-Januar hat das Sättigungsdefizit seine geringste Intensität, es sinkt vielleicht auf 0, beträgt im Januar durchschnittlich nur 0.18 mm. Die Verdunstung aus dem Boden wird also fast vollständig aufgehoben, wozu jedenfalls eine eventuelle Schneedecke auch noch beitragen wird, und die Folge davon ist, dass die Niederschläge, die trotz ihres relativen Minimums absolut immer noch eine genügende Quantität repräsentieren, weder zur Verdunstung, noch zur Sättigung von ausgetrockneten Bodenschichten verbraucht werden, und so kann das Grundwasser trotz Abnahme des Niederschlages wieder ansteigen, weil eben das Sättigungsdefizit in diesen Monaten seinen tiefsten Stand erreicht.

Ganz anders ist der Ablauf dieser Erscheinungen in Berlin.

Die Grundwasserverhältnisse in Berlin bieten kein so einfaches Bild, wie sich dies auf der bayerischen Hochebene und in München darstellt. Berlin<sup>1)</sup> ist auf einem Theil jener weiten Niederung erbaut, welche, Holland aus bis tief in das baltisch-sarmatische von Russland sich erstreckend, den Norden von Europa von der Mitte des Continentes scheidet und in deren Zusammensetzung fast ausschließlich die beiden jüngsten Systeme, das Alluvium und das demselben unmittelbar vorhergehende Glacialdiluvium eingehen. Die beiden die Stadt einschließenden Hochflächen sind als diluviale Hochflächen zu bezeichnen, bestehend aus Lehm und bei 1.5—2 m Tiefe Geschiebemergel; unter diesem Geschiebemergel folgen Sande. Dieser Boden führt erst in größerer Tiefe das Grundwasser. Die Niederung, auf welcher das gesammte ältere Berlin steht, besteht aus Flugsanden und dem Thalsande. Auch tritt Diatomeenerde auf; Glieder des tertiären Systems kommen innerhalb Berlins und seiner nächsten Umgebung nirgends zu Tage, doch bildet ein mächtiges marines Thonlager die tiefere Unterlage der gesammten Berliner Gegend.

In dem Thalsande und in den oberen alluvialen Gebilden nun fließt der Grundwasserstrom dem Flusse zu, und es ersetzen wohl die für die Wasserströmungen doch etwas schwerer durchgängigen und wohl zum Theil auch undurchgängigen Schichten des unteren Diluviums die wasserundurchlässige Schichte.

Die Jahresperiode für das Grundwasser in Berlin wurde aus den 16jährigen Beobachtungen gewonnen, die an 37 Brunnen in Berlin an gestellt wurden, und entsprechend diesem Zeitraume ist dann auch die Jahresperiode des Niederschlages und des Sättigungsdeficits festgestellt worden.<sup>2)</sup> (Fig. 4).

#### Jahresperiode des Grundwassers, des Niederschlages und des Sättigungsdeficits in Berlin 1870—85.

|                  | Grundw. in m<br>über d. Meere | red. auf das<br>Min. 32.38=0 | Niederschlag<br>mm | Sättigungs-<br>deficit mm <sup>3)</sup> |
|------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|---|
| Januar . . . .   | 32.72                         | 0.34                         | 40.3               | 0.71                                    |
| Februar . . . .  | 32.79                         | 0.41                         | 34.8               | 0.91                                    |
| März . . . . .   | 32.88                         | 0.50                         | 46.6               | 1.55                                    |
| April . . . . .  | <b>32.96</b>                  | 0.58                         | <b>32.1</b>        | 2.73                                    |
| Mai . . . . .    | 32.88                         | 0.50                         | 39.8               | 3.95                                    |
| Juni . . . . .   | 32.69                         | 0.31                         | 62.2               | 5.13                                    |
| Juli . . . . .   | 32.56                         | 0.18                         | <b>66.2</b>        | <b>5.64</b>                             |
| August . . . . . | 32.45                         | 0.07                         | 60.2               | 4.83                                    |
| September . . .  | 32.40                         | 0.02                         | 40.8               | 3.77                                    |
| October . . . .  | <b>32.38</b>                  | 0.00                         | 57.5               | 1.72                                    |
| November . . .   | 32.47                         | 0.09                         | 44.5               | 1.01                                    |
| December . . .   | 32.50                         | 0.12                         | 46.2               | <b>0.59</b>                             |
| Jahresmittel . . | 32.64                         | 0.26                         | 47.6               | 2.71                                    |
| Amplitude . . .  | 0.58                          | 0.58                         | 33.1               | 5.05                                    |

<sup>1)</sup> Lossen: Der Boden von Berlin und: Der Boden Berlins mit seiner Umgebung in der Festschrift zur 59. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte 1886.

<sup>2)</sup> Die betreffenden meteorologischen Angaben für die einzelnen Monate, aus denen dann die Mittel berechnet werden, sind den »Statistischen Jahrbüchern der Stadt Berlin« und der »Preußischen Statistik« entnommen.

<sup>3)</sup> Es weicht diese Jahresperiode von der auf Seite 29 nach M a y e r gegebenen in den absoluten Werthen etwas ab, was sich aus der verschiedenartigen Berechnung und auch den verschiedenen Beobachtungszeitraum erklärt. Doch sind die Abweichungen so gering, dass die Jahresperiode in ihrem Charakter durchaus nicht verändert erscheint.

Nach dieser Tabelle oder der graphischen Darstellung (Fig. 4) scheint nun vollständig jeder Zusammenhang zwischen Niederschlag und Grundwasser zu fehlen. Der höchste Grundwasserstand fällt in die Monate März-Mai in jene Zeit, in welcher der Niederschlag sein Minimum erreicht, und der tiefste Grundwasserstand im October coincidirt mit dem zweiten Niederschlagsmaximum; das

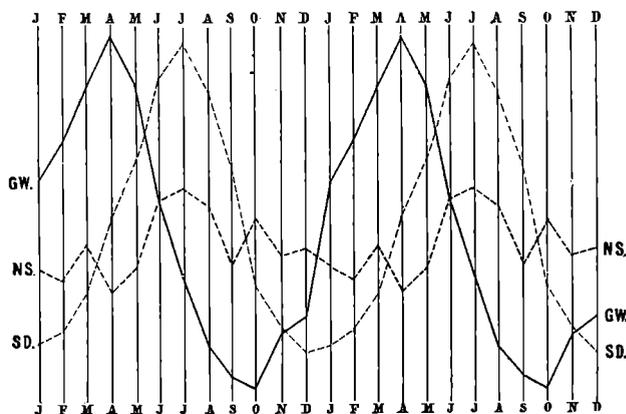
Niederschlagsmaximum selbst, das so wie in München in die Sommermonate Juni-August fällt, ist nicht im Stande, das in diesen Monaten rapid erfolgende Absinken des Grundwassers zu verhindern.

Vergleichen wir dagegen die Curve des Grundwassers mit der

des Sättigungsdeficit, abermals unter Beachtung, dass die Vorgänge der Verdunstung sich verspätet im Boden äußern müssen, so sehen wir eine außerordentliche Übereinstimmung. Mit einer gewissen Verschiebung repräsentiert die Curve des Grundwassers genau die umgekehrte Curve des Sättigungsdeficit. Dem größten Sättigungsdeficit, das in die Monate Mai-August fällt, folgt mit zweimonatlicher Verspätung das tiefste Absinken des Grundwassers in den Monaten Juli bis December, und dem niedrigsten Sättigungsdeficit der Monate November-Februar folgt ebenfalls mit ein- bis zweimonatlicher Verspätung der höchste Grundwasserstand der Monate Januar bis Mai.

Wie sehr gerade diese Wechselbeziehungen zwischen Niederschlag und Sättigungsdeficit je nach Vorwiegen des einen oder des anderen Factors sich geltend machen, geht auch noch aus dem Vergleiche der einzelnen klimatischen Elemente von Berlin und München hervor. (Fig. 5)

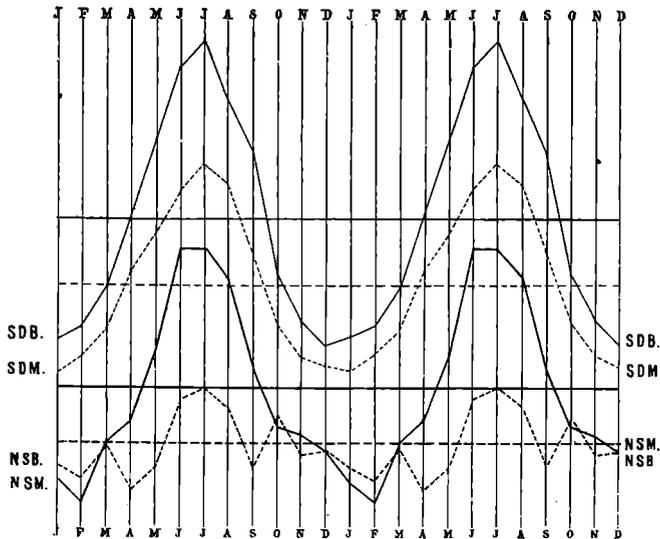
Der Niederschlag von Berlin ist bedeutend (um circa 30 Procent) geringer als der in München; er zeigt aber auch keinen so ausgesprochenen Rhythmus; der Gegensatz zwischen Regenperiode und Trockenperiode, die Amplitude seiner Schwankung ist viel geringer als in München. Schon deshalb kann der Einfluss auf das Grundwasser sich nicht so scharf ausprägen, dagegen ist das Sättigungsdeficit in Berlin ein höheres als das in München. Die Luft in Berlin ist viel trockener als in München, sowohl im Durchschnitt als auch in den einzelnen Monaten. Das Sättigungsdeficit in Berlin erniedrigt sich auch im Winter nie so tief wie in München. Sein Minimum im December beträgt noch 0.59, während das Minimum in München im December nur 0.18 beträgt. Auch Lossen<sup>1)</sup> gelangt bei seinen Untersuchungen der Grundwasserhältnisse Berlins zu dem Resultate, dass das eingesickerte Wasser im Sommer und Herbst zum größten Theile der Verdunstung anheim fällt.



(Fig. 4). Doppeljahresperiode des Grundwassers (GW), des Niederschlages (NS) und des Sättigungsdeficit (SD) in Berlin.

<sup>1)</sup> Der Boden der Stadt Berlin 1879 in Reinigung und Entwässerung Berlins.

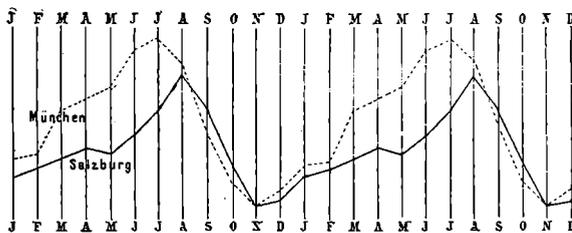
Gerade aber wegen dieses Überwiegens des Sättigungsdeficitcs und wegen der Geringfügigkeit und der weniger typischen Vertheilung des Niederschlages machen sich diese Extreme auch in den Grundwasser-



(Fig. 5.) Doppeljahresperiode des Sättigungsdeficitcs in Berlin (SDB.) und München (SDM.) des Niederschlages zu Berlin (NSB.) und zu München (NSM.)

schwankungen viel stärker geltend, und die Folge ist, dass die Amplitude des Grundwassers eine viel höhere ist als in München.  $0.580m$  in Berlin und nur  $0.268m$  (also kaum halb so groß) in München; doch hat hierauf das Verhältnis zum Flusse jedenfalls einen großen Einfluss.

Es lässt sich nun an einigen Beispielen, welche auf mehrjährigen Beobachtungen beruhen, erweisen, dass diese Verhältnisse allgemeinere



(Fig. 6.) Doppeljahresperiode des Grundwassers zu München und Salzburg.

Giltigkeit besitzen. Ich wähle unter der Zahl der Orte, wo solche Grundwassermessungen angestellt wurden, zunächst einen Repräsentanten des ersten an dem Beispielen Münchens vorgeführten Typus. Es ist dies die benachbarte Stadt Salzburg.

Bei der großen Analogie, die in der ehemaligen Vergletscherung des Salzachgebietes mit dem des Isargebietes herrscht, ist es nahelegend, dass sich die bei der Münchner Hochebene geschilderten unterirdischen Wasserverhältnisse ziemlich gleichmäßig wiederholen, sodass von einer detaillierten Darlegung dieser Verhältnisse Umgang genommen werden kann. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Penck: Vergletscherung der deutschen Alpen, Leipzig, 1882. E. Brückner, Vergletscherung des Salzachgebietes 1886. Geographische Abhandlungen. I. 1.

Nachfolgend sind die klimatologischen Factoren Salzburgs<sup>1)</sup> und Münchens<sup>2)</sup> zusammengestellt.

|          | Länge östlich<br>von Greenw. | Breite  | Seehöhe in <i>m</i> | Mittl. Jahres-<br>temperatur | Luftdruck in<br><i>mm</i> | Dunstdruck<br>in <i>mm</i> | Sättigungs-<br>deficit in <i>mm</i> | Regenmenge<br>in <i>mm</i> | Tage<br>mit Nieder-<br>schlägen |
|----------|------------------------------|---------|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Salzburg | 13° 2'                       | 47° 48' | 430                 | 7.9                          | 723.8                     | 7.0                        | 1.89                                | 1160                       | 157                             |
| München  | 11° 34'                      | 48° 9'  | 528.5               | 7.36                         | 715.8                     | 6.99                       | 1.60                                | 805                        | 171                             |

Wie dieser Vergleich lehrt, sind die klimatischen Verhältnisse von Salzburg denen Münchens sehr analog. Beide Städte liegen ziemlich hoch über dem Meere, ihre mittlere Jahrestemperatur ist fast gleich, ebenso der Dunstdruck, doch ist Salzburg noch viel regenreicher, die Regenmenge beträgt ungefähr um 50 Procent mehr als in München.

### Schwankungen des Grundwassers im Römerbrunnen in Salzburg.

(Abstände des Grundwassers von der Oberfläche.)

|        | Jan.  | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1860   | 4.81  | 4.77  | 4.76  | 4.78  | 4.79  | 4.78  | 4.66  | 4.50  | 4.56  | 4.68  | 4.87  | 4.91  |
| 1861   | 4.76  | 4.58  | 4.66  | 4.81  | 4.74  | 4.28  | 4.59  | 4.82  | 4.92  | 5.04  | 5.18  | 5.26  |
| 1862   | 4.85  | 4.48  | 4.66  | 4.71  | 4.75  | 4.56  | 4.57  | 4.40  | 4.66  | 4.83  | 4.91  | 4.84  |
| 1863   | 4.74  | 4.83  | 4.90  | 4.75  | 4.65  | 4.53  | 4.46  | 4.70  | 4.71  | 4.81  | 4.87  | 4.68  |
| 1864   | 4.77  | 4.72  | 4.62  | 4.68  | 4.70  | 4.55  | 4.32  | 4.33  | 4.57  | 4.72  | 4.68  | 4.81  |
| 1865   | 4.88  | 4.79  | 4.83  | 4.84  | 4.91  | 4.90  | 4.84  | 4.48  | 4.69  | 4.87  | 4.95  | 4.94  |
| 1866   | 4.99  | 4.72  | 4.61  | 4.60  | 4.81  | 4.82  | 4.60  | 4.22  | 4.50  | 4.76  | 4.77  | 4.63  |
| 1867   | 4.75  | 4.58  | 4.56  | 4.46  | 4.56  | 4.60  | 4.76  | 4.80  | 4.79  | 4.67  | 4.85  | 4.59  |
| 1868   | 4.63  | 4.67  | 4.67  | 4.56  | 4.73  | 4.82  | 4.86  | 4.80  | 4.90  | 5.00  | 5.16  | 4.86  |
| 1869   | 4.755 | 4.780 | 4.845 | 4.765 | 4.590 | 4.645 | 4.535 | 4.470 | 4.570 | 4.745 | 4.730 | 4.505 |
| 1870   | 4.515 | 4.615 | 4.750 | 4.560 | 4.720 | 4.790 | 4.905 | 4.935 | 4.640 | 4.565 | 4.455 | 4.635 |
| 1871   | 4.620 | 4.740 | 4.610 | 4.590 | 4.375 | 4.525 | 4.610 | 4.545 | 4.580 | 4.770 | 4.920 | 5.040 |
| 1872   | 5.020 | 5.050 | 4.910 | 4.815 | 4.815 | 4.805 | 4.550 | 4.515 | 4.615 | 4.655 | 4.835 | 4.920 |
| 1873   | 4.770 | 4.915 | 4.820 | 4.750 | 4.480 | 4.405 | 4.510 | 4.700 | 4.780 | 4.710 | 4.850 | 4.980 |
| 1874   | 4.840 | 4.885 | 4.835 | 4.660 | 4.720 | 4.600 | 4.760 | 4.755 | 4.650 | 4.775 | 4.930 | 4.955 |
| 1875   | 4.780 | 4.580 | 4.610 | 4.505 | 4.635 | 4.770 | 4.735 | 4.435 | 4.600 | 4.635 | 4.660 | 4.660 |
| 1876   | 4.700 | 4.765 | 4.320 | 4.450 | 4.555 | 4.600 | 4.535 | 4.640 | 4.655 | 4.640 | 4.770 | 4.640 |
| 1877   | 4.695 | 4.540 | 4.475 | 4.535 | 4.420 | 4.550 | 4.610 | 4.450 | 4.440 | 4.510 | 4.750 | 4.825 |
| 1878   | 4.695 | 4.370 | 4.425 | 4.390 | 4.605 | 4.475 | 4.570 | 4.415 | 4.400 | 4.380 | 4.655 | 4.600 |
| 1879   | 4.685 | 4.740 | 4.760 | 4.705 | 4.725 | 4.625 | 4.575 | 4.500 | 4.460 | 4.745 | 4.755 | 4.700 |
| 1880   | 4.625 | 4.715 | 4.595 | 4.665 | 4.625 | 4.595 | 4.425 | 4.395 | 4.375 | 4.570 | 4.495 | 4.525 |
| 1881   | 4.470 | 4.635 | 4.625 | 4.645 | 4.560 | 4.290 | 4.435 | 4.485 | 4.435 | 4.495 | 4.545 | 4.660 |
| 1882   | 4.820 | 4.915 | 4.980 | 4.930 | 4.915 | 4.880 | 4.750 | 2.475 | 4.420 | 4.550 | 4.670 | 4.605 |
| 1883   | 4.410 | 4.635 | 4.715 | 4.755 | 4.795 | 4.785 | 4.530 | 4.590 | 4.625 | 4.650 | 4.740 | 4.805 |
| 1884   | 4.355 | 4.585 | 4.775 | 4.895 | 4.935 | 4.940 | 4.555 | 4.400 | 4.605 | 4.685 | 4.630 | 4.780 |
| 1885   | 4.320 | 4.870 | 4.780 | 4.770 | 4.850 | 4.860 | 4.820 | 4.770 | 4.820 | 4.855 | 4.785 | 4.610 |
| Mittel | 4.721 | 4.712 | 4.695 | 4.676 | 4.684 | 4.651 | 4.615 | 4.558 | 4.535 | 4.706 | 4.774 | 4.764 |

<sup>1)</sup> Nach E. Sacher. Klimatologische Skizze der Stadt Salzburg und ihrer Umgebung in: Beiträge zur Kenntnis von Stadt und Land. Salzburg 1881. Was die Niederschlagsverhältnisse betrifft, ist zu bemerken: Berücksicht man nur die Regenmengen seit Einführung der neuen Regenmesser nach *mm*, d. i. die Zeit seit 1872, so erhält man als Mittel dieser neun Jahre 1360 *mm* und 183 Tage mit Niederschlägen; nach dem 22jährigen Durchschnitt 1842/63. (Nach Woldrich's Versuch zu einer Klimatographie des Salzburger Alpenlandes, betrug die mittlere Anzahl der Tage mit messbaren Niederschlägen 169.)

<sup>2)</sup> Lang l. c.

Betrachten wir nun den Verlauf der Jahresperiode des Grundwassers. (Fig. 6, S. 36, Fig. 7, S. 39.)

Salzburg hat nächst München wohl die ältesten Grundwasserbeobachtungen. Bereits im Jahre 1860 hat Dr. Spängler daselbst an einem nicht benützten alten Römerbrunnen im St. Johannishospital dieselben begonnen, und mit zweimal im Monate stattfindenden Messungen bis zum heutigen Tage fortgesetzt; dieselben haben bereits einmal durch Woldrich<sup>1)</sup> eine wissenschaftliche Bearbeitung gefunden und sind mir von Herrn Dr. Spängler freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

Dieser Römerbrunnen ist 370 m von der Salzach entfernt, den Einflüssen derselben vollkommen entzogen. Das obere Ende des Brunnenschachtes befindet sich 10.9 m über dem Salzachspiegel. Die Höhe des Salzachspiegels beträgt 461.8 m über dem Meere. Der Brunnenschacht selbst ist 5.66 m tief, also das Niveau des Grundwassers hoch über dem Niveau der Salzach, da sich sogar die Brunnensohle noch 5.27 m über dem Salzachspiegel befindet.<sup>2)</sup> (Siehe S. 37.)

Wenn wir nun entsprechend den oben angeführten Werthen über Brunnenniveau und Salzachspiegel diese Abstände des Grundwassers von der Oberfläche umrechnen in Höhengoten über dem Meeresniveau, so erhalten wir die in nachstehender Tabelle verzeichneten Werthe.

#### Jahresperiode von Grundwasser, Niederschlag und Sättigungsdeficit in Salzburg 1860—85.<sup>3)</sup>

|                 | Grundw. in m<br>üb. dem Meere | red. auf Min.,<br>422.926 = 0 | Niederschlag<br>in mm | Sättigungs-<br>deficit in mm. |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Januar . . . .  | 422.479                       | 0.053                         | 52.5                  | 0.55                          |
| Februar . . . . | 422.988                       | 0.062                         | 51.3                  | 0.80                          |
| März . . . . .  | 423.005                       | 0.079                         | 71.4                  | 1.32                          |
| April . . . . . | 423.024                       | 0.098                         | 89.7                  | 2.20                          |
| Mai . . . . .   | 423.016                       | 0.090                         | 124.5                 | 2.87                          |
| Juni . . . . .  | 423.047                       | 0.121                         | 116.5                 | 3.27                          |
| Juli . . . . .  | 423.085                       | 0.159                         | 180.6                 | 3.40                          |
| August . . . .  | 423.442                       | 0.216                         | 175.5                 | 3.18                          |
| September . .   | 423.088                       | 0.162                         | 114.3                 | 2.32                          |
| October . . . . | 422.994                       | 0.068                         | 71.9                  | 1.28                          |
| November . . .  | 422.926                       | 0.000                         | 70.9                  | 0.84                          |
| December . . .  | 422.936                       | 0.010                         | 85.9                  | 0.60                          |
| Jahresmittel .  | 423.002                       | 0.93                          | 104.4                 | 1.89                          |
| Amplitude . .   | 0.516                         | —                             | 129.3                 | 2.85                          |

Ein Blick auf die Curve zeigt, dass die Übereinstimmung zwischen Salzburg und München auch mit Rücksicht auf die Schwankungen des Bodenwassers zutrifft. (Fig. 6)

Insbesondere vollkommen stimmen die Perioden der Minima October-Januar überein, auch das Ansteigen und die Perioden der Maxima gehen einander parallel. München: Mai-August, Salzburg: Juni-September. Nur beginnt das Absinken in München etwas früher, doch erklärt sich dies leicht aus dem Verhalten des Niederschlages, indem in Salzburg das Sommer-Maximum etwas anders verläuft als in München.

<sup>1)</sup> Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie. Band VI.

<sup>2)</sup> Dr. Zillner: Boden, Wasser und Luft in und um Salzburg in: Beiträge zur Kenntnis von Stadt und Land Salzburg. 1881.

<sup>3)</sup> Nach den Jahrbüchern der k. k. meteorologischen Centralstaton in Wien, die Daten betreffend den Niederschlag und das Sättigungsdeficit erstrecken sich nur auf die Periode 1860—69 und 1872—85, da die Aufzeichnungen der Jahre 1870 und 1871 unvollständig sind.

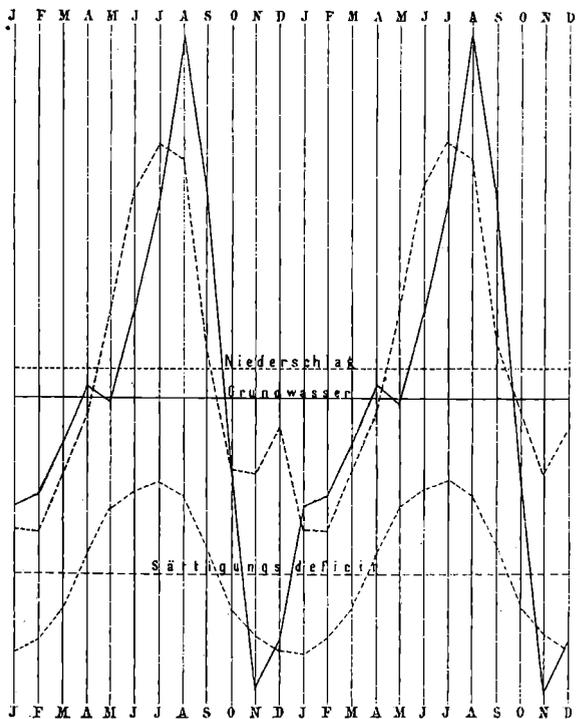
Stellen wir auch noch den Niederschlag in Parallele mit dem Grundwasser, so finden wir vollständig das für München aufgestellte Gesetz bestätigt. (Fig. 7.) Es ist nahezu eine vollständige Übereinstimmung in den Monaten der

gesteigerten Niederschläge und nur in den Monaten des Minimums der Niederschläge tritt ganz so wie in München jene scheinbare Umge-

setzmäßigkeit ein, nach welcher das Grundwasser bereits zu steigen beginnt, während die Niederschläge noch abnehmen. Das Grundwasser beginnt bereits im December zu steigen und steigt constant bis April, während die Niederschläge noch bis zum Februar abnehmen und erst in diesen Monaten ihr Maximum erreichen. Es ist abermals die durch die niedrigere Temperatur und die Schneedecke so sehr herabgesetzte Verdunstung, (was ja auch aus der Tabelle und Curve für das Sättigungsdeficit hervorgeht), die diesen Vorgang veranlasst.

Eine interessante Erscheinung zeigt sich in den Monaten April-Mai. Das Grundwasser steigt bis zum Monat April etwas stärker, um dann im Monate Mai einen deutlichen Abfall zu zeigen, ein Verhältnis, welches sich weder aus dem Niederschlage, noch aus dem Sättigungsdeficit erklären lässt.

Der Grund dieser Erscheinung dürfte nur in der localen Schneeschmelze zu suchen sein. Der Niederschlag der Wintermonate dürfte vielfach als Schnee liegen bleiben und erst nach der im März sich ereignenden Schmelze dem Bodenwasser zugute kommen. Dadurch muss die einsickernde Wassermenge sich vermehren, es muss in diesen Monaten mehr Wasser dem Grundwasser zuströmen und dieses wird dann, sowie auch in der unmittelbar folgenden Zeit angeschwollen sein. Ist aber die Schneeschmelze und ihre Folgen vorüber und das dadurch frei gewordene Wasser auch unterirdisch abgelaufen (Mai), dann kommen wieder nur die in der betreffenden Jahreszeit zu Boden fallenden Niederschläge zur Wirkung. Das als Niederschlag auf den Boden fallende und eindringende Wasser zeigt sich demnach quantitativ bedeutend vermindert, und deshalb tritt ein leichtes Absinken der Curve ein. Es hat auf diesen Punkt schon Woldrich<sup>1)</sup> aufmerksam gemacht



(Fig 7.) Doppeljahresperiode des Niederschlages, des Grundwassers und des Sättigungsdeficit zu Salzburg.

<sup>1)</sup> Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie. Band IV.

Dass nun wirklich dieselbe Wechselbeziehung zwischen Niederschlag und Sättigungsdeficit für dieses Verhalten Salzburg maßgebend ist, geht aus den entsprechenden Zahlen-Angaben und Curven (Fig. 7, S. 39) hervor. Ganz analog den Verhältnissen Münchens finden wir ein an und für sich niedriges Sättigungsdeficit, dessen Maximum auch noch dazu in jene Periode (Mai-August) fällt, wo auch die hier so überreichen Niederschläge ihr Maximum erreichen, sodass der Einfluss der Austrocknung mehr als genügend durch die Niederschläge übercompensiert wird. Dagegen lässt sich ebenso wie in München auch in Salzburg der Einfluss der Winterkälte auf das Sättigungsdeficit und damit auf das Grundwasser nachweisen.

Von November an beginnt das Grundwasser zu steigen, und zwar ziemlich rapid, trotzdem die Niederschläge bis Februar noch sich vermindern und erst in diesem Monate das Minimum zeigen. Wieder ist es hier das so sehr verminderte Sättigungsdeficit der Monate November-Februar, das hier (wohl auch in Verbindung mit der Schneedecke) die Verdunstung aus dem Boden verhindert und also das Grundwasser schon durch Frühlingschläge ansteigen lässt, die relativ geringer sind als die der Frühlings- und Sommermonate, welche letztere aber eben infolge der Verdunstung dem Bodenwasser nicht vollständig zugute kommen.

Von anderen Städten, in welchen der Niederschlag durch seine absolute Größe bestimmend wird für den Gang der Grundwasserschwankung, stehen uns noch einige Beispiele zu Gebote. Sie entstammen einer Zusammenstellung, die wir Liznar<sup>1)</sup> verdanken. Derselbe hat aus den hydrometrischen Beobachtungen der 50 Stationen der österreichisch-ungarischen Monarchie<sup>2)</sup> von 1876—80 eine Reihe von Stationen auf die Jahresperiode der Grundwasserschwankung untersucht, und ist auf diesem Wege gleichfalls dazu gelangt, dieselben in zwei Gruppen zu sondern.

Zu der einen dieser Gruppen zählt neben Salzburg noch Innsbruck, Klagenfurt und Triest. In Salzburg kam hier der Brunnen des Gemüsegartens im Militärspital in Betracht, der dem Flusse viel näher gelegen ist als der Römerbrunnen; seine Entfernung von der Salzach betrug nur 90m (gegenüber 370m beim Römerbrunnen), auch der verticale Abstand von der Salzach war ein viel geringerer, er betrug nur 2.27m, während das Wasser des Römerbrunnens durchschnittlich 6.23m über dem Salzachspiegel steht<sup>3)</sup>, es sei dies besonders betont, da sich daraus einmal die größere Amplitude der Schwankung des Militärspitalsbrunnens, sodann aber auch die kleine Differenz in der Periode des Maximums erklärt. (Einwirkung von Seite des Flusses, vgl. Cap. III.)

Vorausgeschickt sei noch, dass, wie auch Liznar hervorhebt, die fünfjährige Beobachtungsreihe eine zu kurze ist, um eine zuverlässige Jahresperiode aus ihr abzuleiten, sie zeigt noch manche Unregelmäßigkeiten im jährlichen Gange. In Klagenfurt wurden deshalb anstatt der Liznar'schen Zahlen die neueren von Seeland<sup>4)</sup> für eine zehnjährige

<sup>1)</sup> Liznar: Ueber die periodische Änderung des Grundwasserstandes. Ein Beitrag zur Quellentheorie. Gaea. 1881.

<sup>2)</sup> Militärstatistische Jahrbücher. Wien. Herausgegeben von der III. Section des technischen und administrativen Militär-Comités.

<sup>3)</sup> Zillner: Boden, Wasser und Luft. In Beiträge zur Kenntnis von Stadt und Land. Salzburg. 1881.

<sup>4)</sup> Met. Zeitschrift. 1887. S. 411.

Periode 1877—87 berechneten Werthe eingesetzt<sup>1)</sup>. Die Jahresperiode dieser Brunnen zeigt auf das Minimum = 0 reducirt und in Vergleich mit den früheren Beobachtungen gesetzt, folgenden Gang:

| Beobach-<br>tungszeit   | München<br>1856—85             | Salzburg<br>1860—85                   | Salzburg<br>1876—80                 | Graz<br>1876—85                   | Innsbruck<br>1876—80             | Trient<br>76—80 | Klagf.<br>77—86<br>See-<br>lands-<br>brunn. | Klagenfurt<br>1877—86<br>Militär-<br>spital.               |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|---|--|
| λ G.  | 11° 34'                        | 13° 3'                                | 13° 3'                              | 15° 28'                           | 11° 24'                          | 11° 7'          | 14° 18'                                     | 14° 18'  |
| φ   | 48° 9'                         | 47° 48'                               | 47° 48'                             | 47° 4'                            | 47° 16'                          | 46° 4'          | 46° 37'                                     | 46° 37'  |
| H.  | 528.5                          | 436.0                                 | 436.0                               | 344.0                             | 620.0                            | 198.0           | 438.0                                       | 438.0  |
| Höhe der<br>Brunnen-<br>sohle über<br>dem Meere                           | —                              | 408.42                                | 404.02                              | 345.1                             | 543.6                            | 185.11          | —   | 427.82   |
| Tiefe der<br>Brunnensl.<br>unt. d. Ob-<br>fläche                          | —                              | 5.66                                  | 7.80                                | 5.71                              | 9.6                              | 5.38            | —   | 9.04   |
| Verhältnis<br>der Brun-<br>nensohle<br>z. benach-<br>barten<br>Wasserlauf | circa 12 m<br>über der<br>Isar | 5.24 m über<br>dem Salz-<br>zachpegel | 0.83 über<br>dem Salz-<br>zachpegel | 5.0 m unter<br>dem Mühl-<br>gange | 6.07 unter<br>dem Sill-<br>kanal | —               | —   | 0.82 unter<br>d. Wasser-<br>becken des<br>Feuer-<br>baches |
| Jahresperiode der Grundwasserschwan-<br>kungen:                           |                                |                                       |                                     |                                   |                                  |                 |   |  |
| Januar  | 0.02                           | 0.05                                  | 0.00                                | 0.17                              | 0.12                             | 0.10            | 0.19  | 0.39   |
| Februar   | 0.08                           | 0.06                                  | 0.25                                | 0.00                              | 0.80                             | 0.00            | 0.00  | 0.06   |
| März  | 0.16                           | 0.08                                  | 0.62                                | 0.21                              | 0.21                             | 0.18            | 0.04  | 0.00   |
| April   | 0.18                           | 0.10                                  | 0.59                                | 0.52                              | 0.37                             | 0.61            | 0.15  | 0.34   |
| Mai   | 0.20                           | 0.09                                  | 0.71                                | 0.76                              | 0.73                             | 1.18            | 0.16  | 0.38   |
| Juni  | 0.26                           | 0.12                                  | 1.09                                | 0.93                              | 1.76                             | 2.21            | 0.15  | 0.22   |
| Juli  | 0.27                           | 0.16                                  | 1.20                                | 0.90                              | 2.28                             | 1.77            | 0.09  | 0.47   |
| August  | 0.24                           | 0.22                                  | 1.12                                | 0.82                              | 1.92                             | 1.07            | 0.03  | 0.16   |
| Septemb.  | 0.13                           | 0.16                                  | 0.43                                | 0.72                              | 1.41                             | 1.09            | 0.04  | 0.38   |
| October   | 0.04                           | 0.07                                  | 0.25                                | 0.60                              | 0.83                             | 0.71            | 0.17  | 0.58   |
| November  | 0.00                           | 0.00                                  | 0.10                                | 0.45                              | 0.42                             | 0.91            | 0.31  | 0.76   |
| December  | 0.03                           | 0.01                                  | 0.08                                | 0.26                              | 0.24                             | 0.67            | 0.36  | 0.80   |
| Amplitude   | 0.27                           | 0.22                                  | 1.20                                | 0.93                              | 2.28                             | 2.21            | 1.04  | 0.80   |

Wenn wir von den beiden Brunnen in Klagenfurt absehen, die noch gesondert zur Besprechung gelangen müssen, so ist die Übereinstimmung in der That eine hochgradige; die Maxima sollen fast vollständig in dieselbe Periode Juni-August (nur einmal in Juli-September) und auch die Minima variieren nur unwesentlich November bis Januar, respective Januar bis März. Wir können aber diese Grundwasserschwan-  
kungen auch noch mit den Niederschlagsmengen vergleichen, und zwar sowohl mit denen der fünf, resp. 10 Jahre als auch mit den aus vielen Jahren genommenen Mitteln. Wir erhalten die folgende Tabelle. (Siehe S. 42.)

Der Einfluss des Niederschlages, besonders der Maxima ist unverkennbar, weniger dagegen der der Minima, wie dies schon bei München

<sup>1)</sup> Ich füge auch noch als Beispiel die Grundwasserverhältnisse von Graz bei, die der während des Druckes dieser Abhandlung erschienenen Schrift: Die hygienischen Verhältnisse der größeren Garnisonsorte der österr.-ung. Monarchie, I. Graz. Wien. 1887, entnommen sind.

und Salzburg hervortrat, aber der Vergleich der beiden Niederschlagsperioden unter einander zeigt uns auch, dass die fünfjährige Periode doch noch zu viele Unregelmäßigkeiten darbietet, besonders was die

|                     | Anzahl<br>Jahre | Jan. | Febr. | März | April | Mai  | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Ampl. | Jahr |
|---------------------|-----------------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| Salzburg            |                 |      |       |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
| Grundw.<br>1876—80  | 5               | 0.00 | 0.25  | 0.62 | 0.59  | 0.71 | 1.09 | 1.20 | 1.12 | 0.43  | 0.25 | 0.10 | 0.08 | 1.20  | —    |
| Nieder-<br>schl. mm | 5               | 55   | 90    | 91   | 119   | 129  | 144  | 183  | 2.36 | 119   | 76   | 82   | 92   | 181   | 1408 |
| »                   | 30              | 59   | 52    | 55   | 68    | 91   | 118  | 154  | 170  | 156   | 104  | 66   | 65   | 118   | 1158 |
| Graz                |                 |      |       |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
| Grundw.<br>1876—80  | 10              | 0.17 | 0.00  | 0.21 | 0.52  | 0.76 | 0.93 | 0.90 | 0.82 | 0.72  | 0.60 | 0.45 | 0.26 | 0.93  | —    |
| Nieder-<br>schl. mm | —               | 13   | 33    | 35   | 60    | 80   | 106  | 129  | 128  | 98    | 84   | 53   | 48   | 116   | 876  |
| Innsbruck           |                 |      |       |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
| Grundw.<br>1876—80  | 5               | 0.12 | 0.00  | 0.21 | 0.37  | 0.73 | 1.76 | 2.28 | 1.92 | 1.41  | 0.83 | 0.42 | 0.24 | 2.28  | —    |
| Nieder-<br>schl. mm | 5               | 33   | 61    | 60   | 48    | 79   | 94   | 129  | 1.21 | 81    | 37   | 38   | 60   | 96    | 841  |
| »                   | 24½             | 62   | 45    | 37   | 63    | 67   | 74   | 102  | 114  | 108   | 82   | 54   | 64   | 77    | 872  |
| Trient              |                 |      |       |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
| Grundw.<br>1876—80  | 5               | 0.10 | 0.00  | 0.18 | 0.61  | 1.18 | 2.21 | 1.77 | 1.07 | 1.09  | 0.71 | 0.91 | 0.67 | 2.21  | —    |
| Nieder-<br>schl. mm | 5               | 25   | 86    | 86   | 131   | 158  | 121  | 109  | 116  | 142   | 65   | 165  | 62   | 140   | 1288 |

(Von Trient fehlen die Mittel aus langjährigen Beobachtungen.)

Minima betrifft; aber auch die Maxima scheinen verschoben; im Allgemeinen scheinen wir es hier mit einer Periode großen Wasserreichtums zu thun zu haben, wie dies aus dem Vergleich der Jahressummen der fünfjährigen mit denen der langjährigen Mittel hervorgeht. Die scheinbare Ausnahme, welche in dieser Reihe Klagenfurt macht, indem daselbst der Grundwasserstand sein Maximum im October bis December, sein Minimum dagegen einerseits im Februar-März andererseits im Juli-August zeigt, ist aber nur eine weitere Bestätigung der

#### Jahresperiode des Grundwassers und des Niederschlages in Klagenfurt. 1877—86.

|                     | Zahl d.<br>Jahre | Jan. | Feb. | März | April | Mai  | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Ampl. | Sum. |
|---------------------|------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| Grundw.             | a) 10            | 0.19 | 0.00 | 0.04 | 0.15  | 0.16 | 0.15 | 0.09 | 0.03 | 0.04  | 0.17 | 0.31 | 0.36 | 1.04  | —    |
|                     | b) 10            | 0.39 | 0.06 | 0.00 | 0.34  | 0.38 | 0.22 | 0.47 | 0.16 | 0.38  | 0.58 | 0.76 | 0.80 | 0.80  | —    |
| Nieder-<br>schl. mm | 10               | 26   | 30   | 46   | 62    | 97   | 115  | 137  | 144  | 133   | 130  | 86   | 52   | 118   | 1058 |
|                     | 66 <sup>1)</sup> | 55   | 39   | 35   | 50    | 64   | 93   | 109  | 125  | 115   | 100  | 98   | 79   | 90    | 961  |

a) Seelaandsbrunnen, b) Militärspitalsbrunnen.

<sup>1)</sup> Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie 1878. S. 339.

hier durchgeführten Anschauung, dass die Jahresperiode des Grundwassers abhängig ist von der jährlichen Vertheilung des Niederschlages und dessen Verhältnis zum Sättigungsdeficit, zur Verdunstung. Der Regenrhythmus in Klagenfurt ist nämlich ein ganz anderer als in den hier gleichzeitig vorgeführten Städten. Schon auf S. 29 in der Tabelle Hann's: die jährliche Regenvertheilung in Mitteleuropa, tritt die Regenvertheilung in SW Kärnten und Krain als eine andere entgegen als im übrigen Mitteleuropa, und die Jahresperiode der Jahre 1877—86 ergibt dies auch für Klagenfurt.

Der ungewöhnliche Reichthum an Niederschlägen bis in den November, ja sogar December hinein muss bei dem in diesen Monaten so niedrigen Sättigungsdeficit ein starkes Ansteigen des Grundwassers zur Folge haben, sodass dieses erst vom October bis Januar seinen höchsten Stand erreichen kann, das Minimum fällt aber dann mit dem Niederschlagsminimum der Monate Februar-März zusammen; offenbar weil, besonders in der regenreichen Periode 1877—84, diese Monate im Vergleich zu den übrigen außerordentlich regenarm waren. Ein zweites Minimum jedoch im August und September, wird entschieden wieder durch ein Ueberwiegen des Sättigungsdeficit in den Sommermonaten hervorgerufen.

Liznar, der ebenfalls den großen Einfluss der Verdunstung auf die Grundwasserschwankungen hervorhebt, sucht für diese Stationen und ihren Typus eine etwas andere Erklärung, indem er auf das längere Liegenbleiben des Schnees auf diesen höher gelegenen Stationen hinweist. Es unterliegt nun zwar keinem Zweifel, dass der Schnee durch sein längeres Verweilen im ungeschmolzenen Zustande eine Verspätung herbeiführen wird. Doch kann diese Verspätung nach den klimatischen Verhältnissen wohl kaum drei bis vier Monate betragen, wie sich dies bei den hier angeführten Jahresperioden zeigt, und dürfte dies besonders für Trient mit seiner hohen Temperatur nicht zutreffen.

Auch das oben berührte Ansteigen des Grundwassers in München und Salzburg in den Monaten December-Februar, trotzdem die Niederschlags-Quantitäten in diesen Monaten sich vermindern, weist darauf hin, dass vorwiegend die Verminderung der Verdunstung hier mit im Spiele ist, da ja dieser Niederschlag, wenn er als Schnee liegen bleibt, noch viel weniger zum Ansteigen des Grundwassers Veranlassung geben könnte. Eine vergleichende Untersuchung des Schneefalles zeigt übrigens, dass diese Städte nicht gerade durch die Anzahl der Tage mit Schneefall überwiegen, so hatte Innsbruck im Mittel 1876—80 wohl 31 Tage und Salzburg im Mittel von 1876/80 46 Tage mit Schneefall, Graz dagegen 22 Tage und Trient gar nur circa 11. Die Städte dagegen, die Liznar in der zweiten Gruppe (vgl. Seite 50) zusammenfasst, wo der Schneefall nicht in Betracht kommen soll, haben zum großen Theile durchschnittlich viel mehr Schneetage. In den Jahren 1876—80 hatte Krakau durchschnittlich 53 Tage, Prag 42, Josefstadt 53 Tage Schneefall. In Klagenfurt endlich tritt das Minimum des Grundwassers schon im November-December auf, schon in einer Zeit, wo von einer verspäteten Abschmelzung des Schnees noch nicht die Rede sein kann, da der durchschnittliche Schneefall noch im Januar 24.2 mm Wasser und im Februar noch 21.0 mm und vom Januar bis März im Ganzen 50 Procent des gesammten Schneefalles beträgt. Auch die Temperaturverhältnisse sprechen nicht unbedingt dafür, wohl haben die höher gelegenen Orte eine niedrigere mittlere Jahrestemperatur, Innsbruck 8.0°, Salzburg 8.0°, Klagenfurt 7.1°. Aber Graz hat schon 9.0°, Trient gar 11.7° und

umgekehrt hat Krakau nur 7.7°, Josefstadt 8.7°. <sup>1)</sup> Allerdings muss hervorgehoben werden, dass eben auch die Schneedecke zu einer derartigen Verminderung der Verdunstung beitragen muss. Auch darauf sei aufmerksam gemacht, was schon bei dem Vergleiche zwischen München und Berlin hervorgehoben wurde, auf die stark ausgeprägte Regenzeit dieser Ortschaften, die sich besonders in der hohen Amplitude ausdrückt, und die infolge dessen auch viel entscheidender auf die Schwankungen des Grundwassers einwirkt.

Zu dem durch Berlin repräsentierten Typus der Grundwasserschwankungen, bei welchen der Hochstand im Frühjahr, der Tiefstand im Herbst eintritt, seien die Städte Frankfurt a. M., Brünn und Bremen als Analogien angeführt.

Die geologischen Verhältnisse in Frankfurt a. M., <sup>2)</sup> insoweit sie für die unterirdische Wasserführung und Wassercirculation in Betracht kommen, gestalten sich etwas einfacher als die in Berlin. Als Basis der erreichbaren Gebirgsschichten ist das Permisch-Rothliegende zu betrachten. Über diesem finden sich die Schichten aus der Mitteloligozänzeit, sandige und thonige Ablagerungen als Basis von derjenigen Schichtenfolge, welche man als jene des »Mainzer Becken« bezeichnet. Die Ufer dieses Tertiärmeeres werden durch runde, glatte Quarzgerölle hervorgehoben; das Tertiär selbst besteht aus sechs Stufen, als oberste Stufe gelten die Litorinellen oder Hydrobienschichten und sie sind die Basis für die Wasseransammlungen und Circulation derselben im Boden; über dieser Tertiärschicht lagert sich das Diluvium, in der Ebene, besonders durch den Frankfurter Wald und weiterhin, aus Sand und Kies bestehend. Darin finden sich Trümmer aller Gebirgsarten, durch welche der Main mit seinen seitlichen Zuflüssen hindurchbricht. Ursprünglich floss der Main auf höherer Terrasse. In späterer Diluvialzeit erodierte das Flussbett tiefer ein. Die höher abgelagerten Diluvialschichten nördlich, nordöstlich und nordwestlich der Stadt gehören dem Löss an. Dem sandigen Diluvium lagern die alluvialen Torfbildungen und Riethboden auf und bezeichnen alte Flussläufe. Jüngeres Alluvium besteht in neueren Sedimenten des Mains oder verwehtem Flusssande des älteren Diluviums und bilden diese Partien nur untergeordnete Schichten. An einem Profil, das von Nord nach Süd die Stadt durchschneidet, erkennen wir, dass der Verlauf dieser Schicht in großen Zügen im Allgemeinen ein analoger ist, wie der der Oberfläche. Es dacht sich diese undurchlässige Schichte von Nordosten nach Südwest zu ab. Dabei finden sich jedoch größere oder geringere Abweichungen, welche den Ablauf des Wassers und die Beziehung desselben zur Oberfläche beeinflussen müssen. Es treten bald einzelne Einsenkungen auf, wie an der Stelle am Friedberger Thor, bald wieder Vorwölbungen, wie an der Wielandstrasse. Das unterirdische Wasser, das auf dieser Fläche zum Ablauf gelangt, fließt nun ebenfalls in der Richtung von Nordost nach Südwest dem Main zu, ohne jedoch für gewöhnlich eine besonders mächtige Ansammlung zu zeigen; ja in Zeiten großer Trockenheit kommt es an einzelnen Orten sogar zum Versiegen. Sein Niveau bildet eine schräg aufsteigende Fläche und es ist bei dem der Oberfläche ziemlich parallelen Aufsteigen der undurchlässigen Schichte eine natürliche

<sup>1)</sup> Sämmtliche Daten (exclus. Graz l. c.) nach den Jahrbüchern der k. k. Centralanstalt für Meteorologie berechnet.

<sup>2)</sup> Frankfurt a. M. in seinen hygienischen Verhältnissen und Einrichtungen. Festschrift. 1881.

Folge, dass mit der Erhebung der Oberfläche die Entfernung der letzteren vom Grundwasser nicht abnimmt, sondern mitunter, wenn die undurchlässige Schichte der Oberfläche etwas näher tritt, sogar zunimmt.

In Frankfurt a. M. sind von 1869 ab an 16 Brunnen allwöchentlich Grundwasserbeobachtungen angestellt worden, welche in der neuesten Zeit allerdings durch Eingehen einiger Brunnen sich auf sechs reducirt haben. Zur Feststellung der Jahresperiode, zu der eine größere Reihe von Beobachtungsjahren nothwendig ist, werden von mir nur jene Brunnen verwendet, welche bis in die neueste Zeit der Messung unterworfen sind. In folgender Tabelle sind nun die Werthe für die Jahresperiode für diese sechs Brunnen verzeichnet.<sup>1)</sup>

### Jahresperiode des Grundwassers in Frankfurt a. M.<sup>2)</sup>

(In cm über dem Main-Pegel.)

| Brunnen                | Höhe des Terrains über dem Nullpunkte des Mainpegels | Höhe d. Sohle des Brunnens über dem Nullpunkt d. Mainpegels | Januar | Februar | März | April | Mai  | Juni | Juli | August | September | October | November | December |
|------------------------|--|---|--------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| I.                     | 5.93   | -1.44   | 89     | 89      | 103  | 107   | 96   | 85   | 78   | 69     | 63        | 61      | 60       | 75       |
| II.                    | 6.42   | -3.01   | 140    | 142     | 153  | 156   | 150  | 143  | 137  | 133    | 124       | 121     | 122      | 124      |
| III.                   | 8.54   | +0.69   | 152    | 155     | 162  | 151   | 146  | 144  | 147  | 144    | 142       | 141     | 146      | 152      |
| IV.                    | 11.21  | -0.16   | 557    | 561     | 564  | 545   | 547  | 536  | 537  | 531    | 529       | 527     | 528      | 646      |
| V.                     | 11.53  | +3.45   | 672    | 673     | 673  | 661   | 663  | 659  | 661  | 664    | 652       | 645     | 556      | 667      |
| VI.                    | 12.92  | +9.12   | 1045   | 1057    | 1064 | 1049  | 1036 | 1022 | 1009 | 1001   | 980       | 971     | 987      | 1011     |
| Mittel:                |  |   | 442    | 449     | 453  | 445   | 439  | 431  | 428  | 424    | 415       | 414     | 416      | 429      |
| red. auf d. Min. 414=0 |  |   | 28     | 35      | 39   | 31    | 25   | 17   | 14   | 10     | 1         | 0       | 2        | 13       |

An das Beispiel von Frankfurt a. M. reihen wir nun noch das von Brünn, von dem gleichfalls langjährige Grundwasserbeobachtungen bereits durch Liznar<sup>3)</sup> eine Bearbeitung gefunden haben.

Die auf die Grundwasserverhältnisse bezughabenden geologischen Daten sind kurz folgende: Brünn liegt am Nordrande eines aus der Vereinigung der Zwittawa, Schwarzawa und Thaya gebildeten Beckens, eines Theils des sogenannten Wiener Beckens; die geologischen Gebilde, die dieses Becken von unten nach aufwärts aufbauen, sind: Syenit, welcher den gesammten Rand des Beckens und den Boden einzelner höher gelegener Punkte der Stadt bildet, sonst aber erst in bedeutender Tiefe angetroffen wird; auf diesen lagert sich zunächst eine wenig mächtige Schichte von Thonen, Sanden, Geröllen und Geschieben, darüber aber eine mächtige Lage von tertiären Gebilden, dem sogenannten marinen Tegel; seine Mächtigkeit ist eine sehr verschiedene, und er bildet die Basis der wasserführenden Schichten der Stadt; eine muldenförmige sanft gegen Osten und Süden geneigte Fläche darstellend, aber auch infolge der Erosion des von den Höhen herab-

<sup>1)</sup> Soyka: Zur Epidemiologie und Klimatologie von Frankfurt a. M. Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege. 1887.

<sup>2)</sup> Die Werthe für das Grundwasser sind berechnet aus den in den „Jahresberichten des physikalischen Vereines zu Frankfurt a. M.“ veröffentlichten, wöchentlichen Beobachtungen. Es befindet sich: Brunnen I: Gutleutstraße (südl.) 204, II: Gutleutstraße (nördl.) 204, III: Schneidwallgasse 4, IV: Stiftsstraße 30, V: Hochstraße 4, VI: Feldstraße 8.

<sup>3)</sup> Liznar l. c.

fließenden Wassers mehr oder weniger furchenartig vertieft und weg-gewaschen (vgl. S. 9). So tritt er in der Elisabethstraße zu Tage, während er am Nordende der technischen Hochschule in 10.5 m, im Jesuitenbrunnen in 11.9 m Tiefe angetroffen wird.

Das Bett der Rinne des Ponavkabaches im Augarten, oberflächlich von Alluvien bedeckt, ist im Tegel eingeschnitten. Auf diesen tertiären Gebilden liegt dann der diluviale Thon, diluviale Sand und Schotter und schließlich die Alluvionen der Flüsse und Bäche.<sup>1)</sup>

Von Brünn liegt das 16jährige Mittel (seit 1865) einer Brunnenbeobachtung im Conventbrunnen des Stiftes St. Thomas vor. Der Brunnen hat eine Tiefe von 6.69 m und erhält das Wasser von einer einzigen Quelle, die aus der Richtung West-Nord-West vom gelben Berge einfällt. Dieses 16jährige Mittel hat nach Liznar folgenden Gang.

#### Jahresperiode des Grundwassers in cm.

| Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Oct. | Nov. | Decemb. |
|--------|---------|------|-------|-----|------|------|--------|-------|------|------|---------|
| 335    | 326     | 314  | 303   | 299 | 305  | 323  | 339    | 352   | 357  | 349  | 336     |

Diese Zahlen geben aber die Entfernung des Wasserpiegels vom oberen Rande des Brunnens an. Um sie mit unseren Werthen zu vergleichen, ist es zweckmäßig, sie umzurechnen, und wenn wir den tiefsten Abstand als Nullpunkt betrachten, so erhalten wir folgende Reihe, welche die Oscillation des Grundwassers wieder in der von uns bisher angewendeten Form angiebt.

| Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Oct. | Nov. | Decemb |
|--------|---------|------|-------|-----|------|------|--------|-------|------|------|--------|
| 22     | 31      | 43   | 54    | 58  | 52   | 34   | 18     | 5     | 0    | 8    | 21     |

In Bremen<sup>2)</sup> wurden Grundwassermessungen an 10 Brunnen ausgeführt, und lässt sich die Jahresperiode seit 1872 feststellen. Diese

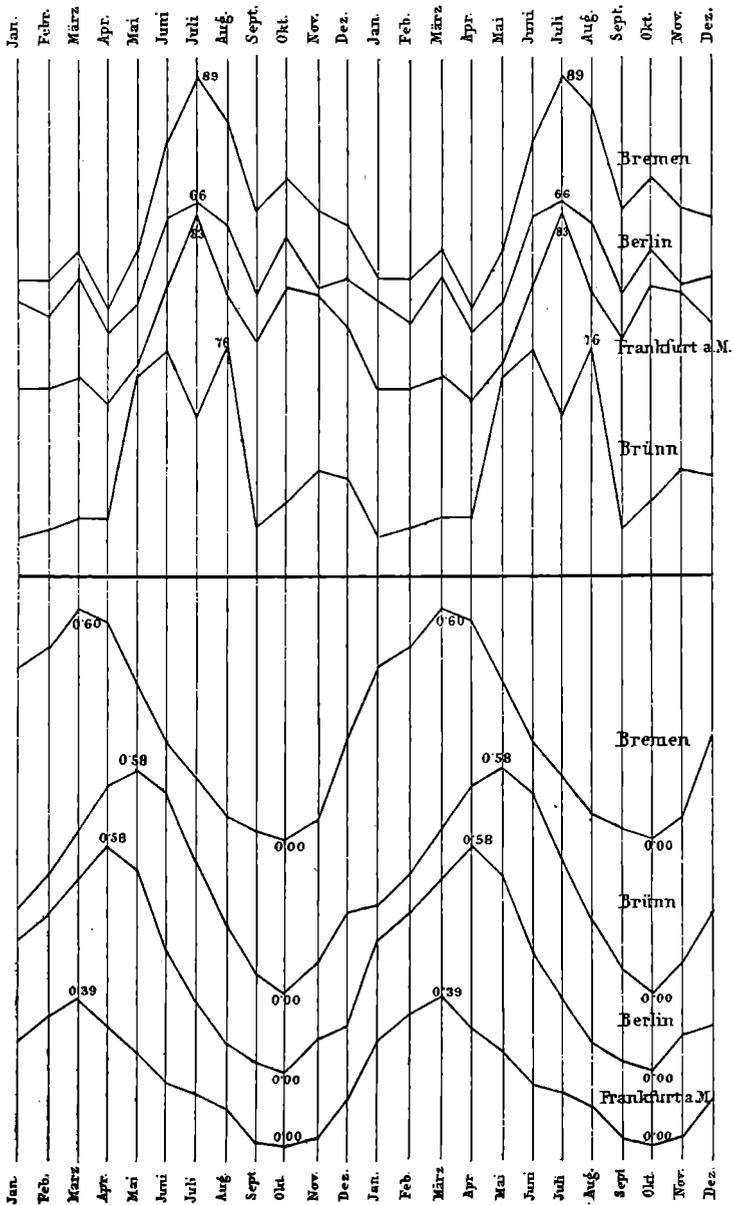
#### Grundwasserstand in cm über dem Weserpegel.

| Brunnen                        | Lage des Brunnens über dem Pegel des obersten Weserblicke | Januar | Februar | März | April | Mai  | Juni | Juli | August | September | October | November | December | Mittel |
|--------------------------------|---|--------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|--------|
|                                |   | cm     |         |      |       |      |      |      |        |           |         |          |          |        |
| Haupt-schule                   | 694   | 158    | 152     | 186  | 188   | 176  | 164  | 155  | 148    | 142       | 137     | 138      | 146      | 51     |
| Hutfilter-straße 18            | 672   | 127    | 132     | 138  | 142   | 140  | 136  | 131  | 126    | 124       | 121     | 117      | 120      | 25     |
| Stephani-kirchhof              | 868   | 155    | 168     | 189  | 202   | 192  | 179  | 167  | 159    | 154       | 146     | 142      | 147      | 60     |
| Neustadt-wall Volks-schule . . | 405   | 84     | 93      | 89   | 85    | 58   | 24   | 17   | 0      | 14        | 15      | 30       | 64       | 93     |
| Wester-straße 37               | 463   | 125    | 134     | 135  | 126   | 106  | 87   | 74   | 67     | 58        | 56      | 66       | 110      | 83     |
| Körner-straße 27/a             | 289   | 54     | 75      | 91   | 97    | 87   | 69   | 46   | 21     | 6         | 4       | -2.4     | 16       | 101    |
| Vrd. Stein-thor 40             | 804   | 143    | 133     | 150  | 117   | 77   | 61   | 53   | 45     | 40        | 39      | 58       | 105      | 111    |
| Bürgerpk.                      | -3  | -106   | -105    | -101 | -106  | -127 | -139 | -145 | -148   | -151      | -146    | -137     | -120     | 50     |
| Panzen-berg 3/a                | 280   | 7      | 9       | 11   | 7     | -2   | -11  | -15  | -18    | -24       | -25     | -20      | -8.5     | 36     |
| Summe . . . . .                |   | 741    | 791     | 837  | 858   | 707  | 570  | 483  | 400    | 363       | 339     | 392      | 580      | 610    |
| Mittel . . . . .               |   | 83     | 88      | 93   | 95    | 78   | 63   | 54   | 44     | 40        | 38      | 43       | 64       | 68     |
| Red. a. d. Min. 38=0           |   | 45     | 50      | 60   | 57    | 40   | 25   | 16   | 6      | 2         | 0       | 5        | 26       | --     |

<sup>1)</sup> Der Boden von Brünn, A. Makovsky, Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, 1876.

<sup>2)</sup> Jahrbuch für „Bremische Statistik“. Die während des Druckes erschienene Schrift: »Das Klima von Bremen«, von Bergholz, Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereines in Bremen, konnte nicht mehr berücksichtigt werden.

Brunnen sind äußerst übereinstimmend in ihrem Gange, sodass gleichfalls Mittel aus den sämtlichen 10 Brunnen gezogen werden können. Sie liegen jedoch zum Theile schon unter dem Nullpunkt des Wesserspiegels und unterstehen also bedeutend dem Einflusse des Flusses. Die



(Fig. 8.) Doppeljahresperiode des Niederschlages (oben) und der Grundwasserschwankungen (unten) in Frankfurt a. M., Berlin, Brünn und Bremen.

hydro- und geologischen Verhältnisse Bremens bieten überhaupt derartige Eigenthümlichkeiten, dass sie besser in Capitel III ihre Würdigung finden. Wir erhalten dann obige Tabelle (S. 46) über die Jahresperiode des Grundwassers in Bremen.

Fassen wir nun alle diese Jahresperioden zu einer Tabelle zusammen:

Jahresperiode des Grundwassers in *m.* (Vgl. Fig. 8, S. 47).

| Ort                           | Jan. | Febr. | März | April | Mai  | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Ampl. |
|-------------------------------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Berlin 1870—85 . . . . .      | 0.34 | 0.41  | 0.50 | 0.58  | 0.50 | 0.31 | 0.18 | 0.07 | 0.02  | 0.00 | 0.09 | 0.12 | 0.58  |
| Frankf. a. M. 69—85 . . . . . | 0.28 | 0.35  | 0.39 | 0.31  | 0.25 | 0.17 | 0.14 | 0.10 | 0.01  | 0.00 | 0.02 | 0.13 | 0.39  |
| Bremen 1872—84 . . . . .      | 0.45 | 0.50  | 0.60 | 0.57  | 0.40 | 0.25 | 0.16 | 0.06 | 0.02  | 0.00 | 0.05 | 0.26 | 0.60  |
| Brünn 1865—80 . . . . .       | 0.22 | 0.31  | 0.43 | 0.54  | 0.58 | 0.52 | 0.34 | 0.18 | 0.05  | 0.00 | 0.08 | 0.21 | 0.58  |

Wir haben es hier nun nicht mehr nöthig, die Grundwasserperiode je einer Stadt mit den Niederschlagsperioden und mit denen des Sättigungsdeficitcs zu vergleichen, da dies ja schon bezüglich Berlins geschah, es genügt, wenn wir zeigen, dass auch der Rhythmus des Niederschlags und des Sättigungsdeficitcs in Frankfurt a. M., Bremen und Brünn derselbe ist wie in Berlin.

Jahresmittel der Temperatur und Jahresperiode des Niederschlages.

| Ort                               | Seehöhe | Mittlere Jahres-temper. | Luftdruck | Dunst-druck | Sättigungs-deficit |
|-----------------------------------|---------|-------------------------|-----------|-------------|--------------------|
| Berlin 1870—85 . . . . .          | 50      | 9.1                     | 761.5     | 6.6         | 3.0                |
| Frankfurt a. M. 1869—85 . . . . . | 91.2    | 9.9                     | 753.4     | 7.4         | 2.5                |
| Bremen 1872—84 . . . . .          | 2.3     | 8.9                     | 759.1     | 7.1         | —                  |
| Brünn 1865—80 . . . . .           | 232.    | 8.9                     | 743.0     | 6.8         | 2.8                |

Jahresperiode des Niederschlages. (Vgl. Fig. 8)

| Ort           | Jan. | Febr. | März | April | Mai  | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jahr  | Ampl. |
|---------------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
| Berlin 70—85  | 40.3 | 34.8  | 46.6 | 32.1  | 39.8 | 62.2 | 66.2 | 60.2 | 40.8  | 57.5 | 44.5 | 46.2 | 571.0 | 34.1  |
| Frankf. 69—85 | 37.0 | 36.9  | 40.3 | 34.8  | 44.1 | 64.7 | 83.2 | 61.8 | 51.2  | 63.6 | 61.6 | 53.3 | 632.5 | 48.4  |
| Bremen 72/84  | 36.4 | 35.7  | 43.5 | 28.5  | 42.8 | 70.7 | 88.6 | 77.0 | 54.2  | 61.8 | 54.5 | 50.9 | 645.0 | 60.1  |
| Brünn 65—80   | 27.0 | 29.0  | 32.0 | 32.0  | 68.0 | 75.0 | 58.0 | 76.0 | 29.0  | 36.0 | 44.0 | 41.0 | 547.0 | 49.0  |

Jahresperiode des Sättigungsdeficitcs.

| Ort                         | Jan. | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Mittel | Ampl. |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|--------|-------|
| Berlin <i>a</i> H. Mayer    | 0.7  | 1.1   | 1.9  | 3.1   | 4.9 | 6.0  | 6.4  | 4.8  | 4.0   | 1.8  | 1.2  | 0.7  | 3.0    | 5.7   |
| » <i>b</i> 70—85            | 0.7  | 0.9   | 1.5  | 2.7   | 3.9 | 5.1  | 5.6  | 4.8  | 3.8   | 1.7  | 1.0  | 0.6  | 2.7    | 5.0   |
| Frankf. 70—85 <sup>1)</sup> | 0.5  | 0.8   | 1.8  | 3.1   | 4.2 | 4.3  | 5.2  | 4.2  | 2.7   | 1.5  | 0.9  | 0.5  | 2.5    | 4.7   |
| Brünn 65—80                 | 0.3  | 0.8   | 1.4  | 3.0   | 4.1 | 5.2  | 6.2  | 5.5  | 3.9   | 2.0  | 0.8  | 0.5  | 2.8    | 5.9   |

<sup>1)</sup> Das Sättigungsdeficit konnte nur aus den Jahren 1870 bis 1875 und April 1879 bis 1885 berechnet werden. Von 1869 fehlen Beobachtungen, 1876 bis März 1879 wurde der Dunstdruck nicht mit dem Psychrometer, sondern mit dem Klinkerfues'schen Hygrometer bestimmt, wodurch viel größere Extreme gewonnen wurden. Auch bezüglich der Jahre 1870 bis 1873 muss noch bemerkt werden, dass in diesem Zeitraume nur einmal am Tage (3 Uhr Nachmittags) Bestimmungen des Dunstdruckes gemacht wurden. Daher rühren vielleicht die etwas niedrigeren Werthe.

Die Übereinstimmung in den meteorologischen Elementen dieser vier Städte ist eine fast überraschende. (Fig. 8, S. 47). Das Grundwasser zeigt überall seinen tiefsten Stand in den Monaten August bis November, den höchsten Stand in den Monaten Januar bis April, resp. Mai, ebenso aber zeigt die Niederschlagscurve den analogen Typus wie die auf Figur 5 graphisch dargestellte Niederschlagscurve Berlins. In den Monaten Juni-August ist das Maximum der Niederschläge, dem im Monate October (resp. November, Brünn<sup>1)</sup>) ein zweites folgt. Das Minimum fällt sodann in die Monate Januar bis April (mit einer kleinen Depression). Auch die durchschnittliche Regenmenge 547—654 *mm*, sowie die Amplitude 34—60.1 *mm* ist in ziemlicher Übereinstimmung. Dasselbe gilt endlich auch vom Sättigungsdeficit; hier dürfen wir die Übereinstimmung weniger in dem Jahresrhythmus suchen, da dieser überhaupt ein gleicher ist, als vielmehr in dem Jahresmittel und der Amplitude. Die Jahresmittel schwanken in diesen drei Städten (von Bremen standen mir keine Daten bezüglich des Dunstdruckes zu Gebote) nur zwischen 2.5—2.8, resp. 3.6 und die Amplitude ist gleichfalls nicht sehr different, 4.7—5.9.

Bei diesem Verhalten ist es einleuchtend, dass beim Grundwasserstand dieselbe scheinbare Unabhängigkeit vom Niederschlag herrschen muss, wie dies oben bei Berlin geschildert wurde.

Der höchste Grundwasserstand fällt allenthalben in die Monate Januar, resp. Februar bis April, resp. Mai, correspondiert also vollständig mit dem Minimum der Niederschläge; dagegen folgt der tiefste Grundwasserstand der Monate August bis November, theils mit dem Niederschlagsmaximum der Sommermonate, theils mit dem zweiten Niederschlagsmaximum des Monats October, resp. November coincidierend.

Bei Beziehungen des Grundwassers zum Sättigungsdeficit kann mit Rücksicht darauf, dass die Curve des Sättigungsdeficit in diesen vier Vergleichsobjeten fast vollkommen identisch ist, vollständig auf das Seite 35 Gesagte hingewiesen werden.

Ganz besonders sei hier aber noch der klimatologische Gegensatz hervorgehoben, der sich in dieser Städtegruppe gegenüber der ersten (München-Salzburg) in dem relativen Verhältnis von Niederschlag und Sättigungsdeficit äußert.

Wir wollen zu diesem Zwecke noch eine kurze tabellarische Recapitulation dieser Daten geben.

|                   | Seehöhe      | Mittlere<br>Jahres-<br>temperatur | Dunst-<br>druck in<br><i>mm</i> | Jahres-<br>summe des<br>Nieder-<br>schlag. <i>mm</i> | Amplitude<br><i>mm</i> | Jahres-<br>mittel des<br>Sättigungs-<br>deficit <i>mm</i> | Amplitude<br><i>mm</i> |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| München. . . . .  | 528 <i>m</i> | 7.4°                              | 7.0                             | 805  | 83                     | 1.6   | 2.36                   |
| Salzburg. . . . . | 430          | 7.9                               | 7.0                             | 1160   | 129.3                  | 1.9   | 2.85                   |
| Berlin . . . . .  | 50           | 9.1                               | 6.6                             | 571  | 34                     | 2.71  | 5.0                    |
| Frankfurt a. M.   | 91           | 9.9                               | 7.4                             | 632  | 48                     | 2.5   | 4.7                    |
| Brünn . . . . .   | 232          | 8.9                               | 6.8                             | 547  | 49                     | 2.8   | 5.9                    |

Die beiden Repräsentanten der ersten Gruppe zeigen also eine absolut hohe Niederschlagsmenge mit einer großen Amplitude, es ist ein sehr deutlicher Rhythmus mit großen Extremen hier ausgeprägt und gibt es hier eine wahre und als solche charakterisierte Regenzeit. In der ersten Gruppe ist die Amplitude der Niederschlagsschwankung (83—129) um das 2—2½fache größer als in der zweiten Gruppe. Das umgekehrte

<sup>1)</sup> Liznar: Das Klima von Brünn. Verh. des naturw. Vereines. Brünn. XXIV.

Verhältnis gilt aber vom Sättigungsdeficit, dieses ist in der ersten Gruppe wesentlich kleiner als in der zweiten, 1.6—1.9 gegen 2.5—2.8, und auch die Größe der Schwankung, die Amplitude erreicht kaum die Hälfte der zweiten Gruppe (2.4—2.8 gegen 4.7—5.9. Unter solchen Verhältnissen wird es begreiflich, dass in dem einen Falle der Niederschlag, in dem anderen das Sättigungsdeficit für die Wasser-Aufspeicherung im Boden den Ausschlag gibt.

Wenn wir noch die fünfjährigen Zusammenstellungen von Liznar mit berücksichtigen, natürlich unter dem oben bereits gemachten Vorbehalt der kurzen Beobachtungszeit, zu dem auch noch das hinzugefügt sei, dass, wie aus den Daten der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist, fast sämtliche Brunnen hier unter dem Einflusse des nächsten Wasserlaufes stehen und also nicht immer die Schwankungen des Bodenwassers angeben (vgl. Cap. III), so werden wir auch hier eine gewisse Übereinstimmung nicht vermissen.

Wir stellen diese Beobachtungen zusammen, indem wir Berlin als Vergleichsobject an die Spitze stellen. (S. 51).

Die Übereinstimmung tritt nun bezüglich der Eintrittszeiten der Maxima bei Prag, Josefstadt, Baden und Debreczin zu Tage, zum Theile trifft sie auch bezüglich der Minima zu. Dagegen bieten die anderen Orte, besonders Czernowitz und Agram, auch Szegedin theils größere Unregelmäßigkeiten, theils einen andersartigen Rhythmus. Es müssen aber diese Abweichungen wohl nicht bloß auf die Kürze der Beobachtungszeit zurückgeführt werden, sondern auch darauf, dass sich diese Orte klimatologisch anders verhalten. Wenn wir die Niederschläge dieser Orte mit einander vergleichen, so gewinnen wir hierüber schon einen Anhaltspunkt. In nachfolgender Tabelle sind die Niederschläge nach

#### Procentuale Vertheilung des Niederschlages

| Ort                                       | Jan. | Febr. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jahres-<br>summe | Ampli-<br>tude |
|---|------|-------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------------------|----------------|
| Jahre                                     |      |       |      |       |     |      |      |      |       |      |      |      |                  |                |
| Berlin . . . 16                           | 6    | 7     | 7    | 7     | 8   | 11   | 12   | 10   | 7     | 7    | 8    | 8    | 594              | 6              |
| Prag . . . 50                             | 6    | 5     | 5    | 6     | 7   | 11   | 15   | 13   | 12    | 8    | 6    | 7    | 467              | 10             |
| Krakau . . 29                             | 6    | 4     | 5    | 6     | 7   | 10   | 13   | 14   | 13    | 9    | 7    | 6    | 630              | 10             |
| Josefstadt. 5                             | 6    | 9     | 9    | 5     | 10  | 8    | 11   | 11   | 7     | 7    | 6    | 9    | 606              | 6              |
| Agram . . 19 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>  | 7    | 5     | 5    | 7     | 7   | 10   | 11   | 9    | 9     | 9    | 11   | 10   | 896              | 6              |
| Debreczin 24 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>  | 8    | 7     | 5    | 7     | 6   | 10   | 13   | 13   | 10    | 5    | 8    | 8    | 625              | 8              |
| Szegedin . 20 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> | 9    | 7     | 5    | 6     | 8   | 12   | 12   | 10   | 10    | 6    | 6    | 9    | 515              | 7              |
| Czernowitz 21                             | 5    | 4     | 5    | 7     | 7   | 12   | 16   | 14   | 13    | 7    | 5    | 5    | 650              | 12             |

ihren Jahressummen und in procentualer, monatlicher Vertheilung<sup>1)</sup> verzeichnet; da sehen wir denn, dass die Niederschlagsmengen in diesen Gebieten (Agram und Prag ausgenommen) wohl als annähernd übereinstimmend angesehen werden können, dass aber bezüglich der Amplituden und der monatlichen Vertheilung doch größere Unterschiede bestehen, so in Prag (Ampl. 10); doch ist hier die absolute Regenmenge so gering, dass trotzdem im Sommer ein Überwiegen des Sättigungsdeficitcs eintreten wird. Anders ist dies schon in Krakau, wo die Amplitude ebenfalls 19 Procent beträgt, wo aber bereits eine Niederschlags-höhe von 630 *mm* besteht. Hier haben wir bereits ähnliche Nieder-

<sup>1)</sup> Hann: Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 1881.

Jahresperiode des Grundwassers in *m.*

| Ort                           | See-<br>höhe | Höhe der<br>Brunnen-<br>sohle üb. d.<br>adr. Meere | Tiefe der<br>Brunnen-<br>unter dem<br>nat. Boden | Verhältnis der Brunnensohle zum<br>nächsten fließenden oder stehenden<br>Wasser |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|-------------------------------|--------------|--|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|                               |              |  |  | Jan.  | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Prag . . . . . 1876—80        | 202          | 176.76   | 7.75   | 2.23 unter dem Moldau-Pegel   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Krakau . . . . . »            | 193          | 193.05   | 5.95   | 0.12 unter dem Weichsel-Pegel   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Josephstadt . . . . . »       | 232          | 232.29   | 22.22  | 0.16 über die Bettung der<br>Mettau-Schleusse                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Baden . . . . . »             | 261          | 260.77   | 5.13   | 0.03 über die Sohle des Au-<br>Baches   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Agram . . . . . »             | 98           | 98.01  | 9.77   | 9.82 unter der Sohle des<br>Medoydjak-Baches                                    |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Debreczin . . . . . »         | 107          | 106.81   | 6.38   | —   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Szegedin . . . . . »          | 76           | 76.14  | 5.90   | 2.34 unter dem Nullpuncte des<br>Theißpegels                                    |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
| Czernowitz . . . . . »        | 171          | 171.23   | 63.27  | 26.77 unter der Sohle des<br>Klokuczka-Baches                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|                               | Jan.         | Febr.  | März   | April   | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  |      |      |      |
| Prag . . . . .                | 2.32         | 2.41   | 2.51   | 2.49  | 2.38  | 2.30  | 2.24  | 2.19  | 2.19  | 2.18  | 2.09  | 2.09  |      |      |      |
| Krakau . . . . .              | 1.65         | 2.05   | 2.39   | 2.30  | 2.44  | 1.97  | 1.85  | 1.59  | 1.62  | 1.44  | 1.52  | 1.52  |      |      |      |
| Josephstadt . . . . .         | 10.13        | 10.71  | 12.36  | 12.08   | 11.50 | 10.61 | 9.86  | 9.93  | 10.15 | 9.89  | 9.88  | 10.05 |      |      |      |
| Baden . . . . .               | 1.19         | 1.21   | 1.31   | 1.30  | 1.26  | 1.16  | 1.15  | 1.08  | 1.08  | 1.14  | 1.18  | 1.19  |      |      |      |
| Agram . . . . .               | 4.22         | 3.96   | 4.47   | 4.67  | 4.97  | 4.32  | 3.90  | 3.69  | 3.64  | 3.79  | 4.58  | 4.92  |      |      |      |
| Debreczin . . . . .           | 2.65         | 2.68   | 3.02   | 2.96  | 2.94  | 2.78  | 2.66  | 2.61  | 2.51  | 2.46  | 2.50  | 2.60  |      |      |      |
| Szegedin . . . . .            | 3.38         | 3.37   | 3.38   | 3.90  | 3.96  | 3.91  | 3.87  | 3.68  | 3.54  | 3.55  | 3.53  | 3.56  |      |      |      |
| Czernowitz . . . . .          | 16.16        | 16.18  | 16.30  | 16.58   | 16.66 | 16.62 | 16.43 | 16.25 | 16.11 | 16.10 | 16.06 | 16.19 |      |      |      |
| Reduciert auf das Minimum = 0 |              |  |  |   |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|                               | Jan.         | Febr.  | März   | April   | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  |      |      |      |
| Berlin . . . . .              | 0.34         | 0.41   | 0.50   | 0.58  | 0.50  | 0.31  | 0.18  | 0.07  | 0.02  | 0.00  | 0.09  | 0.12  |      |      |      |
| Prag . . . . .                | 0.23         | 0.32   | 0.42   | 0.40  | 0.29  | 0.21  | 0.15  | 0.10  | 0.10  | 0.09  | 0.00  | 0.00  |      |      |      |
| Krakau . . . . .              | 0.21         | 0.61   | 0.95   | 0.86  | 1.00  | 1.33  | 1.41  | 1.15  | 1.18  | 0.00  | 0.08  | 0.08  |      |      |      |
| Josephstadt . . . . .         | 0.27         | 0.85   | 2.50   | 2.22  | 1.64  | 0.75  | 0.00  | 0.12  | 0.29  | 0.03  | 0.02  | 0.19  |      |      |      |
| Baden . . . . .               | 0.11         | 0.13   | 0.23   | 0.22  | 0.18  | 0.08  | 0.07  | 0.00  | 0.00  | 0.06  | 0.10  | 0.11  |      |      |      |
| Agram . . . . .               | 0.58         | 0.32   | 0.82   | 1.03  | 0.33  | 0.68  | 0.26  | 0.05  | 0.00  | 0.15  | 0.94  | 1.28  |      |      |      |
| Debreczin . . . . .           | 0.19         | 0.22   | 0.56   | 0.50  | 0.48  | 0.32  | 0.20  | 0.15  | 0.05  | 0.00  | 0.04  | 0.14  |      |      |      |
| Szegedin . . . . .            | 0.01         | 0.00   | 0.01   | 0.52  | 0.58  | 0.53  | 0.50  | 0.31  | 0.17  | 0.18  | 0.16  | 0.19  |      |      |      |
| Czernowitz . . . . .          | 0.10         | 0.12   | 0.24   | 0.52  | 0.60  | 0.56  | 0.37  | 0.19  | 0.05  | 0.04  | 0.00  | 0.13  |      |      |      |

schlagsverhältnisse wie in München, wohl infolge der Karpathennähe, und in der That zeigt auch die fünfjährige Jahresperiode eine Culmination des Grundwassers in den Sommermonaten, einen Rhythmus, der dem Münchens und Salzburgs viel analoger ist. Auch Czernowitz mit 650 mm Niederschlag und gleichfalls hoher Amplitude (12) dürfte schon den Übergang zu dem ersten Typus darbieten.

Übrigens darf auch eine größere Abweichung bei diesen Beobachtungen unsere Schlussfolgerungen nicht beeinflussen, da eben aus den oben entwickelten Gründen eine richtige Jahresperiode aus denselben nicht construiert werden kann, und könnten erst detaillierte Untersuchungen, die sich über eine größere Anzahl von Jahren erstreckten, den Zu-

sammenhang genauer feststellen, im Vereine mit Untersuchungen über die Bodenbeschaffenheit dieser Städte, sowie über die Beziehungen zwischen den Flüssen und dem Grundwasser.

Wenn wir schließlich diesen Gegenstand zusammenfassen, und die Frage zu beantworten suchen, in welcher Weise in dem Grundwasserstande der Ausdruck für die Größe der Feuchtigkeit oder Trockenheit des Bodens gegeben ist, so werden wir finden, dass sich für diese Erscheinung für Mitteleuropa je zwei klimatologische Typen aufstellen lassen, je nach dem wechselseitigen Verhältnisse des Niederschlages und der Austrocknung; der eine Typus, wo bei hohen Niederschlägen und bei einem deutlich ausgesprochenen Rhythmus derselben (bei einer höheren Amplitude) die Trockenperiode des Bodens in den Spätherbst und Anfang des Winters, die Feuchtigkeitsperiode in den Hochsommer fällt, der zweite Typus mit relativ geringerer Niederschlagsmenge, einer geringeren Amplitude der Jahresschwankungen und einem weniger rhythmischen Verlaufe, dagegen mit einem hohen Sättigungsdeficit, wo sich die höchste Feuchtigkeit im Boden in den Frühjahrsmonaten, die größte Trockenheit in den Herbstmonaten einstellen wird.<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> In einem Vortrage auf dem niederländischen Naturforscher- und Aerztecongresse macht auch Dr. Beekman bezüglich der Grundwasserverhältnisse Hollands die Mittheilung (Ausland 1887), dass das Niveau des Grundwasser in den holländischen Poldern, wenn sie zu Wiesen benutzt werden, sich 80 bis 100 *cm* unter der Oberfläche befinden müsse. Abweichungen von diesem mittleren Stande seien möglichst zu vermeiden, sodass man den Niederschlagsüberschuss so bald wie möglich entfernen muss, was im Winter und Frühjahr der Fall zu sein scheint. wogegen in den Sommermonaten, in denen die Verdunstung über den Niederschlag überwiegt, Wasser aus dem Busen in den Polder eingelassen werden muss.

## DRITTES CAPITEL.

### Die Beziehungen des Grundwassers zu den oberirdischen Wasserläufen.

1. Beziehungen des Grundwassers zu den oberirdischen Gerinnen: Würm, Leitha, Hachinger Bach. Sicilien, paradoxe Erscheinungen an Brunnen. Quantitative Verhältnisse. — Beziehungen des Grundwassers zu Flüssen: a) Speisung der Flüsse durch Grundwasser. Dreisam im Breisgau. Ausnahmefälle (Bremen). Das Grundwasser strömt den Flüssen zu. München, Zürich, Paris, Wien, Niederung zwischen Donau und Theiß. Berlin. — b) Einsickerung des Flusswassers in die Alluvialschichten. Donau bei Wien, Loire, Donau und Ach. — c) Grundwasserschwankungen unabhängig von Flussschwankungen; Flussbett im impermeablen Boden. München, Isarvertiefung ohne Grundwassersenkung. Jahresperiode von Grundwasser und Isar. Salzburg, Salzachvertiefung ohne Grundwassersenkung. Jahresperiode von Grundwasser und Salzach. — d) Grundwasserschwankungen beeinflusst vom Flusswasserstande. Flussbett im permeablen Boden. Seitliche Infiltration, Stauung bei Hochwasser des Flusses, beschleunigter Abfluss bei Niedrigwasser. Abnahme des Einflusses mit der Entfernung (Straßburg). α) Einfluss des Flusses auf das Grundwasser bei gleichartigen meteorologischen Bedingungen, Berlin, Bremen, Frankfurt a. M. β) Einfluss auf das Grundwasser bei ungleichartigen meteorologischen Bedingungen (Schnee- und Gletscherschmelze, Gebirgsklima), die nur die Flüsse und nicht das Grundwasser beeinflussen können. Wien.

Es wäre einseitig, wollte man die Gesetze der Grundwasserschwankungen ohne Mithberücksichtigung des Abflusses festzustellen suchen, und da die Flüsse in letzter Linie als die großen Drainage-Apparate für unser Bodenwasser aufzufassen sind, so müssen wir auch die wechselseitigen Beziehungen dieser beiden festzustellen suchen.

Um aber einen vollen Einblick in diese Frage zu gewinnen, ist es nothwendig, eine Unterscheidung einzuhalten zwischen sogenannten oberflächlichen Gerinnen und den eigentlichen Flüssen.

I. Auf Hochebenen, in Gebirgsgegenden finden wir oberflächliche Gerinne, die entweder als oberflächliche Abflüsse oder Überläufe von Wasseransammlungen, Seen aufzufassen sind, oder aber sie sind durch Terraineinschnitte zu Tage tretendes Grundwasser, in letzterem Falle dadurch entstanden, dass in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain bloßgelegt ist und das hierauf folgende Gefälle des Grundwassers größer ist, als das Gefälle des durch den Einschnitt gebildeten Wasserlaufes.

Derartige Gerinne fließen nun oft in einem lockeren für Wasser durchlässigen Terrain, hoch über dem Niveau des Grundwassers und geben in ihrem Laufe allmählich Wasser an dasselbe ab.

Ein derartiges oberflächliches Gerinne, als Überlauf einer Wasseransammlung repräsentiert die Würm, ein Ausfluss des Starnberger (Würm) Sees. Ihr Wasserspiegel fällt circa 8 km weit vom See entfernt mit dem benachbarten Grundwasserspiegel in eine Ebene. Das Grundwasser fällt jedoch im weiteren Verlaufe auf dieselbe Länge stärker als der Würmspiegel, sodass schon in Pasing (11.5 km von München) der Würmspiegel 7 m über dem Grundwasserspiegel liegt. (Vgl. Fig. 9). Es ist auch annähernd der auf diese Weise eingetretene Wasserverlust, der sich als Zufluss zum Grundwasser geltend macht, bestimmt worden. <sup>1)</sup> Am Ausflusse der Würm aus dem Starnberger See führte die Würm (6. Juli 1876) per Secunde 6.42 cbm ab. Dieses Quantum vermehrt sich noch bis Gauting auf 7.34 cbm durch das unterirdisch zufließende Grundwasser in dem Moos am nördlichen Seeende und durch die sichtbar auftretenden Quellen im Mühlthaldefilé. Bei Pasing dagegen (10.7 km von Gauting) hatte sich dieses Quantum auf 5.9 cbm, also um 12.2 Procent gegenüber der Wassermenge am Seeausfluss und gar um 16.6 Procent gegenüber der Wassermenge bei Gauting vermindert.

Trofil von Planegg (Würmthal) über Grotz Hesselohle bis Unter Biberge.

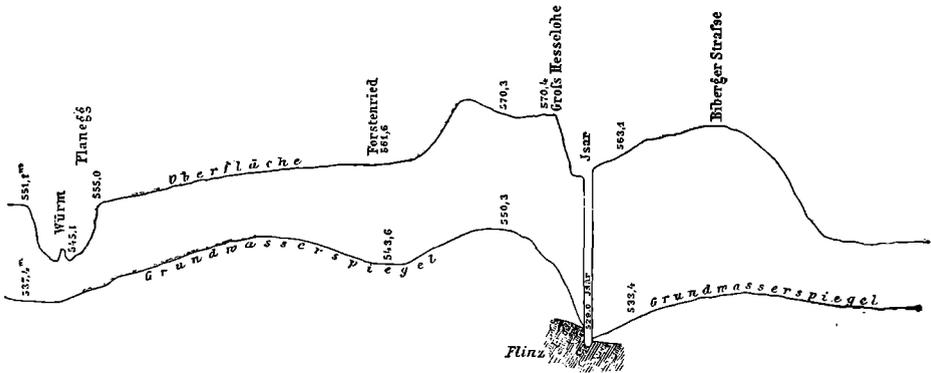


Fig. 9.

Ein ähnliches Verhalten zeigen einige oberflächliche Gerinne in dem oben angeführten Gebiete der Ebene bei Wiener-Neustadt. <sup>2)</sup> Die Leitha ließ nach den am 11. Mai 1863 vorgenommenen Messungen folgende bedeutende Abnahme ihrer Wassermenge erkennen.

|    |                                    |                                    |
|----|------------------------------------|------------------------------------|
| A) | Leitha bei Lanzenkirchen . . . . . | 35 Millionen Eimer = 1,981.000 cbm |
| B) | » » Neustadt . . . . . 6.4 km abw. | 19.1 » » = 1,081.000 »             |
| C) | » » Zillingsdorf weitere 8.9 km »  | 16.7 » » = 945.000 »               |

Diese Ziffern lehren, dass jenes Wasser der Leitha, welches nicht in künstlichen Gerinnen zusammengehalten ist, in großem Maßstabe von dem Flusse an den Boden abgegeben wird. Die Wassermenge in der Leitha bei Lanzenkirchen beträgt 1,981.000 cbm, gleichzeitig die im Kehrbach 127.000 cbm, im Zuleitungscanal bei Neustadt 181.000 cbm und in das Leithabett bei Neustadt 6.4 km abwärts kommen 1,081.000 cbm. Die Differenz gegen Lanzenkirchen ist also demnach nicht weniger

<sup>1)</sup> A. Thiem: Die Wasserversorgung der Stadt München. (Vorproject).

<sup>2)</sup> Bericht über die Erhebungen der Wiener Wasserversorgungs-Commission.

als 900.000 *cbm*. Von diesen 1,081.000 *cbm* gelangen aber nach Zillingdorf, weitere 8,9 *km* abwärts nur 945.000 *cbm*, was einem Verlust von 136.000 *cbm* auf dieser Strecke entspricht.

Auf diese Weise kann es schließlich zum vollständigen Verschwinden eines derartigen Wasserlaufs kommen, indem er seinen Wasserreichthum allmählich vollständig an das Grundwasser abgibt. Hiefür finden wir ein schönes, gut studiertes Beispiel am Hachinger Bach, einem kleinem Wasserlauf auf der Münchener Hochebene. (Vgl. Fig. 2, S. 10).

Dieser Bach entsteht auf die oben geschilderte Weise, dass in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel im durchlässigen Terrain bloßgelegt ist, und sich nun eine Ungleichheit im Gefälle des Wasserlaufes und dem des Grundwassers einstellt. Im oberen Theile des Hachinger Baches (Profil Fig. 2) liegen die benachbarten Grundwasserstände höher als der Bachspiegel, die Horizontalcurven biegen bachaufwärts um, der Bach empfängt Wasser. Im weiteren Verlaufe tritt der Bach in ein Stadium der Indifferenz ein, hier können die Grundwasserhorizontalen, ohne ihren continuierlichen Lauf zu ändern, mit dem Bachspiegel in Zusammenhang gebracht werden; beide Wasserspiegel liegen im Niveau. Das Grundwasser hört auf different zu sein. Darauf folgt ein Stadium der Abnahme. Der Grundwasserstand liegt tiefer als der betreffende Bachwasserstand, und hier verschwindet schließlich der Bach, er hat seinen Wasserreichthum wieder dahin abgegeben, woher derselbe stammte, in den allgemeinen Grundwasserstrom der Hochebene.

Diesem Verhalten entsprechen auch die Resultate der Messungen des Wasserquantums.

Nach G ü m b e l's Messungen (1866), sowie nach den 1875 von Salbach <sup>1)</sup> bei einem weitaus größeren Wasserreichthum vorgenommenen Bestimmungen führte der Bach an den verschiedenen Stellen seines Laufes folgende Wasserquantitäten in der Minute:

| 1866                                      | 1875  |
|---|---|
| An der Kothmühle . . . . . 5.6 <i>cbm</i> | Beim Eintritt in Oberhaching . . . 6.4 <i>cbm</i> |
| Unterhalb der Bachmühle . . . . . 8.6 »   | Beim Austritt aus Furth. . . . . 21.0 »           |
| Im Dorfe Unterhaching . . . . . 4.9 »     | In Taufkirchen hinter der Kirche 30.0 »           |
| Im Dorfe Unterbiberg . . . . . 1.9 »      | Im Dorfe Unterhaching . . . . . 22.0 »            |
| In den Wiesen unterhalb . . . . . 1.7 »   | Im Dorfe Unterbiberg . . . . . 4.6 »              |
| Im Dorfe Perlach . . . . . 1.1 »          | Im Dorfe Perlach . . . . . 4.0 »                  |

Die Abnahme betrug auf dieser Strecke bis zu  $\frac{7}{8}$  der gesammten Menge und schließlich verliert sich der Bach wieder vollständig.

In Sicilien findet man nach Irvine viele Flussbetten, welche im Sommer vollkommen trocken gelegt werden, die sogenannten Fiumaren, und in deren Gegend Malaria endemisch herrscht; die Untersuchung hat nun gezeigt, dass sich im oberen Strombett ein kleiner Bach findet, der plötzlich im Sande zu versiegen scheint, in der That aber, nachdem er den Boden durchdrungen, unterhalb des Strombettes seinen Weg fortsetzt. Dies gilt unter Anderem von der großen Fiumare, welche längs des nördlichen Theiles von Messina verläuft, im Sommer ebenfalls ganz trocken erscheint, sich jedoch, wenn man nur 1 bis 2 Fuß tief gräbt, schnell mit frischem Wasser füllt. Dieselbe Bewandnis hat es wahrscheinlich mit jenen anscheinend trockenen Malaria-Orten Sardi-

<sup>1)</sup> Die Wasserversorgung der Stadt München. III. Nachtrag von B. Salbach.

niens. deren unter dem Fußtritt zitternder Boden (von den Bewohnern daher Tremulo genannt) das nahe Grundwasser verräth.<sup>1)</sup>

Durch solche oberflächliche Gerinne wird nun natürlicher Weise der Zufluss zum Grundwasser beeinflusst, und es kann auf diese Weise leicht ein local begrenzter heftiger Niederschlag, dadurch, dass er in einem offenen Gerinne rasch nach abwärts geführt, zu Anschwellungen des Grundwassers führen, die nicht von localen Niederschlägen abhängig sind; doch wird sich die nicht auf größere Strecken verbreiten.

Es ist überhaupt wichtig, die Frage quantitativ aufzufassen, sich über die Größe dieses Einflusses auf das Grundwasser klar zu werden, meist sind die Verluste, die diese Gerinne erleiden, im Verhältnisse zu der ungeheuren Masse des Grundwassers so gering, dass ihr Einfluss nicht merklich ist. Nach den oben mitgetheilten Messungen an der Leitha (11. Mai 1863) verlor dieselbe auf ihrem Wege von Lanzenkirchen nach Zillingsdorf (circa 13.3 km) 52 Procent ihrer Wassermenge.<sup>2)</sup> Trotz dieses großen Verlustes, der an diesem Tage mehr als die Hälfte der Wassermenge der Leitha betrug, die auf dem Wege noch etwa sich beimengenden Zuflüsse nicht mitgerechnet, haben die großen Tiefquellen den Zuwachs nicht empfunden und zeigten keine wesentlichen Veränderungen, auch nachdem im Juni das Leithabett ganz trocken geworden war.

Auch aus einem anderen Grunde noch erklärt sich der geringe Einfluss, den die oberflächlichen Gerinne auf das Grundwasser nehmen. Das Bett derselben nimmt mit der Zeit, selbst wenn er ursprünglich in einem vollkommen durchlässigen Material gegraben war, einen undurchlässigen Charakter an, indem es allmählich verschlammt und verkiest wird. So erklärt es sich, dass in München, wo ein Netz oberflächlich gelegener, im Kies hoch über dem Grundwasser fließender Stadtbäche die Stadt durchzieht, diese weder auf die Qualität noch auf die Quantität des Grundwasserstandes einen Einfluss üben.

II. Anderer Art sind jedoch die Beziehungen, die zwischen dem Stande und den Schwankungen des Grundwassers und denen der Flüsse im Allgemeinen bestehen. Diese letzteren können in viel deutlicherer Weise die Bewegung des Grundwassers modificieren. Durch längere Zeit wurde an der Anschauung festgehalten, dass die Flüsse infolge der Durchlässigkeit ihres Bettes Wasser an den Untergrund abgeben, dass dieses unter dem Begriff Seihwasser sich abwärts und seitlich in den Untergrund infiltriert. E. Sueß<sup>3)</sup> spricht sich, diese Anschauung berichtigend, über das Verhältnis zwischen Grund- und Flusswasser folgendermaßen aus: Man begnügt sich damit, einen Fluss als die Vereinigung einer größeren oder geringeren Anzahl von kleineren Flüssen, von Bächen und Quellen anzusehen, welche ihr Wasser in einem gemeinsamen Bette fortwälzen, man betrachtet den Wasserlauf lediglich als eine Erscheinung der Erdoberfläche, ohne zu bedenken, dass, wenn er wirklich nur der Oberfläche angehören würde, nothwendigerweise jeder Niederschlag der Atmosphäre, welcher sein Becken trifft, sofort abfließen und daher jeder Fluss zur Thau- und Regenzeit noch viel größere Anschwellungen zeigen müsste, als er ohnehin zeigt, während in der trockenen Jahreszeit selbst das größte Flussbett nahezu trocken sein müsste.

<sup>1)</sup> Hirsch. Historisch-geographische Pathologie. I. Seite 192.

<sup>2)</sup> Bericht der Wiener Wasserversorgungs-Commission.

<sup>3)</sup> E. Sueß. Über den Lauf der Donau, Oesterr. Revue. 1863. Band IV. S. 262.

Aber nur in den selteneren Fällen, welche überhaupt nur bei kleineren Flusslinien bekannt sind, gräbt sich ein Fluss sein Bett der ganzen Länge nach in wasserdichtem Boden, z. B. in plastischen Thon. Dann ist allerdings der ganze Wasserlauf eine Erscheinung der Oberfläche und treten wirklich jene oben erwähnten großen Schwankungen auf. Bei Weitem die Mehrzahl der Flüsse ist aber wenigstens auf einen Theil ihres Laufes begleitet von einem bald namhaften breiteren, bald schmälern Streifen von losen Aufschüttungen, den sogenannten Alluvien; selten sind die älteren Schichten, an welche sich die Alluvien anschmiegen, ebenfalls von losen Gesteinen, z. B. von Sand oder Geröllen, gebildet. Dann ist aber das Wasser nicht nur in der sichtbaren Flussrinne, sondern auch in den Alluvien und den dieselben begrenzenden Schichten enthalten, und zwar ist der Boden zu beiden Seiten des Flusses bis zu einem Niveau mit Wasser angefüllt, das, wie gezeigt werden wird, allerdings in gewisser Beziehung zum Wasserstande im Flusse selbst steht, das aber unterirdisch dem Flusse zuströmt.

Da nun dieses Zuströmen durch die Zwischenräume des losen Bodens unverhältnissmäßig viel langsamer vor sich geht als in offener Rinne, und Verzögerungen von Wochen und Monaten eintreten können zwischen dem Niederfall eines Wassertropfens auf durchlassenden Boden und seinem Eintritt in den Fluss, so bildet der Abfluss des Grundwassers großartige Compensationsapparate, welche während der nassen Jahreszeit große Mengen von Feuchtigkeit zurückhalten und dafür während der Dürre fortfahren den Fluss zu speisen.

Sehr anschaulich wird diese Speisung der Flüsse durch Grundwasser nach Lueger<sup>1)</sup> im Sommer, Herbst und bei strengem Winter an der Dreisam oberhalb Freiburg i. B. Man kann dort viele Wehranlagen beobachten, welche alles Flusswasser abfangen, sodass direct unterhalb das Flussbett trocken erscheint; während am nächsten vielleicht 1 km weiter abwärts gelegenen Wehre durch Zufluss von Grundwasser zum Fluss wieder allmählich eine weitere Wasserspeisung für den Gewebecanal möglich geworden ist. Im Winter ist auch die Verdampfung des wärmeren Grundwassers sichtbar.

Das Niveau, bis zu welchem sich unterirdisch der Spiegel des Grundwassers erhebt, kann in diesen Fällen nicht tiefer liegen als der mittlere Wasserstand des Flusses, weil sonst eindringendes Flusswasser den Boden bis zu diesem Niveau anfüllen würde. Bei genauen Nivellements von Wasserspiegeln in Brunnen hat sich fast immer ein stetiges Ansteigen des unterirdischen Wasserspiegels landeinwärts gezeigt.

Dieses Ansteigen des Grundwasserspiegels vom Flusse aufwärts ist wohl der sprechendste Beleg dafür, dass das Grundwasser den Flüssen zuströmt.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Lueger: Die Vertheilung des Wassers, insbesondere des Quellenwassers über dem Festlande. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1881.

<sup>2)</sup> Einen besonderen Fall bieten die Verhältnisse in jenen Gebieten, wo sich mitunter in einem aufgeschwemmten Schuttkegel oder auch vielleicht im Schwemmland, im Delta auf der Höhe einer solchen Anschwemmung ein Wasserlauf findet, der aus den höher gelegenen Gebieten kommend seine Fortsetzung eben auf einem solchen erhöhten Niveau des Tieflandes mit durchlässiger Unterlage findet. In diesem Falle kann allerdings seitlich eine Infiltration des Bodens von Seite des Flusses erfolgen, wo dann die umgekehrte Strömung in diesem Bodenwasser vorhanden ist, und die Wasser des Bodens nicht dem Flusse zuströmen, sondern umgekehrt von demselben continuierlich gespeist werden. Doch gehören diese Verhältnisse jedenfalls zu den selteneren Vorkommnissen. Als Beispiel können vielleicht die

Innerhalb Münchens<sup>1)</sup> erhob sich im Jahre 1876 der mittlere Grundwasserstand auf eine Entfernung von circa 1500 m um circa 7 m über das Flussniveau. In Zürich<sup>2)</sup> stand 1855 der Spiegel der Limmat circa 120 m unterhalb des Niveaus des Grundwassers der hochgelegenen Vorstadt Fluntern. In Paris<sup>3)</sup> betrug 1854 das mittlere Gefälle des Grundwassers gegen die Seine 1 auf 1000 m, in den der Seine unmittelbar benachbarten Parteen 1 auf 100 m, während das Gefälle der Seine selbst nur 1 auf 20.000 beträgt. In Wien hat Sueß<sup>4)</sup> ein Ansteigen der Wasserstände in den Brunnen vom Flusse gegen den Rand des Hochbezirkes hin aus der Härte des Brunnenwassers erschlossen; er fand diese in den Brunnen des Donaubezirks überall viel höher als die des Donauwassers. Diese größere Härte kann nun weder durch den Alluvialschotter des Alluvialgebietes der Donau, der fast ausschließlich aus Quarzgeschieben und Geröllen von krystallinischen Felsarten besteht, noch aus dem aus Sandstein bestehenden Diluvialschotter des übrigen Theils des Donaubezirks herkommen und nur durch die anderweitigen Quellen dieser Wasserschicht, nämlich durch die directen atmosphärischen Niederschläge oder durch die längs des Randes des Donaubezirkes in denselben mündenden Sickerwässer des Hochbezirkes, oder durch das Hinzutreten anderer härterer Infiltrationswässer herbeigeführt werden, sodass also die Härte des Brunnenwassers des Donaubezirks durch dem Flusse zuströmende Grundwässer veranlasst wird; erst dort, wo wirklich Wasser vom Flusse her in den Boden versickert und sich mit dem Grundwasser vermischt, tritt eine Verminderung der Härte ein. Tardy<sup>5)</sup> gelangt in seinen Studien über den Kalkgehalt der Quellenwässer in der Gegend von Bourg-en-Bresse (Ain) ebenfalls zu dem Resultate, dass der Kalkgehalt dieser Quellen und Flüsse bedingt wird durch den Zufluss der Sickerwässer je nach den Schichten, welche das Wasser liefern, aber auch je nach den Jahreszeiten, d. h. den Wassermengen, welche zum Auffallen gelangen. Höchst interessant sind ferner die Untersuchungen von Sueß über das Verhältnis des Grundwassers auf einer 13¼ Meilen langen Strecke

Grundwasserverhältnisse Bremens (Buchenau: Die freie Hansastadt Bremen 1882) dienen.

In Bremen ist sowohl um die Weser herum als auch um die anderen Flüsse dieses Gebietes der Boden erhöht, und senkt sich von da an nach beiden Seiten hinab. Vergleicht man nun die Grundwasserspiegel der in dieser erhöhten Region gelegenen Brunnen mit dem des Weserflusses, so sind die mittleren Stände allerdings höher; geht man jedoch etwas weiter landeinwärts, so gelangt man zu Gebieten, die bereits dieselbe oder eine noch geringere Höhe als der Weserpegel besitzen, und hier ist der Grundwasserspiegel dann bereits constant tiefer, als der der Weser. Im Bürgerpark in Bremen, circa 1800 m von der Weser entfernt, wo der Boden sich nur 0—1 m über 0 erhebt, liegt der Brunnen bereits 3 cm unter dem Weserpegel. Und während der mittlere Weserstand in den Jahren 1878—82 91 cm über dem Weserpegel betrug, war der mittlere Wasserstand im Bürgerparkbrunnen 122 m unter dem Weserpegel. (Jahrbücher für Bremische Statistik). Es muss aber dahin gestellt bleiben, inwieferne auch die zahlreichen vorhandenen Ent- und Bewässerungsanlagen, die Teiche, Siele, Tiefcanäle etc., ferner die künstlichen Anlagen der Stadtgräben mit ihren Pumpstationen modificierend hier einwirken.

<sup>1)</sup> II. Bericht der Commission u. s. w.

<sup>2)</sup> Pettenkofer: Fünf Fragen aus der Antilogie der Cholera. Pappenheim's Monatschrift für exacte Forschungen auf dem Gebiete der Sänitätspolizei 1859.

<sup>3)</sup> Delesse: Carte géologique souterraine de Paris et carte hydrologique de Paris.

<sup>4)</sup> E. Sueß: Der Boden von Wien.

<sup>5)</sup> Tardy: Géologie des nappes aquifères des environs de Bourg-en-Bresse. Mém. soc. des sc. nat. de Saône et Loire. V. 3. 1884.

zwischen Pest und Szolnok, dem Theile jener Niederung, die sich zwischen Donau und Theiß fern von jedem Gebirge und mitten zwischen zwei Flüssen hinzieht.<sup>1)</sup> Auf dieser Strecke stößt man etwa 45 km von der Donau und 55 km von der Theiß entfernt auf einen Punkt, an dem der Grundwasserspiegel 42 m über den Donauspiegel und 60 m über den Theißspiegel sich erhebt. Nach beiden Seiten hin findet nun ein nahezu ununterbrochenes Herabsinken der Brunnenstände gegen den Spiegel der beiden genannten Ströme zu statt, die als natürliche Sammelcanäle, als Entwässerungsadern dieser Abdachung des Grundwassers aufzufassen sind, und wo uns der höchste Punkt jene Erhebung der undurchlässigen Schicht andeutet, die zur Bildung der unterirdischen Wasserscheide geführt hat. Aber auch in Berlin sieht man deutlich das Zuströmen des Grundwassers zum Flusse sowohl beim höchsten als auch beim tiefsten Grundwasserstande. Das Grundwasser hält also in seiner Strömung nicht bloß die Richtung zu den Wasserläufen ein, sondern bewegt sich noch nach einer zweiten Richtung, indem es von den Seitenabhängen der Berge nach den Wasserläufen der Thäler, in welchen sich die Flüsse die niedrigste Stelle gesucht haben, abfließt, also in der Richtung der Diagonale, allerdings meist mit Überwiegen einer Richtung.

Jedoch ganz ohne Einfluss und Rückwirkung auf das Grundwasser erscheinen die Flüsse nicht. Die Schlussfolgerungen, die Sueß an die Schwankungen in der Härte des Wassers in Wien knüpft, führen bereits zur Annahme einer Einsickerung von Flusswasser in die lockeren Bodenschichten zu beiden Seiten des Flusses. Eine ähnliche Erfahrung hat man auch mit dem der Loire zuströmenden Grundwasser gemacht. Als seinerzeit die Zuleitung des Loireflusses nach Paris vorgeschlagen und auf die zeitweiligen Trübungen der Loire hingewiesen wurde, wurde der Vorschlag gemacht, man solle Draine-Canäle längs der Loire anlegen und aus diesen filtrirtes Wasser nach Paris führen. Zum Zwecke dieses Projectes schritt man an die Untersuchungen der Brunnen längs des Flusses. Es zeigte sich, dass man dieselben in zwei Gruppen theilen konnte, nämlich in solche, welche in unmittelbarer Nähe des Flusses gelegen sind und sich trüben, so oft der Fluss sich trübt, also auf einem Gebiete stehen, in welchem ein Draincanal seinen Zweck nicht erreichen würde und solche, welche allerdings reines Wasser liefern, welches aber aus einem wechselnden Gemenge von Flusswasser und Grundwasser besteht. Eine Reihe von Härtebestimmungen an den Brunnen der Loire lehrte ferner: 1. Dass, so oft der Härtegrad eines Brunnens sich dem Härtegrade der Loire nähert, dieser Brunnen, wie die Loire selbst der Trübung ausgesetzt ist, dass also hier Infiltrationswasser vom Flusse her vorhanden ist. 2. Wenn das Wasser eines Brunnens verhältnissmäßig klar bleibt, während einer Trübungsperiode der Loire, dasselbe einen viel höheren Härtegrad besitzt als der Fluss, und ein dem Flusse zuströmendes Grundwasser repräsentiert.<sup>2)</sup>

Ein Beispiel, dass Flusswasser sich dem Grundwasser beimengt, liefert auch die Donau durch ihre Communication mit der Quelle der Aach, eines Flüsschens, dass sein Wasser dem Untersee zuführt. Der Rücken, der hier bei Immendingen die Gebiete des Rheins und der Donau trennt, beträgt eine deutsche Meile. Es wurde nun bei Immen-

<sup>1)</sup> E. Sueß: Über das Grundwasser der Donau. Oesterreich. Revue, 1866.

<sup>2)</sup> Drittes Mémoire des Seinepräfecten über das Wasser von Paris vom 20. April 1860.

dingen Fluorescin in die Donau gegossen. Nach  $2\frac{1}{2}$  Tagen zeigte sich dieser Farbstoff in der Quelle der Aach und ließ sich durch 36 Stunden darin nachweisen. Die Bewegung erfolgt hier ziemlich rasch, der zurückgelegte Weg würde, wenn direct durchlaufen, etwas über  $8\text{ km}$  betragen, welchem eine Geschwindigkeit von  $3200\text{ m}$  pro 24 Stunden oder  $0.037\text{ m}$  pro Secunde entsprechen würde.

Wir haben diese zwiefachen und scheinbar gegensätzlichen Beziehungen der Flüsse zum Grundwasser auf die Lagerung des Flussbettes mit Rücksicht auf die wasserführenden und undurchlässigen Schichten zurückzuführen, und können hier im Allgemeinen zwei verschiedenartige Typen unterscheiden:

1. In jenem Falle, in welchem das Flussbett tief in die undurchlässige Schicht einschneidet, sodass die impermeable Schicht in nicht unbedeutender Höhe demselben seitlich überlagert erscheint, erfolgt der Abfluss so hoch über dem Flussniveau, dass das letztere die Abflussstelle gar nicht zu erreichen vermag; das Wasser fließt also jederzeit in die Tiefe ab ohne jegliche Behinderung, es wird trotz der Schwankungen des Flusswasserstandes an dem Niveau des Grundwassers keine Änderung erfolgen können. Ein vorzügliches Beispiel hiefür bietet uns ein Vergleich der jeweiligen Wasserstände des Münchner Grundwassers und der Isar in München. Die Isar schneidet bei München tief in den Flinz ein und hoch oberhalb der Isar ist der Abfluss des Grundwassers gelegen. (Vgl. Fig. 1, S. 9). Deshalb haben denn auch die Umgestaltungen, die sich im Laufe der Zeit an dem Flussbett der Isar herausgebildet haben, auf das Grundwasser in München keinen merklichen Einfluss gehabt.

Die innerhalb der Zeitperiode 1873—1875 ausgeführten Flussbauten haben eine Änderung des Isarflussbettes hervorgerufen, die sich besonders im rechten Isararme und im Hauptarme flussabwärts ausdrückt. In Folge der durch die Regulierung herbeigeführten Verengerung des Flussbettes wurde dieses allmählich vertieft, das Wasser-niveau also herabgesenkt. Vergleicht man mit diesem Befunde die Schwankungen des Grundwassers in jenen Theilen des Stadtbezirkes, die eben außerhalb des Bereiches der Isarschwankungen sich befinden, so sieht man, dass hier keine derartige, allmähliche Abnahme des Niveaus eingetreten ist.

Vergleichen wir die mittleren Wasserstände der Isar und des Grundwassers in München und zwar nur die jährlichen Schwankungen, so tritt dies aufs deutlichste hervor. Als Vergleichsobject dient der Grundwasserspiegel des Brunnens im physiologischen Institute in München, an einer Stelle, circa  $1500\text{ m}$  westlich von der Isar entfernt,  $521.28\text{ m}$  über dem Meeresspiegel, während der Nullpunkt des Isarpegels, des Bogenhauser Pegels, sich  $504.234\text{ m}$  über dem Spiegel des adriatischen Meeres befindet.

|      | Grundwasserstand in $m$<br>über dem adriat. Meere | Isar-Wasserstand in $m$ über<br>dem adriat. Meere |
|------|---|---|
| 1869 | 515.39  | 503.28  |
| 1870 | .25   | 3.28  |
| 1871 | .40   | 3.19  |
| 1872 | .22   | 3.04  |
| 1873 | .25   | 2.82  |
| 1874 | .15   | 2.46  |
| 1875 | .26   | 2.60 <sup>1)</sup>                                |

<sup>1)</sup> A. Knop: Neues Jahrb. für Min. und Geol. 1878. S. 350.

|      | Grundwasserstand in <i>m</i><br>über dem adriat. Meere | Isar-Wasserstand in <i>m</i> über<br>dem adriat. Meere |
|------|--|--|
| 1876 | 515.85   | 502.57   |
| 1877 | .76  | 2.40   |
| 1878 | .81  | 2.45   |
| 1879 | .58  | 1.98   |
| 1880 | .75  | 1.91   |
| 1881 | .78  | 1.44   |
| 1882 | .34  | 1.17   |
| 1883 | .40  | 0.90   |
| 1884 | .11  | 0.87   |
| 1885 | .11  | 0.47 <sup>1)</sup>                                     |

Das Niveau des Grundwasserstandes ist in München an der hier in Betracht gezogenen Stelle (1.5 *km* von dem Isarufer) im Jahre 1869 um 12.1 *m* höher als das der Isar; während nun in den späteren Jahren nur unbedeutende Schwankungen in dem Grundwasserstande auftreten und erst im Jahre 1875 ein stärkeres und andauerndes Ansteigen des Grundwasserniveaus sich einstellt (mit einer Amplitude von circa 0.7 *m*), zeigt dagegen der Isarwasserspiegel ein fast kontinuierliches und viel rascheres Absinken um mehr als 3.0 *m*, sodass 1885 das Grundwasserniveau 14.6 *m* höher ist als das Isarniveau; die relative Erhebung des Grundwasserniveaus über das der Isar hat also um 2.5 *m* zugenommen.

Vergleichen wir auch noch die Jahresperiode des Isarwasserstandes mit der des Grundwasserstandes in München.

Wir geben S. 62 die Daten für die einzelnen Monate in Detail<sup>2)</sup>, da sie noch keine Veröffentlichung gefunden haben.

#### Jahresperiode des Grund- und Isar-Wasserstandes in München.

1856—85.

|               | Jahresperiode :                                     |  |
|---------------|---|--|
|               | des Grundwassers in <i>m</i><br>über dem adr. Meere | des Isar-Wasserstandes in <i>m</i><br>über Nullpegel |
| Januar . . .  | 515.402   | —1.59  |
| Februar . . . | .417  | —1.56  |
| März . . .    | .482  | —1.31  |
| April . . .   | .501  | —0.85  |
| Mai . . .     | .521  | —0.58  |
| Juni . . .    | .582  | —0.55  |
| Juli . . .    | .592  | —0.69  |
| August . . .  | .567  | —0.83  |
| September . . | .453  | —0.94  |
| October . . . | .367  | —1.31  |
| November . .  | .324  | —1.50  |
| December . .  | .352  | —1.61  |
| Amplitude     | 0.268 <i>m</i> = 1                                  | 1.060 <i>m</i> = 4                                   |

Es zeigt dieser Vergleich der Jahresperiode der Isar und des Münchner Grundwassers gleichfalls die mangelnde Übereinstimmung; abgesehen davon, dass die Amplitude der Isarschwankung mehr als das Vierfache der des Grundwassers in München trägt (in der Zeichnung Fig. 10 verhält sich der Maßstab für die Isarschwankung zu dem des Grundwassers wie 4:1), wodurch schon ein unmittelbarer Einfluss aus-

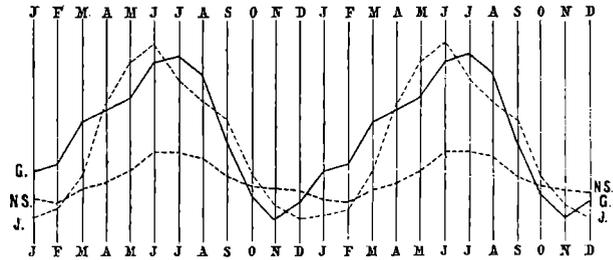
<sup>1)</sup> A. Knop: Neues Jahrb. für Min. und Geol. 1878. S. 350.

<sup>2)</sup> Nach der mir vom kgl. Straßen- und Flussbau-Amt zu München bereitwilligst zur Verfügung gestellten »graphischen Darstellung der niedersten, mittleren und höchsten Monatswasserstände der Isar am Pegel zu Bogenhausen«.

Mittlerer Monatswasserstand der Isar vom Jahre 1856—85.<sup>1)</sup>

|                   | Jan.  | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  | Jahr  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1856              | 0.11  | -0.16 | -0.12 | 0.01  | 0.53  | 1.16  | 1.46  | 0.94  | 1.10  | 0.45  | 0.38  | 0.8   | 0.56  |
| 1857              | 0.16  | 0.11  | 0.49  | 0.96  | 1.05  | 1.25  | 0.85  | 0.89  | 0.81  | 0.63  | 0.05  | 0.00  | 0.60  |
| 1858              | -0.70 | 0.70  | 0.13  | 1.28  | 1.10  | 1.13  | 1.13  | 1.25  | 1.09  | 0.70  | 0.65  | 0.02  | 0.59  |
| 1859              | -0.17 | 0.16  | 1.01  | 1.16  | 1.21  | 1.15  | 0.75  | 0.79  | 1.13  | 0.56  | 0.62  | 0.29  | 0.72  |
| 1860              | 0.29  | 0.01  | 0.15  | 1.24  | 1.39  | 1.40  | 1.20  | 0.99  | 1.00  | 0.77  | 0.28  | 0.29  | 0.75  |
| 1861              | 0.48  | 0.35  | 0.51  | 0.54  | 1.10  | 1.12  | 0.86  | 0.54  | 0.45  | 0.12  | 0.09  | 0.09  | 0.52  |
| 1862              | 0.29  | 0.63  | 0.35  | 0.57  | 0.78  | 1.16  | 0.83  | 0.98  | 0.64  | 0.23  | -0.18 | -0.26 | 0.50  |
| 1863              | -0.19 | -0.22 | -0.25 | 0.30  | 0.61  | 0.88  | 0.46  | 0.41  | 0.24  | -0.15 | -0.13 | -0.22 | 0.15  |
| 1864              | -0.40 | -0.37 | -0.07 | 0.19  | 1.00  | 0.80  | 0.79  | 0.13  | 0.07  | -0.60 | -0.72 | -0.95 | 0.03  |
| 1865              | -0.88 | -0.95 | -1.00 | 0.10  | -0.54 | -0.52 | -0.58 | -0.27 | -0.46 | -1.01 | -1.01 | -1.07 | -0.68 |
| 1866              | -1.08 | -0.85 | -0.78 | -0.15 | -0.36 | -0.36 | -0.16 | -0.26 | -0.14 | -0.89 | -0.91 | -0.61 | -0.50 |
| 1867              | -0.74 | -0.22 | -0.27 | 0.41  | 0.52  | -0.26 | -0.51 | -0.85 | -0.56 | -0.39 | -1.05 | -1.03 | -0.37 |
| 1868              | -1.27 | -1.17 | -0.87 | -0.16 | 0.38  | -0.62 | -0.90 | -0.93 | -1.25 | -1.39 | -1.47 | -1.12 | -0.89 |
| 1869              | -1.39 | -1.34 | -1.53 | -0.47 | -0.83 | -1.03 | -0.81 | -0.43 | -1.09 | -1.03 | -0.73 | -0.70 | -0.95 |
| 1870              | -1.41 | -1.62 | -1.12 | -0.83 | -0.64 | -0.91 | -1.27 | -0.54 | -0.42 | -1.10 | -0.52 | -1.09 | -0.96 |
| 1871              | -1.51 | -1.35 | -0.94 | -0.58 | -0.27 | -0.37 | -0.50 | -0.79 | -1.24 | -1.40 | -1.72 | -1.77 | -1.04 |
| 1872              | -1.61 | -1.58 | -1.49 | -1.09 | -0.75 | -0.49 | -0.78 | -0.43 | -0.75 | -1.53 | -1.74 | -1.97 | -1.18 |
| 1873              | -2.00 | -2.06 | -1.29 | -1.27 | -0.29 | -0.34 | -0.86 | -1.25 | -1.32 | -1.94 | -2.23 | -2.15 | -1.42 |
| 1874              | -2.40 | -2.43 | -2.11 | -1.34 | -1.07 | -0.84 | -1.40 | -0.80 | -1.63 | -2.26 | -2.31 | -2.42 | -1.75 |
| 1875              | -2.27 | -2.47 | -1.97 | -1.49 | -0.75 | -1.35 | -1.09 | -1.75 | -1.47 | -1.17 | -1.66 | -2.16 | -1.63 |
| 1876              | -2.08 | -1.64 | -1.20 | -1.14 | -1.30 | -0.97 | -1.20 | -1.93 | -1.70 | -2.22 | -2.17 | -2.43 | -1.66 |
| 1877              | -2.57 | -1.70 | -2.02 | -1.24 | -1.14 | -0.99 | -1.04 | -1.66 | -1.69 | -2.48 | -2.58 | -2.72 | -1.82 |
| 1878              | -2.42 | -2.62 | -1.96 | -1.34 | -0.57 | -1.29 | -1.52 | -1.41 | -1.25 | -2.02 | -2.35 | -2.64 | -1.78 |
| 1879              | -2.60 | -2.71 | -2.53 | -2.16 | -1.84 | -1.70 | -1.50 | -1.99 | -2.07 | -2.51 | -2.55 | -2.91 | -2.26 |
| 1880              | -2.85 | -2.91 | -2.37 | -2.15 | -2.05 | -1.75 | -1.91 | -1.58 | -2.19 | -2.49 | -2.87 | -2.70 | -2.32 |
| 1881              | -3.30 | -3.46 | -2.80 | -2.74 | -2.01 | -2.17 | -2.48 | -2.80 | -2.27 | -2.98 | -2.97 | -3.55 | -2.79 |
| 1882              | -3.69 | -3.71 | -3.58 | -3.45 | -3.20 | -2.70 | -2.41 | -1.98 | -2.70 | -3.02 | -3.15 | -3.19 | -3.06 |
| 1883              | -3.27 | -3.73 | -3.84 | -3.25 | -2.77 | -1.83 | -2.71 | -3.32 | -3.54 | -3.49 | -3.94 | -3.82 | -3.33 |
| 1884              | -3.90 | -4.10 | -3.86 | -3.22 | -3.10 | -2.75 | -2.54 | -3.17 | -3.36 | -3.25 | -4.06 | -4.22 | -3.46 |
| 1885              | -4.54 | -4.26 | -4.06 | -4.07 | -3.51 | -3.68 | -3.11 | -4.13 | -3.51 | -3.61 | -4.04 | -3.81 | -3.86 |
| Mittel<br>1856—85 | -1.59 | -1.56 | -1.31 | -0.85 | -0.58 | -0.55 | -0.69 | -0.83 | -0.94 | -1.31 | -1.50 | -1.61 | 1.060 |

geschlossen erscheint, sehen wir auch in den einzelnen Schwankungen die Beweise für die wechselseitige Unabhängigkeit. Wohl steigen in den ersten Monaten des Jahres bis Juni gleichmäßig Isar und Grundwasser an, nun aber zeigt sich weiter ein Ansteigen des Grundwassers, während die Isar bereits von da an stark abzusinken beginnt. Es erklärt sich dies einfach daraus, dass die Isar, die ihr Wasser entfernteren Gebirgen entnimmt, bis zum Juli durch die starke Schneeschmelze reichlich gespeist wird, die einen viel größeren Einfluss hat als die Niederschläge, denn diese bleiben noch im Juli-August auf ihrem Maximum (vergl. Cap. II), während die Isar schon bedeutend zu sinken beginnt. Man könnte nun wohl denken, dass dieses Nachgehen in dem Ansteigen des Grundwassers darauf zurückzuführen ist, dass eben die Isar gewissermaßen durch Anstauung und Infiltration das Grundwasser beeinflusst, und dass sich infolge dessen eine Verspätung in dem Ablaufe der Erscheinung beim Grundwasser zeigen musste. Allein dem widerspricht das weitere Verhalten.



(Fig. 10). Doppeljahresperiode für die Schwankungen des Grundwassers (G), des Niederschlages (NS) und der Isar (J) in München. Der Maßstab für die Isar verhält sich zu jenem für Grundwasser und Niederschlag wie 4 : 1.

Vom Monate August beginnt das Grundwasser sich viel rascher zu senken als die Isar, sodass der tiefste Stand des Grundwassers um ein bis zwei Monate früher sich einstellt, als jener des Flusses, aber es erfolgt das Wiederansteigen des Grundwassers im Winter auch wieder früher als das der Isar, ist auch viel steiler, offenbar ist hier das Grundwasser auch wieder von der Schneedecke beeinflusst, welche den Boden vor der Verdunstung und vor dem Einfluss der Windbewegung schützt.

In Salzburg, dessen geologische und klimatologische Beschaffenheit der von München so nahe kommt, zeigt sich auch im Grundwasserstand und Salzachwasserstand dasselbe Verhalten. Auch hier hat sich seit der Regulierung der Salzach zu Beginn der siebziger Jahre das Flussbett an der Brücke nach und nach über einen Meter vertieft<sup>1)</sup>, ohne dass sich dies beim Grundwasser nachweisen ließ, wie dies auch aus Cap. IV und der angefügten Tabelle auf nächster Seite ersichtlich wird. Gerade bei dem hier in Betracht gezogenen Brunnen lässt sich sogar in den Jahren 1872—1878 ein, freilich mitunter unterbrochenes Ansteigen des Grundwasserstandes nachweisen. Vergleichen wir dann noch die Jahresperioden der beiderseitigen Wasserstände; — ähnlich wie in München ist auch hier die Amplitude des Flusses an 6mal so groß, als die des Grundwassers — so stimmen wohl die höchsten Wasserstände der Salzach noch annähernd mit dem höchsten Stande des Grundwassers zusammen, da ja hier das Zusammenwirken der großen Niederschläge der Monate Juni, Juli, August mit der gesteigerten Schnee- und Gletscherschmelze zusammenwirken. Dagegen sehen wir beim Absinken, dass das Grundwasser abermals der Salzach

<sup>1)</sup> Beiträge zur Kenntnis von Stadt und Land Salzburg. 1881. S. 118.

voran geht und dass auch wieder das erste Ansteigen des Grundwassers viel früher und viel rapider erfolgt, als das des Flusses, was wieder nicht der Fall sein könnte, wenn der letztere das Grundwasser durch Erschwerung des Abflusses in Folge von Stauung zum Ansteigen bringen würde. Es ist aber auch hier wie in München abermals auf den Einfluss der Schneedecke hinzuweisen.

### Jahresperiode des Grundwasser- und Salzach-Standes.

|                 | Grundwasser über dem<br>adriat. Meere | Salzachwasserstand |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| Januar . . . .  | <b>422.979</b>                        | -0.59              |
| Februar . . . . | 2.988                                 | -0.58              |
| März . . . . .  | 3.005                                 | -0.38              |
| April . . . . . | 3.024                                 | +0.05              |
| Mai . . . . .   | 3.016                                 | +0.55              |
| Juni . . . . .  | 3.047                                 | +0.72              |
| Juli . . . . .  | <b>3.085</b>                          | +0.67              |
| August . . . .  | <b>3.142</b>                          | +0.56              |
| September . .   | <b>3.088</b>                          | +0.15              |
| October . . . . | 2.994                                 | -0.25              |
| November. . .   | <b>2.926</b>                          | -0.41              |
| December . . .  | <b>2.936</b>                          | -0.50              |
| Amplitude       | 0.216 m = 1                           | 1.310 m = 6.0      |

2. In jenen Fällen aber, wo das Flussbett sich innerhalb des durchlässigen Bodens befindet, hoch über der undurchdringlichen, wassertragenden Schicht, oder nur eben auf dieser letzteren aufruhend, ändern sich die Drainageverhältnisse des Bodens — also die Grundwasserstände in der Nachbarschaft der Flüsse — mit jeder Veränderung des Flussniveaus. Die Höhe des im Boden befindlichen Wassers wird natürlich abhängig sein von der Höhe, in welcher sich der Abfluss — hier das Flussniveau befindet. Der Vorgang wird sich ungefähr in folgender Weise abspielen.

Steigt das Niveau des Flusses, so wird zunächst so lange von Seite desselben Wasser in den Boden einsinken, bis das Grundwasser soweit gestiegen ist, dass sein Niveau den Flusspiegel wieder um jene Höhe überragt, die nöthig ist, um den Widerstand im Boden zu überwinden und das Wasser in abfließender Bewegung zu erhalten.

Eigenthümliche Verhältnisse können sich in diesem Falle bei sehr raschen Anschwellungen der Flüsse bei Hochwässern entwickeln. In diesen Fällen wird das Flusswasser wohl rasch bis zu einer gewissen Höhe in den Boden eindringen, allein schließlich an dem nachrückenden angestauten Grundwasser einen Widerstand vorfinden und dieses gewissermaßen vor sich hertreiben und das Niveau desselben erhöhen. Auf diese Weise kann es vorkommen, dass sich z. B. auf Inseln, die fast vollständig vom Flusse überfluthet sind, aus dem betreffen den Brunnen eine Wassersäule über das Niveau des Flusshochwassers erhebt, welche nichts anderes ist, als das angestaute Grundwasser und welches sich auch durch seine physische und chemische Beschaffenheit (Farbe, Klarheit) von dem Wasser der Hochfluth unterscheidet. Es sind derartige Vorkommnisse z. B. auf der Theben-Karlsdorfer Insel <sup>1)</sup> (bei Pressburg) 6 m über der Donau bei Anlage der dortigen Grundwasserbrunnen beobachtet worden; und spielen diese Verhältnisse natürlich eine große Rolle mit Rücksicht auf die Frage, ob und wie tief das Flusswasser unter solchen Verhält-

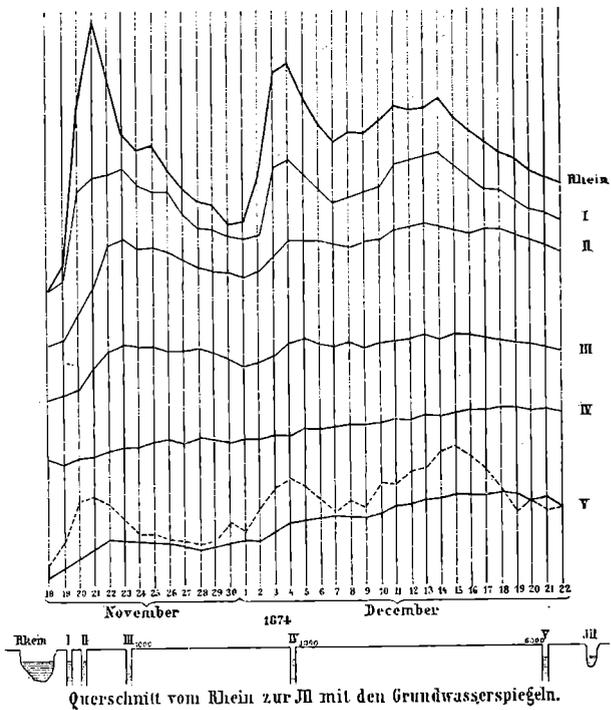
<sup>1)</sup> Nach privaten Mittheilungen der Herren Baurath Salbach u. v. Wessely, den Erbauern der Pressburger Wasserwerke.

nissen in den Boden eindringt, ob und in welcher Menge es sich dem Grundwasser beimengt, denn durch diese künstliche Anstauung des Grundwassers wird dasselbe bis zu einer solchen Höhe gehoben, dass es mitunter dem Flusswasser den Eintritt in den Boden verwehrt, und da das letztere bei solchen Hochfluthen rasch abfließt, so werden in der That keine allzu großen Mengen Flusswasser in den Boden eindringen.

Sinkt nun wieder das Flussniveau, so vertieft sich damit gewissermaßen die Drainage, der Abfluss des Grundwassers wird beschleunigt, und das Grundwasser fällt so lange, bis wieder das Gleichgewicht zwischen Höhe des Grundwassers einerseits und Reibung im Boden und Tiefe des drainierenden Flussbettes andererseits hergestellt ist. Das Grundwasser wird also die Schwankungen des Flusses mitmachen, nur werden dieselben etwas verspätet im Grundwasser zum Ausdruck kommen müssen, da ja der Widerstand im Boden zu überwinden ist.

Der Einfluss des Flusswasserstandes auf die Schwankungen des Grundwasserstandes wird natürlich am größten sein in der unmittelbarsten Nachbarschaft des Gerinnes; je weiter entfernt von demselben, desto mehr muss sich die Wirkung verspäten und in Folge dessen auch abschwächen. Man sieht dies sehr deutlich aus den Verhältnissen in Straßburg, wo sich ein deutlicher Zusammenhang mit dem Flusswasser ergibt. Wir sehen da, dass die Ill in dem durchlässigen Rheindiluvium verläuft und ebenso auch der Rhein. Das Grundwasser strömt wohl auch hier langsam dem Flusse zu, folgt jedoch dessen Schwankungen, besonders denen der Ill. Ein sehr leicht verständliches und interessantes Bild gibt eine vergleichende graphische Darstellung der Rhein- und Illschwankungen mit denen des Grundwassers.<sup>1)</sup>

In Figur 11 sind nach den Untersuchungen von Gruner und Thiem die Pegelstände des Rheins, der Ill, sowie fünf Nertonischer Röhren oder Brunnen in der Zeit vom 18. November bis 22. December



(Fig. 11) Schwankungen des Rheins, der Ill und des Grundwassers bei Straßburg vom 18. November bis 22. December 1874. I. Grundwasser am Napoleonsrhein (Weißes Haus) vom Rhein 0.1 km entfernt II. Grundwasser auf der Sporeninsel, 0.5 km vom Rhein. III. Grundwasser in der Buchau, 1.1 km vom Rhein. IV. Grundwasser in der Nachtweid, 3.3 km vom Rhein. V. Grundwasser im Ostwald, Haus 96, 6.7 km vom Rhein. Gestrichelt: Schwankungen der Ill am Pegel zwischen Illkirch und Ostwald, 7.4 km vom Rhein.

<sup>1)</sup> Topographie der Stadt Straßburg. Straßburg. 1885.

1874 aufgetragen. Das erste Grundwasserbohrloch ist nur 100 m, das zweite 500 m, das dritte 1100 m vom Rheine entfernt, das vierte Bohrloch ziemlich in der Mitte zwischen Rhein und Ill, das fünfte der Ill ganz nahe. Sobald der Rhein steigt, steigt auch das Grundwasser. In den ersten drei Bohrlöchern ist das Steigen um so geringer und erfolgt um so später, je weiter das Grundwasser vom Rhein entfernt ist. In dem vierten Bohrloch ist nunmehr ein gleichmäßiges und langsames Steigen des Grundwassers bemerkbar. In der Nähe der Ill macht sich dann wieder der größere Einfluss letzterer auf das Niveau des ihr nahe gelegenen Grundwasserspiegels bemerkbar. Es weist diese Beobachtung darauf hin, dass wir es hier in der That mit einer Nachwirkung des Flusswasserstandes zu thun haben. (Vgl. auch Wien S. 71). Dieser ziemlich unmittelbare und mächtige Einfluss des Flusses auf die Grundwasserschwankungen kann nun dazu führen, dass der im Cap. II entwickelte, natürliche Rhythmus, der aus dem Wechselverhältniss zwischen Niederschlag und Sättigungsdeficit sich ergibt, entweder beibehalten wird, und nur noch im verstärkten Maße sich ausprägt, oder aber, dass er durch den Fluss mehr oder weniger vollständig alteriert wird. Es wird dies von dem jeweiligen Rhythmus der Flusswasserschwankungen abhängen und wir werden wieder zwei Fälle zu unterscheiden haben:

A) Der erste Fall ist der, dass die Schwankungen des Flusses selbst von denselben meteorischen Factoren beeinflusst sind, wie die des Grundwassers. Dieselben wirken nur auf die Flüsse viel unmittelbarer ein, da nicht die Behinderung durch den Erdboden eintritt. Es werden infolgedessen die Schwankungen des Flusses viel unmittelbarer erfolgen und wohl auch in den meisten Fällen viel größer sein. Dort nun, wo auf den Fluss keine anderen klimatischen Factoren einwirken, als solche, die auch auf das Grundwasser sich geltend machen, wo also auch dieselben Wechselbeziehungen zwischen den den Fluss speisenden Niederschlägen und dem Sättigungsdeficit bestehen, wie dies bei den Flüssen der Ebene ist, wird der Einfluss auf den Rhythmus des Grundwassers sich hauptsächlich nach dieser Richtung hin äußern, dass dadurch die Wirkungen sowohl des Niederschlags als auch des Sättigungsdeficits erhöht werden; denn wenn der Niederschlag gleichzeitig dem Grundwasser zugute kommt und auch den Fluss anschwellen macht, so wird dadurch das Ansteigen des Grundwassers sowohl durch Zufluss als auch durch Stauung vermehrt, und wenn umgekehrt das erhöhte Sättigungsdeficit zur Verminderung des Grundwassers beiträgt und gleichzeitig zum Abschwellen des Flusses, so wird dadurch der Grundwasserstand nicht bloß durch den Verlust, sondern auch durch den nun gesteigerten Abfluss vermindert. Wir haben also in diesem Falle eine combinirte, gesteigerte Wirkung, indem beide Factoren in demselben Sinne zusammenwirken, und das natürliche Abhängigkeitsverhältniss erscheint nicht gestört, sondern nur etwas in einer gewissen Verzerrung, Vergrößerung.

B) Anders ist es jedoch, wenn auf den Fluss klimatische Factoren wirken, die anderer Natur sind, als jene, welche auf den Grundwasserstand einwirken. Dies ist bei jenen Flüssen der Fall, die aus dem Gebirge kommen, und bei denen einestheils die veränderten meteorologischen, (besonders Niederschlags-)Verhältnisse des Gebirges zur Geltung gelangen, sodann aber auch die Verspätung, die sich durch die massenhaften Schneeablagerungen in den Zuflüssen der Flüsse während der ersten Jahresmonate äußern. In diesem Falle wird zur Zeit der Schneeschmelze den Flüssen eine Wassermenge zugeführt, die von früheren Monaten herührt und nun ein derartiges Anschwellen der Flüsse bewirkt, für welches

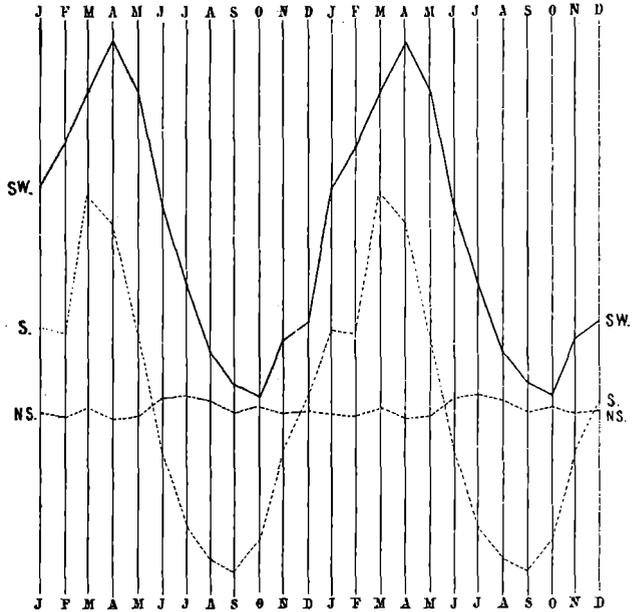
wir in den Niederschlagsverhältnissen der Ebene in den Zuflüssen des Grundwassers derselben vergebens nach einer Analogie suchen.

Außerdem werden bei diesen vom Gebirge her gespeisten Flüssen auch noch die quantitativ abweichenden

Verhältnisse der Niederschläge in Betracht zu ziehen sein, die größere Menge die Steigerung der Sommerniederschläge, die dann das Sättigungsdeficit so reichlich überwiegen.

1. Nehmen wir nun wieder einige concrete Beispiele und zwar zunächst für den ersten Typus, wo gleichartige meteorische Factoren auf das Grundwasser und den Fluss einwirken, so finden wir solche zunächst in Berlin. Hier besteht die größte

Übereinstimmung zwischen Grundwasser- und Flusswasserstand. (Fig. 12.)



(Fig. 12.) Doppeljahrssperiode des Grundwassers (SW.), des Spree-Spiegels (S.) und des Niederschlages (NS.) zu Berlin.

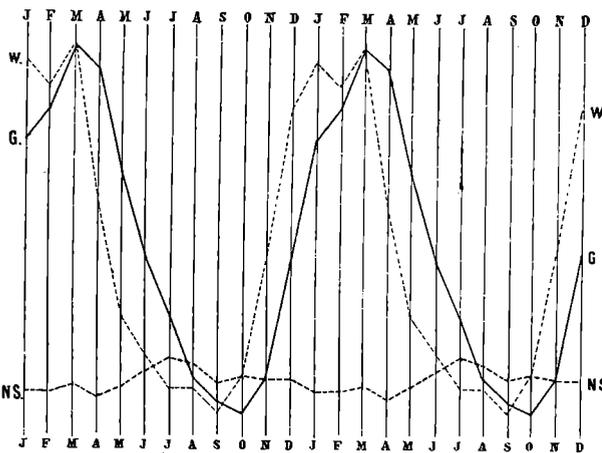
Jahresperiode des Grund- und Spree-Wasserstandes in Berlin 1870—85.

|                | Grundwasserstand über dem Meere in <i>m</i> | Mittl. Spree-Wasserstand in <i>m</i> |
|----------------|---|--------------------------------------|
| Januar . . .   | 32.72                                       | 32.49                                |
| Februar . . .  | 32.79                                       | 32.48                                |
| März . . . .   | 32.88                                       | 32.71                                |
| April . . . .  | 32.96                                       | 32.66                                |
| Mai . . . . .  | 32.88                                       | 32.48                                |
| Juni . . . . . | 32.69                                       | 32.29                                |
| Juli . . . . . | 32.56                                       | 32.16                                |
| August . . . . | 32.45                                       | 32.11                                |
| September . .  | 32.40                                       | 32.09                                |
| October . . .  | 32.38                                       | 32.14                                |
| November . .   | 32.47                                       | 32.29                                |
| December . .   | 32.50                                       | 32.38                                |
| Amplitude      |   | 0.580 <i>m</i> = 1                   |
|                |   | 0.620 <i>m</i> = 1.07                |

Nach der geologischen Beschaffenheit des Bodens von Berlin ist hier ein Infiltrationsgebiet vorhanden und ist das Gefälle des Grundwassers zum Flusse nur sehr gering, es muss also ein jedes Steigen der Spree ein Anstauen und eine seitliche Infiltration im Gefolge haben, ein jedes Absinken einen gesteigerten Abfluss. Die Curve des Grund- und Flusswasserstandes zeigt, dass die beiderseitigen Wasserstände nach Rhythmus außerordentlich übereinstimmen und auch sogar nach der Ampli-

tude. Nur gehen die Änderungen und Schwankungen des Flusses denen des Grundwassers um circa einen Monat voran, weil ja eben die Anstauung sowohl, als auch der Abfluss nur allmählich sich im Boden auf weite Strecken geltend machen kann. Gerade die eigenthümliche Configuration Berlins erklärt es, warum hier auch in Bezug auf die Amplitude eine so außerordentliche Übereinstimmung herrscht. (Die Maßstäbe für Grundwasser und Spree sind die gleichen.)

In Berlin werden entsprechend dem großen Einflusse des Flusses auf die Grundwasserverhältnisse auch durch die den Schifffahrtzwecken dienenden Anlagen manche Modificationen in den Grundwasserverhältnissen künstlich geschaffen. Durch die Stauung, die das Wasser des Schifffahrtscanales zwischen den Schleußen erfährt, bildet sich eine gewisse Verschiedenheit zwischen dem Grundwasserniveau der Nord- und Südrandzone der Niederstadt. Der Grundwasserstand, sowohl der höchste als der niedrigste, nimmt südlich von der Spree continuierlich ein höheres Niveau ein als nördlich, die Schwankungen sind auf dieser Seite auch viel geringer. Die Folgen der Schleußenstauung treten auch dauernd in Infiltrationen des Untergrundes zu Tage, auch beim tiefsten Grundwasserstande. Das Wasserniveau bildet hier einen 1—1.2 m sich erhebenden abgestumpften Kegel, dessen Kuppel vom Niveau des Schleußengrabens gebildet wird und der nach beiden Seiten hin sehr



(Fig. 13.) Doppeljahresperiode des Weserspiegels (W.), des Grundwassers (G.) und des Niederschlages (NS.) in Bremen. (Der Maßstab für die Weser verhält sich zu jenem für Grundwasser und Niederschlag wie 3,5 : 1.)

steil abfällt. 1.2 auf 20 m nach Norden, 1.3 auf 33 m nach Süden. Aber auch die aus andauernden Hochwasserständen hervorgehende Hebung des Grundwasserspiegels in der Umgebung der oberen Spree hat eine Infiltration des Bodens mit Spreewasser zur Folge, die das Eintreten des Wassers in die Kellergeschosse und Häuser verursacht und als sanitärer Nachtheil empfunden wird.<sup>1)</sup>

Der Fluss ist in Berlin wohl zum größten Theile ein Product der Ebene und es wirken weder die Factors des Gebirges auf ihn ein, noch größere Nebenflüsse, sodass wirklich die Übereinstimmung sich sogar auf die Amplitude erstreckt.

Etwas anders sind schon die Verhältnisse in Bremen. Wohl haben wir hier auch die große Übereinstimmung der Jahresperioden, aber nicht mehr in der Jahres-Amplitude. Die Amplitude des Flusses in Bremen ist eine circa 3 $\frac{1}{2}$ mal so große als die des Grundwassers. Dies hat wohl seinen Grund, dass wir es hier mit einem mächtigen Strome zu

<sup>1)</sup> Berliner Festschrift. 1886.

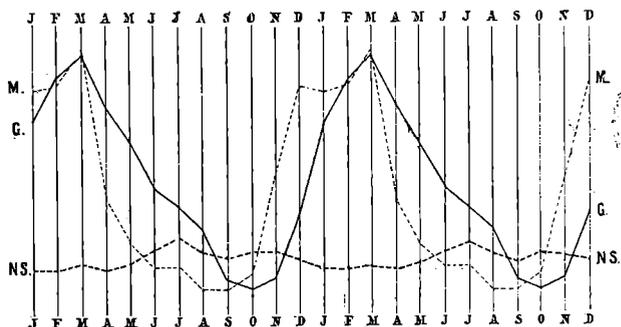
thun haben, dessen Schwankungen große Dimensionen annehmen, und auf den zu gleicher Zeit auch noch die Schwankungen großer Nebenflüsse übertragen werden.

Jahresperiode des Grund- und Weser-Wasserstandes in Bremen. 1872—84.

|   |     |     |    |    |    |     |     |     |    |    |     |               |
|---|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|---------------|
| Grundwasserstand in cm über dem Weserpegel;           |     |     |    |    |    |     |     |     |    |    |     |               |
| J.  | F.  | M.  | A. | M. | J. | Jl. | A.  | S.  | O. | N. | D.  | Amplitude:    |
| 83  | 88  | 98  | 95 | 78 | 63 | 54  | 44  | 40  | 38 | 43 | 64  | 0.600 m = 1   |
| Weser-Wasserstand <sup>1)</sup> in cm über dem Pegel: |     |     |    |    |    |     |     |     |    |    |     |               |
| 173   | 158 | 182 | 91 | 25 | 3  | -16 | -16 | -30 | -7 | 60 | 147 | 2.120 m = 3.5 |

Ganz interessante und eigenthümliche Verhältnisse bietet Frankfurt a. M. entsprechend seinem geologischen Bau. <sup>2)</sup> In Frankfurt a. M.

ruht auf einer mächtigen Tertiärschichte das Diluvium, aus Sand und Kies bestehend, welchem dann die alluvialen Bildungen und der Riethboden aufliegt; dabei dacht sich die undurchlässige Schichte von Nordost nach Südwest etwas unregelmäßig ab, sodass bald einzelne Einsenkungen, bald Vorwölbungen auftreten. Das unterirdische Wasser, das auf dieser



(Fig. 14.) Doppeljahresperiode für den Mainspiegel (M.), das Grundwasser (G.) und den Niederschlag (NS.) zu Frankfurt a. M. Der Maßstab für den Mainspiegel verhält sich zu jenem des Grundwassers und Niederschlages wie 2.5 : 1.

Fläche zum Abfließen gelangt, fließt ebenfalls in der Richtung von Nordost nach Südwest dem Main zu, ohne jedoch für gewöhnlich eine besonders mächtige Ansammlung zu zeigen. Das Bett des Mains zeigt nun ein besonderes Verhalten. Das Tertiär streicht knapp über dem Mainspiegel aus. Bei gewöhnlichem Wasserstande

Jahresperiode des Grund- und Main-Wasserstandes in Frankfurt a. M. 1869—85.

|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| Grundwasserstand in cm über den Main-Pegel: |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
| J.  | F.  | M.  | A.  | M.  | J.  | Jl. | A.  | S.  | O.  | N.  | D.  | Amplitude:    |
| 442   | 449 | 453 | 445 | 439 | 431 | 428 | 424 | 415 | 414 | 416 | 429 | 0.390 m = 1   |
| Main-Wasserstand in cm über dem Pegel:      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
| 103   | 106 | 120 | 64  | 48  | 36  | 36  | 26  | 26  | 43  | 73  | 105 | 0.960 m = 2.4 |

kann also das Grundwasser ohne weiters zum Main abfließen, sein Abfluss wird in diesem Falle vom Main gar nicht beeinflusst. Dagegen muss bei Hochwasserstand, sowie der Main über diese Linie emporsteigt, sofort eine Stauung, eine Infiltration eintreten; die Curve zeigt nun

<sup>1)</sup> Jahrbücher für bremische Statistik.

<sup>2)</sup> Frankfurt a. M. in seinen hygien. Verhältnissen und Einrichtungen. 1881. Festschrift, darin: Bodenverhältnisse von Dr. C. Koch, ferner: Geologische Tektonik der Umgebung von Frankfurt a. M. und: Die Tertiärletten und Mergel in der Baugrube des Frankfurter Hafens von F. Kinkelin, Bericht der senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft. 1885.

wieder die Übereinstimmung in dem Ablauf der Schwankungen, die aber doch keine vollständige ist; besonders der Abfall scheint dafür zu sprechen, dass in der That der stauende Einfluss nur bis zu einer gewissen Höhe geht; von seinem höchsten Stande März fällt der Main sehr rapid, das Grundwasser jedoch viel langsamer.

2. Als ein Beispiel für jene Beeinflussung von Seite eines Flusses, der nicht bloß durch die klimatischen Factoren seines engeren Gebietes, sondern auch durch solche entfernterer, klimatisch differenter Gegenden getroffen wird, dienen noch die Beziehungen des Donaucanals zum Grundwasserstande im Donaugebiete Wiens. In Wien werden sich allerdings entsprechend der eigenthümlichen Configuration der undurchlässigen Schichte (vgl. Seite 10) mehrfache Bilder in den Beziehungen des Grundwassers zu den meteorologischen Factoren und dem Flusse geltend machen. In der unmittelbarsten Nachbarschaft des Donau-

Wien, Jahresperiode 1876—85:

|              | Donaukanal <i>m</i>  | Grundw. d. Brunnen: |                    | Niedersch.      | Sättigungsdef. |
|--------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|----------------|
|              |                      | I.                  | II.                | <i>m</i>        | <i>mm</i>      |
| Januar . .   | -0.357               | 1.52                | 1.33               | 31.06           | 0.67           |
| Februar . .  | +0.055               | 1.51                | 1.36               | 42.45           | 0.97           |
| März . . .   | +0.408               | 1.82                | 1.55               | 44.93           | 1.85           |
| April . . .  | +0.128               | 1.65                | 1.56               | 52.64           | 2.94           |
| Mai . . . .  | +0.689               | 2.03                | 1.62               | 90.04           | 3.69           |
| Juni . . . . | +0.670               | 2.45                | 1.74               | 63.40           | 4.82           |
| Juli . . . . | +0.865               | 2.55                | 1.71               | 75.40           | 5.81           |
| August . .   | +0.536               | 2.35                | 1.70               | 75.10           | 4.86           |
| September    | +0.194               | 2.07                | 1.61               | 46.10           | 3.19           |
| October . .  | -0.136               | 1.77                | 1.54               | 59.45           | 1.60           |
| November     | -0.343               | 1.37                | 1.44               | 49.98           | 1.03           |
| December     | -0.233               | 1.47                | 1.40               | 51.01           | 0.65           |
| Mittel . .   | 0.231                | 1.71                | 1.55               | 56.8            | 2.13           |
| Amplitude    | 1.222 <i>m</i> = 3.0 | 1.18 <i>m</i> = 2.9 | 0.410 <i>m</i> = 1 | 58.98 <i>mm</i> | 5.16 <i>mm</i> |
| Jahressumme  | —                    | —                   | —                  | 681.6           | —              |

| Côte des Terr.<br>über d. Null-<br>punkt des Pegels<br>der Ferdinandsbrücke <sup>1)</sup> | Höhe des<br>Terrains über<br>dem adriat.<br>Meer | Tiefe d. Brun-<br>nensohle unter<br>dem Boden | Höhe der<br>Brunnensohle<br>über dem <sup>2)</sup><br>adriat. Meere | Die Brunnen-<br>sohle liegt<br>unter (-) dem<br>Nullpunkt des<br>Donaupegels | Horizontale<br>Entfernung v.<br>Donaucanal |
|---|--|---|---|--|--|
| Brunnen I. Rossauer-Kaserne:  |  |   |   |  |  |
| 8.43  | 165.247  | 9.72  | 155.527   | -1.290   | circa 300 <i>m</i>                         |
| Brunnen II. Rennweger-Kaserne:  |  |   |   |  |  |
| 15.91   | 172.727  | 18.65   | 154.077   | -2.740   | circa 1050 <i>m</i>                        |

canales wird aber ein analoges Verhältnis bestehen, wie zum Beispiel in Berlin, und das wird auch ersichtlich bei dem Vergleiche, den wir nach zehnjährigen Messungen zwischen dem Donaucanal und einem benachbarten Brunnen der Rossauer Caserne (I), vornehmen (vgl. die Tabelle); dieser Brunnen, der circa 300 *m* vom Canale entfernt ist und dessen Sohle - 1.29 *m* unter der Donau gelegen ist, concidiert vollständig mit den Schwankungen des Donaucanals. Wir sehen in beiden Fällen eine im Monate März sich kundgebende Anschwellung, die wohl auf analoge

<sup>1)</sup> Der Nullpunkt des Pegels bei der Ferdinandsbrücke beträgt 156.817 *m*.

<sup>2)</sup> Diese Zahlen weichen von den in den »monatlichen Übersichten der Ergebnisse von hydrometrischen Beobachtungen« angeführten aus dem Grunde ab, weil in diesen letzteren der Donaupegel an der Ferdinandsbrücke mit 159.77 *m* angenommen ist.

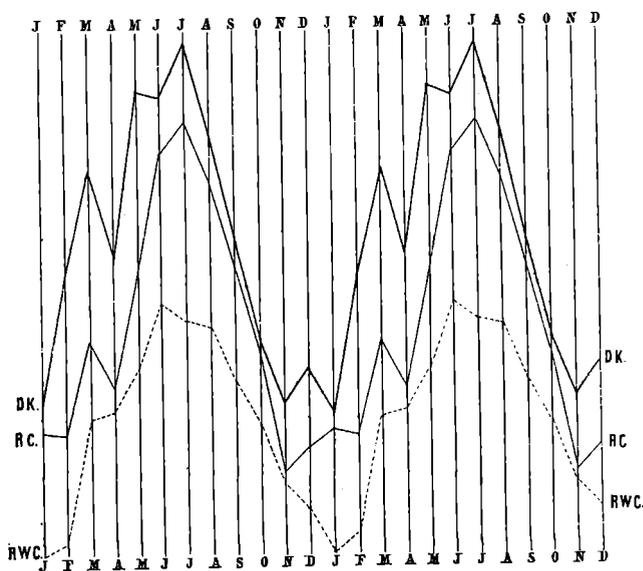
Verhältnisse zurückzuführen ist, wie die des Grundwassers in Salzburg, auf die locale Schneeschmelze, wir sehen sodann ein hochgradiges Ansteigen des Grundwassers bis in den Monat Juli, offenbar von der Schnee- und Gletscherschmelze im Gebirge herrührend, sodann ein rapides Absinken bis zum Monat November. Bei dem Umstande, dass der Brunnen sich in so großer Nähe der Donau befindet, ist der Rhythmus beiderseitig ein so überaus übereinstimmender, sowohl nach der Amplitude als auch nach der Zeit, es spricht sich kaum eine Verspätung aus.

Bei dem zweiten Brunnen, dem der Rennweger - Kaserne, circa 1050 m vom Donauanal entfernt und mehr in der Nähe der Wien, die aber, da sie in undurchlässigem Boden einschneidet (vgl. oben), von keinem Einflusse auf das Grundwasser

ist, tritt jenes Verhältnis zu Tage, dass sich bei den Grundwasserverhältnissen vom Straßburg so deutlich ausspricht, die Abschwächung des Einflusses mit der Entfernung. Der Rhythmus ist wohl hier noch derselbe wie am Donauanal, doch treten schon etwas größere Unregelmäßigkeiten auf und die Amplitude ist bereits auf  $\frac{1}{3}$  reduciert.

Es geht nun aus diesem Verhältnisse zwischen Grundwasserstand und Flusswasserstand in den klimatischen Gebieten dieser Kategorie hervor, dass wir hier aus dem Grundwasserstand nicht direct auf die abgelaufenen Veränderungen in der Bodenfeuchtigkeit schließen dürfen, wie in jenen Gegenden, wo das Grundwasser ganz unabhängig ist vom Flusse, oder wo der Fluss und das Grundwasser denselben klimatologischen Einflüssen ausgesetzt sind. Es hat diese Auffassung ihre große epidemiologische Bedeutung und Pettenkofer war der erste, der hierauf hingewiesen.

Die Jahre 1876—85 waren sehr regenreiche, sodass die durchschnittliche Regenmenge, 681.6 mm im Jahre, jene aus langjährigen (34 Jahre Hann) Beobachtungen gewonnene, welche nur die Höhe von 595 mm beträgt, weit übertrifft. Auch die Amplitude ist nach diesen langjährigen Beobachtungen eine viel kleinere, 37 mm. Das lässt darauf schließen, dass auch das Sättigungsdeficit in Wien, für eine mehrjährige Periode berechnet, ein noch höheres sein dürfte.



(Fig. 15.) Doppeljahresperiode der Schwankungen des Spiegels vom Donauanal (DK.) und des Grundwassers in der Rossauer-Caserne (RC.) und Rennweger-Caserne (RWC.) in Wien.

## VIERTES CAPITEL.

### Übereinstimmung der hydrometeorischen Vorgänge nach Ort und Zeit.

Beziehungen zwischen Grundwasser in München und Würm-See, Ammer-See und Isar. — Jahresperiode des Grundwassers in München, des Würm-Sees und Ammer-Sees und der Isar. — Künstliche Vertiefung des Isarstrombettes. — Vergleich der Jahresmittel des Wasserstandes, von Grundwasser in München, Würm-See und Ammer-See. — Parallelismus mit dem Niederschlage. — Klimatische Übereinstimmung in dem Gebiete der Norddeutschen Tiefebene. — Jahresmittel der Grundwasserschwan- kungen in Berlin, Frankfurt a. M., Bremen. — Übereinstimmung der Jahresmittel des Wasserstandes der Spree, des Mains und der Weser. — Die Jahressumme der Niederschläge. — Klimatischer Vergleich von München und Salzburg. — Jahresmittel des Grundwasserstandes, Jahressumme der Niederschläge von München und Salzburg. — Schluss.

Die Grundwasser-Ansammlungen im Boden sind, nicht mit Unrecht, als große Reservoirs aufgefasst worden, welche den Abfluss des Niederschlags regulieren; das Wasser, das in den Boden versinkt und als Grundwasser in demselben circuliert, kommt schließlich auch den Flüssen zu, die es zum Meere führen, aber der Abfluss wird wesentlich modificiert, seine Rapidität vermindert; so hat man denn auch die Grundwasser-Ansammlungen mit Seen verglichen, die ja auch die allzu plötzlichen Veränderungen im Wasserstande der Flüsse zu modificieren und zu mildern vermögen, indem sie dieselben auf einen größeren Raum, auf eine längere Zeit vertheilen. Es dürfte darum nicht ohne Interesse sein, dort, wo in einem klimatisch und geologisch einheitlichen Bezirk, wie es die im I. Capitel geschilderte bayerische Hochebene darbietet, die Wasserbewegung, wie sie sich im Grundwasser ausspricht, zu vergleichen mit dem Ablauf dieser Erscheinung in den beiden Seen Ammersee und Würmsee (Starnbergersee), die sich in den Endmoränen des ehemaligen Isargletschers befinden und ihren Abfluss in jenes Gebiet nehmen, das sich in Form des S. 5 geschilderten einheitlichen Glacialgebietes bis über München erstreckt, wo eben die unterirdischen Wasserverhältnisse zuerst Gegenstand des Studiums geworden sind.

Auch der Vergleich mit dem dieses Gebiet durchströmenden großen Flusslauf, der Isar, dürfte nicht ohne Interesse sein.

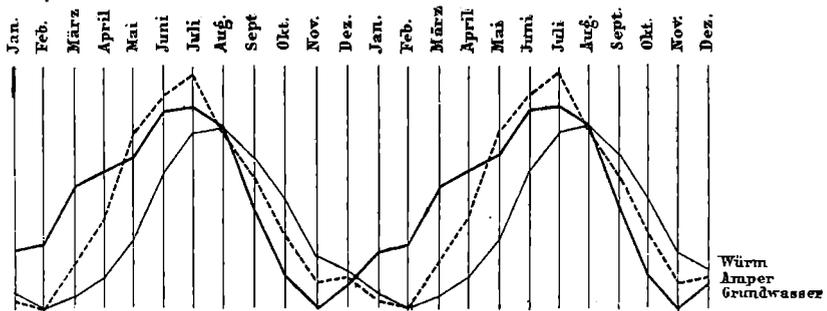
Als Maßstab für die Schwankungen des Seespiegels dienen uns die Wasserstände der beiden, ihren Abfluss bewirkenden Flüsse Amper und Würm unmittelbar an ihrem Austritt aus dem See, bei der Amper in Stegen, bei der Würm in Starnberg. Diese Messungen, die vom königl.

bayer. Straßen- und Flussbauamt seit mehreren Decennien ausgeführt werden, und mir bereitwilligst zur Verfügung gestellt wurden, sind auf Seite 74 und 75 verzeichnet.

Wir wollen außerdem in diesen Vergleiche noch die Niederschläge und den Isarwasserstand hinein beziehen und zunächst die (30jährige) Jahresperiode untersuchen.

Jahresperiode des Niederschlages, Grundwasser- und Isarwasserstandes in München und der Amper und Würm am Ausflusse aus den betreffenden Seen.

|                | Niederschlag<br>in mm | Grundwasser-<br>stand in m<br>über dem<br>adr. Meere | Würm (Starn-<br>berger-See) | Amper<br>(Ammer-See) | Isar<br>(München) |
|----------------|-----------------------|--|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Januar . . .   | 35.0                  | 515.402  | 0.42                        | 0.16                 | -1.59             |
| Februar . . .  | 29.1                  | 515.417  | 0.40                        | 0.14                 | -1.56             |
| März . . . .   | 48.4                  | 515.482  | 0.41                        | 0.20                 | -1.31             |
| April . . . .  | 55.5                  | 515.501  | 0.44                        | 0.26                 | -0.85             |
| Mai . . . . .  | 77.1                  | 515.521  | 0.49                        | 0.37                 | -0.58             |
| Juni . . . . . | 112.1                 | 515.582  | 0.58                        | 0.42                 | -0.55             |
| Juli . . . . . | 111.8                 | 515.592  | 0.63                        | 0.45                 | -0.69             |
| August . . . . | 101.7                 | 515.567  | 0.64                        | 0.37                 | -0.83             |
| September . .  | 71.7                  | 515.453  | 0.60                        | 0.31                 | -0.94             |
| October . . .  | 54.4                  | 515.367  | 0.54                        | 0.23                 | -1.31             |
| November . .   | 50.5                  | 515.324  | 0.47                        | 0.17                 | -1.50             |
| December . .   | 45.8                  | 515.352  | 0.48                        | 0.18                 | -1.61             |
| Amplitude.     | 0.083m                | 0.268  | 0.240                       | 0.310                | 1.060             |



(Fig. 16.) Doppeljahresperiode des Grundwasserstandes in München und des Wasserstandes des Würm- und Ammersees.

Vor allem fällt uns nun hier die Uebereinstimmung auf in der Amplitude der Seen einerseits und des Grundwassers andererseits; sie beträgt für den Starnbergersee 0,240 m, für den Ammersee 0,310 m, für das Grundwasser in München 0,268; die der Isar dagegen: 1,060, ist drei bis viermal so groß. Es spricht diese Thatsache jedenfalls für unsere Voraussetzung, dass das Grundwasser für das abfließende Wasser in ähnlicher Weise als ein Reservoir, als ein großer Becken anzusehen ist, in welchem allerdings durch den Widerstand die Bewegung auch noch erschwert, der Abflaut verzögert und die Größe der Schwankung vermindert wird. Was nun den jahreszeitlichen Rhythmus anbelangt, Fig. 16, so ist derselbe bei den beiden Seen fast identisch zu nennen; nur das größte Maximum eilt beim Ammersee dem Würmsee um einen Monat voraus und tritt bereits im Juli ein, sonst ist aber ein vollständiger Parallellismus, der sich sogar in jener die absteigende Schenkel der Curve unterbrechenden Er-

Mittlerer Monatswasserstand der Würm vom Jahre 1856—85.

| Jahr        | Jan.  | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  | Summe  | Mittel |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1856        | 0.29  | 0.31  | 0.26  | 0.19  | 0.22  | 0.39  | 0.54  | 0.58  | 0.53  | 0.41  | 0.34  | 0.44  | 4.50   | 0.37   |
| 57          | .39   | .29   | .27   | .39   | .38   | .52   | .52   | .47   | .34   | .24   | .15   | .08   | 4.04   | .34    |
| 58          | .07   | .07   | .10   | .22   | .36   | .40   | .44   | .56   | .63   | .60   | .58   | .58   | 4.61   | .38    |
| 59          | .53   | .51   | .56   | .63   | .75   | .85   | .75   | .68   | .63   | .58   | .53   | .53   | 7.53   | .63    |
| 60          | .51   | .46   | .46   | .46   | .48   | .63   | .80   | .98   | .98   | .95   | .75   | .68   | 8.14   | .68    |
| 61          | .70   | .68   | .63   | .57   | .54   | .64   | .71   | .69   | .53   | .46   | .32   | .31   | 6.78   | .56    |
| 62          | .23   | .40   | .39   | .40   | .44   | .58   | .63   | .64   | .68   | .61   | .54   | .46   | 6.00   | .50    |
| 63          | .44   | .44   | .36   | .35   | .41   | .51   | .52   | .52   | .48   | .47   | .45   | .40   | 5.35   | .45    |
| 64          | .35   | .34   | .37   | .43   | .58   | .70   | .88   | .90   | .82   | .70   | .62   | .51   | 7.20   | .60    |
| 65          | .46   | .46   | .45   | .44   | .44   | .41   | .31   | .36   | .36   | .22   | .13   | .07   | 4.11   | .34    |
| 66          | .04   | .08   | .19   | .36   | .44   | .49   | .56   | .68   | .76   | .69   | .51   | .51   | 5.31   | .44    |
| 67          | .56   | .68   | .67   | .82   | .84   | .90   | .83   | .71   | .69   | .76   | .71   | .66   | 8.83   | .73    |
| 68          | .66   | .65   | .63   | .64   | .68   | .65   | .59   | .49   | .32   | .24   | .17   | .19   | 5.91   | .49    |
| 69          | .27   | .24   | .24   | .26   | .41   | .45   | .51   | .57   | .52   | .41   | .41   | .46   | 4.75   | .39    |
| 70          | .41   | .36   | .40   | .44   | .36   | .36   | .30   | .39   | .50   | .49   | .51   | .58   | 5.10   | .43    |
| 71          | .58   | .60   | .65   | .65   | .73   | .69   | .78   | .71   | .56   | .46   | .36   | .29   | 7.06   | .59    |
| 72          | .23   | .24   | .29   | .32   | .42   | .71   | .75   | .75   | .65   | .51   | .45   | .41   | 5.73   | .48    |
| 73          | .35   | .27   | .36   | .36   | .47   | .65   | .68   | .64   | .58   | .48   | .36   | .31   | 5.51   | .46    |
| 74          | .27   | .26   | .21   | .28   | .39   | .51   | .62   | .60   | .53   | .44   | .36   | .38   | 4.85   | .40    |
| 75          | .41   | .46   | .47   | .53   | .51   | .54   | .66   | .66   | .58   | .59   | .61   | .60   | 6.62   | .55    |
| 76          | .60   | .60   | .78   | .77   | .81   | .78   | .80   | .58   | .45   | .32   | .25   | .24   | 6.98   | .58    |
| 77          | .25   | .35   | .45   | .60   | .64   | .58   | .65   | .73   | .74   | .59   | .46   | .39   | 6.43   | .53    |
| 78          | .44   | .49   | .55   | .57   | .66   | .70   | .66   | .75   | .83   | .79   | .63   | .50   | 7.57   | .63    |
| 79          | .46   | .42   | .41   | .39   | .47   | .52   | .62   | .60   | .59   | .54   | .47   | .40   | 5.89   | .49    |
| 80          | .40   | .33   | .36   | .40   | .43   | .58   | .70   | .78   | .79   | .80   | .86   | .82   | 7.35   | .61    |
| 81          | .74   | .58   | .49   | .44   | .46   | .64   | .59   | .50   | .57   | .49   | .45   | .37   | 6.32   | .53    |
| 82          | .29   | .22   | .20   | .22   | .26   | .36   | .49   | .72   | .79   | .85   | .76   | .73   | 5.89   | .49    |
| 83          | .73   | .61   | .51   | .44   | .39   | .66   | .79   | .74   | .63   | .58   | .52   | .49   | 7.09   | .59    |
| 84          | .48   | .43   | .38   | .43   | .44   | .49   | .55   | .56   | .55   | .55   | .50   | .42   | 5.78   | .48    |
| 85          | .34   | .29   | .37   | .34   | .39   | .42   | .72   | .57   | .50   | .53   | .54   | .60   | 5.61   | .47    |
| S. 1856—85  | 12.48 | 12.12 | 12.46 | 13.34 | 14.80 | 17.31 | 18.95 | 19.11 | 18.11 | 16.35 | 14.30 | 13.41 | 182.84 | 15.21  |
| Mittel. . . | 0.42  | 0.40  | 0.41  | 0.44  | 0.49  | 0.58  | 0.63  | 0.64  | 0.60  | 0.54  | 0.47  | 0.45  | 6.09   | 0.51   |

Mittlerer Monatswasserstand der Amper vom Jahre 1856—85.

| Jahr         | Jan.  | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dec.  | Summe | Mittel |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1856         | 0.07  | 0.24  | 0.15  | 0.08  | 0.15  | 0.39  | 0.69  | 0.41  | 0.22  | 0.06  | 0.09  | 0.34  | 2.89  | 0.24   |
| 57           | .16   | .05   | .15   | .25   | .26   | .49   | .24   | .10   | .12   | .13   | .05   | .02   | 2.02  | .17    |
| 58           | — .03 | — .05 | .03   | .48   | .38   | .30   | .23   | .41   | .44   | .35   | .34   | .28   | 3.16  | .26    |
| 59           | .16   | .15   | .31   | .36   | .53   | .60   | .29   | .19   | .35   | .20   | .34   | .29   | 3.82  | .32    |
| 60           | .32   | .19   | .19   | .26   | .36   | .66   | .63   | .74   | .56   | .58   | .23   | .25   | 4.97  | .41    |
| 61           | .45   | .30   | .24   | .22   | .39   | .59   | .56   | .36   | .15   | .12   | .10   | .17   | 3.65  | .30    |
| 62           | .24   | .41   | .24   | .22   | .23   | .43   | .50   | .30   | .44   | .27   | .14   | .10   | 3.52  | .29    |
| 63           | .17   | .19   | .12   | .18   | .29   | .53   | .36   | .26   | .22   | .35   | .25   | .20   | 3.12  | .26    |
| 64           | .16   | .15   | .24   | .28   | .75   | .61   | .95   | .88   | .45   | .22   | .12   | .07   | 4.88  | .41    |
| 65           | .15   | .17   | .14   | .27   | .18   | .08   | .10   | .23   | .24   | .07   | .06   | .06   | 1.75  | .15    |
| 66           | .06   | .12   | .22   | .36   | .24   | .21   | .34   | .50   | .56   | .19   | .15   | .34   | 3.29  | .27    |
| 67           | .29   | .48   | .56   | .78   | .70   | .75   | .36   | .15   | .40   | .68   | .43   | .36   | 5.94  | .49    |
| 68           | .34   | .43   | .36   | .50   | .76   | .53   | .52   | .34   | .12   | .12   | .10   | .22   | 4.34  | .36    |
| 69           | .31   | .21   | .15   | .29   | .42   | .19   | .41   | .63   | .41   | .15   | .24   | .56   | 3.97  | .33    |
| 70           | .29   | .17   | .34   | .29   | .23   | .19   | .12   | .39   | .59   | .39   | .71   | .39   | 4.11  | .34    |
| 71           | .24   | .44   | .42   | .44   | .70   | .40   | .37   | .31   | .12   | .10   | .05   | .01   | 3.60  | .30    |
| 72           | — .01 | — .04 | .19   | .18   | .32   | .86   | .75   | .64   | .42   | .15   | .13   | .11   | 3.79  | .32    |
| 73           | .08   | — .02 | .18   | .15   | .54   | .62   | .42   | .22   | .44   | .24   | .04   | .05   | 2.96  | .25    |
| 74           | — .03 | — .05 | .02   | .21   | .48   | .42   | .60   | .66   | .42   | .08   | .03   | .15   | 2.99  | .25    |
| 75           | .24   | .15   | .32   | .40   | .40   | .34   | .67   | .41   | .18   | .46   | .48   | .32   | 4.37  | .36    |
| 76           | .28   | .41   | .78   | .54   | .60   | .58   | .65   | .15   | .06   | .04   | .04   | .08   | 4.21  | .35    |
| 77           | .08   | .45   | .51   | .70   | .66   | .41   | .64   | .80   | .62   | .25   | .10   | .10   | 5.32  | .44    |
| 78           | .37   | .32   | .45   | .41   | .67   | .54   | .41   | .63   | .78   | .50   | .15   | .07   | 5.30  | .44    |
| 79           | .19   | .10   | .13   | .16   | .43   | .31   | .38   | .32   | .32   | .25   | .17   | .07   | 2.83  | .24    |
| 80           | .16   | .00   | .17   | .19   | .36   | .44   | .32   | .60   | .38   | .51   | .63   | .48   | 4.74  | .39    |
| 81           | .25   | .01   | .15   | .08   | .21   | .45   | .10   | — .14 | .10   | — .14 | — .10 | — .23 | 0.74  | .06    |
| 82           | — .33 | — .44 | — .35 | — .26 | — .21 | .06   | .13   | .40   | .36   | .33   | .19   | .29   | 0.17  | 0.014  |
| 83           | .36   | — .04 | — .19 | — .11 | — .04 | .73   | .63   | .27   | — .09 | .02   | — .05 | .01   | 0.16  | 0.013  |
| 84           | .02   | — .10 | — .16 | .10   | — .02 | .17   | .25   | .21   | — .02 | .10   | — .03 | — .16 | 0.35  | .03    |
| 85           | — .29 | — .23 | .03   | — .16 | .03   | — .09 | .49   | — .12 | — .11 | .04   | .09   | .33   | 0.01  | 0.00   |
| 1856—85 S.   | 4.75  | 4.25  | 6.00  | 7.85  | 11.06 | 12.79 | 13.61 | 11.25 | 9.25  | 6.81  | 5.27  | 5.33  | 96.97 | 8.05   |
| Mittel . . . | 0.16  | 0.14  | 0.20  | 0.26  | 0.37  | 0.42  | 0.45  | 0.37  | 0.31  | 0.23  | 0.17  | 0.18  | 3.23  | 0.27   |

hebung des Monates December findet, die sich auch im Grundwasser findet, hier aber bereits als der Beginn des aufsteigenden Schenkels zu betrachten ist. Es dürfte hiefür jedenfalls das Wechselverhältniss zwischen Niederschlag und Verdunstung wieder maßgebend sein, der Niederschlag im December ist ungefähr gleich dem des Monats November, das Sättigungsdeficit dagegen ist im December (in München) fast nur halb so groß 0,22 mm, als im November 0,41 mm; es wird also hier der niedrige Sättigungsdeficit den Ausschlag geben und das Ansteigen des Sees zur Folge haben. Im Jänner ist zwar das Sättigungsdeficit noch niedriger, allein auch der Niederschlag ist geringer. Ferner sehen wir, dass die beiden Seen den Grundwasserrhythmus insoferne einschlagen, als sie einen außerordentlichen Parallelismus mit dem Niederschläge zeigen und dieser ja in München den Grundwasserrhythmus beherrscht; aber die Schwankungen der Seen schließen sich noch viel inniger den Schwankungen des Niederschlages an, als die des Grundwassers. Im Winter beginnt ja das Grundwasser in München bereits zu steigen (Nov.-Dec.), während die Niederschläge bis Februar noch in der Abnahme begriffen sind. Wir haben dies mit dem im Winter an und für sich so geringen Sättigungsdeficit erklärt und mit der Erschwerung, welche die Verdunstung durch den Boden hiedurch erfährt, besonders auch bei eventuellem Vorhandensein einer Schneedecke. Bei dem See, von dessen freier Oberfläche die Verdunstung unbehindert erfolgen kann, und die Wirkung eine unmittelbare ist, stellt sich um so leichter der Parallelismus zwischen Niederschlag und Seewasserstand wieder her, als im Februar die Verdunstung (bei geringstem Regenfalle) wieder zunimmt, und so findet also für Niederschlag und Seewasserstand die Übereinstimmung auch bei dem Minimum statt.

Wenige Concordanz finden wir bezüglich der Jahresperiode der Seen und der Isar. Es ist im Cap. III bereits erklärt worden, dass eben auf die Isar andere klimatische Factoren (die des Hochgebirges) einwirken, die ihr einen besonderen Character aufprägen.

Ein ähnliches, wenn auch nicht vollständig gleiches Verhältniss zwischen diesen Wasserläufen und Niederschlägen dürfte sich auch ergeben, wenn wir die einzelnen Jahresmittel darauf hin untersuchen. Freilich werden sich hier nur Extreme aussprechen können, da für die Beurtheilung der Wassermenge im Abfluss nicht bloß die absolute Menge des Niederschlags zu berücksichtigen ist, sondern auch die Art und Weise seines Niederfallens, seine zeitliche Vertheilung etc. (Siehe Cap. II.)

Jahresmittel des Niederschlages, und des Grundwasserstandes in München, des Wasserstandes der Würm in Starnberg und der Amper in Stegen 1856—85.

|      | Niederschlag<br>mm | Grundwasser <sup>1)</sup><br>m | Würm       | Amper      | Isar       |
|------|--------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|
| 1856 | 682                | 515.026                        | 0.37       | 0.24       | 0.56       |
| 1857 | 640                | 4.911                          | .34        | .17        | .60        |
| 1858 | 792                | <b>4.880</b>                   | .38        | .26        | .59        |
| 1859 | 861                | 5.234                          | .63        | .32        | .72        |
| 1860 | <b>928</b>         | 5.398                          | <b>.68</b> | <b>.41</b> | <b>.75</b> |
| 1861 | 792                | <b>5.518</b>                   | .56        | .30        | .52        |
| 1862 | 867                | 5.312                          | .50        | .29        | .50        |
| 1863 | 778                | 5.199                          | .45        | .26        | .14        |
| 1864 | 775                | 5.250                          | .60        | <b>.41</b> | — .03      |
| 1865 | <b>561</b>         | 5.050                          | <b>.34</b> | <b>.15</b> | — .68      |

<sup>1)</sup> Über dem adriatischen Meere.

|      | Niederschlag<br><i>mm</i> | Grundwasser<br><i>m</i> | Würm | Amper | Isar  |
|------|---------------------------|-------------------------|------|-------|-------|
| 1866 | 900                       | 5.127                   | 0.44 | 0.27  | -0.50 |
| 1867 | 997                       | 5.804                   | .73  | .49   | — .37 |
| 1868 | 679                       | 5.607                   | .49  | .36   | — .88 |
| 1869 | 745                       | 5.350                   | .39  | .33   | — .95 |
| 1870 | 628                       | 5.247                   | .43  | .34   | — .96 |
| 1871 | 760                       | 5.368                   | .59  | .30   | -1.03 |
| 1872 | 813                       | 5.271                   | .48  | .32   | -1.18 |
| 1873 | 801                       | 5.324                   | .46  | .25   | -1.42 |
| 1874 | 701                       | 5.151                   | .40  | .25   | -1.75 |
| 1875 | 755                       | 5.258                   | .55  | .36   | -1.63 |
| 1876 | 820                       | 5.854                   | .58  | .35   | -1.66 |
| 1877 | 885                       | 5.765                   | .54  | .44   | -1.82 |
| 1878 | 864                       | 5.807                   | .63  | .44   | -1.78 |
| 1879 | 774                       | 5.579                   | .49  | .24   | -2.25 |
| 1880 | 1026                      | 5.747                   | .61  | .39   | -2.32 |
| 1881 | 813                       | 5.785                   | .53  | .06   | -2.79 |
| 1882 | 983                       | 5.345                   | .49  | .01   | -3.06 |
| 1883 | 924                       | 5.404                   | .59  | .01   | -3.33 |
| 1884 | 809                       | 5.109                   | .48  | .03   | -3.46 |
| 1885 | 965                       | 5.115                   | .47  | .00   | -3.86 |

Wenn wir diese 30jährige Beobachtungsreihe in je zehnjährige Perioden theilen und in diesen die Maxima und Minima mit einander vergleichen, so finden wir schon so manche Übereinstimmung, die wohl viel größer wäre, wenn nicht die letzte Periode 1876—85 sich eigentlich einem Vergleiche entzöge.

Es haben sich in dieser Periode Veränderungen im Flussbette der betreffenden Flüsse eingestellt, so in der Amper, denn trotzdem die letzte Periode eine äußerst regenreiche ist, (in München 965 *mm* im Durchschnitt, während das langjährige Mittel nur 804 *mm* beträgt, (vergleiche auch im Capital II die Angaben bezüglich Österreichs) sinkt doch constant das Niveau. Von der Isar ist schon auf Seite 60 hervorgehoben, dass sie ihr Bett noch viel früher zu vertiefen begann.

In der ersten Periode (Tab. S. 76): 1856—65 ist zwischen Maximum und Minimum des Niederschlages und dem des Würmsee, Ammersee und der Isar eine vollständige Übereinstimmung. 1860 ist das regenreichste Jahr, da schollen auch der Würmsee, Ammersee und die Isar am höchsten an, in 1865 dagegen fällt für Alle gleichmäßig das Minimum. Aber auch das Grundwasser stimmt hier vollkommen überein, wenn zugegeben wird, dass sich die Schwankungen in demselben verspäten können, und das haben sie auch gethan. Das Grundwasser in München hat seinen höchsten Stand nicht 1860, sondern erst 1861, und wenn auch schon 1858 der tiefste Stand beobachtet wurde (es gingen schwache Regenjahre voraus (682 und 640 *mm*), so tritt doch das Minimum des Grundwassers im Jahre 1866 aufs deutlichste in die Erscheinung als Folge des Niederschlag-Minimums von 1866 (561 *mm*), abermals mit einjähriger Verspätung.

In der Periode 1866—75 müssen wir die Isar aus den Beobachtungen ganz ausschalten; ihr mittlerer Wasserstand sinkt kontinuierlich von — 0.5 bis — 1.75, dagegen stimmen die Maxima der Seen noch vollständig mit denen des Niederschlages, aber nicht mehr die Minima, besonders gilt dies von der Amper, die allerdings auch in der nächsten Periode kontinuierlich zu sinken fortfährt.

Das Grundwasser nimmt auch diesmal unmittelbar an dem Niederschlagsmaximum theil, aber auch das Niederschlagsminimum spricht sich doch in einem zweiten Grundwasser-Minimum unmittelbar aus.

In der dritten Periode 1876—85 ist nur noch bei der Würm und dem Grundwasser eine Übereinstimmung zu finden. Das Niederschlagsmaximum 1881 mit 1026 *mm* trifft mit einem zweiten Maximum der Würm zusammen, dasselbe tritt beim Minimum ein. Beim Grundwasser ist es nur noch das Minimum, das die Übereinstimmung zeigt. Es ist hierbei hervorzuheben, dass die in den Siebziger-Jahren vorgenommenen Canalbauten vielfach künstlich den Stand des Grundwassers alterieren mussten.

In den hier vorgeführten Thatsachen haben wir eine Übereinstimmung der Grundwasserschwankungen mit den Schwankungen andersartiger Wasseransammlungen, und in einem relativ noch immer nicht sehr umfassenden Gebiete. Die Übereinstimmung der Grundwasserschwankungen unter sich muss jedoch nach den im Capitel II dargelegten Ausführungen über den Zusammenhang zwischen Niederschlag, Verdunstung und Grundwasserstand eine viel größere sein, und haben wir ja auch die fast vollständige Identität der Jahresperiode, also der innerhalb eines Jahres sich ergebenden Schwankungen, einerseits in dem deutschen Tieflande, andererseits in den Voralpen (München, Salzburg) hervorgehoben. Die Gleichartigkeit dieser Gebiete äußert sich aber nicht bloß in jenen gewissen relativen Änderungen, die sich in der Jahresperiode ausprägen, sondern auch in den absoluten Veränderungen, die aus dem Jahresmittel zu entnehmen sind, und wenn wir auch von diesem Gesichtspunkte aus einen Vergleich versuchen, so werden wir abermals sehen, wie merkwürdig gleichartig doch über weite Gebiete der Ablauf dieser klimatologischen Vorgänge sich vollzieht. Nehmen wir zunächst die norddeutsche Tiefebene, als deren Repräsentanten wir Berlin, Bremen und Frankfurt a. M. vorgeführt haben, und vergleichen wir die Jahresmittel der Grundwasserschwankungen:

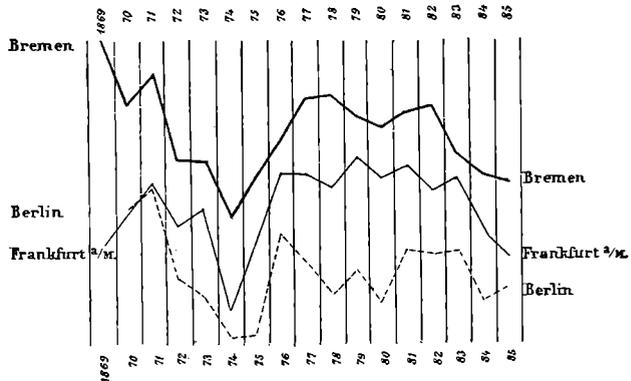
Jahresmittel des Grundwasserstandes in Berlin, Frankfurt a. M. und Bremen.

|      | Berlin <i>m</i> | Frankfurt a. M. | Bremen |
|------|-----------------|-----------------|--------|
| 1869 | —               | 4.11            | 6.18   |
| 1870 | 31.95           | 3.98            | 5.36   |
| 1871 | 2.01            | 4.51            | 6.09   |
| 1872 | 1.75            | 4.21            | 3.25   |
| 1873 | 1.71            | 4.33            | 2.67   |
| 1874 | 1.57            | 3.67            | 1.05   |
| 1875 | 1.58            | 4.05            | 2.52   |
| 1876 | 1.85            | 4.56            | 5.61   |
| 1877 | 1.79            | 4.55            | 5.69   |
| 1878 | 1.70            | 4.47            | 4.96   |
| 1879 | 1.77            | 4.66            | 4.53   |
| 1880 | 1.68            | 4.52            | 5.50   |
| 1881 | 1.83            | 4.61            | 5.34   |
| 1882 | 1.82            | 4.44            | 3.47   |
| 1883 | 1.82            | 4.53            | 1.77   |
| 1884 | 1.67            | 4.17            | 2.40   |
| 1885 | 1.71            | 4.03            | —      |

Wir können diese 17-, respective 16jährige Beobachtungsreihe am besten in drei Perioden theilen; die erste repräsentiert ein gemeinsames, freilich mitunter unterbrochenes, aber doch ziemlich continuierliches Absinken bis zum tiefsten in diesen 17 Jahren erreichten Stande (1874) sodann folgt eine Periode eines Ansteigens, das noch rapider und noch

gleichmäßiger erfolgt als der Abfall (bis zum Jahre 1876—78), dann tritt für kurze Zeit ein etwas unregelmäßiges Sinken ein, doch ist in der letzten Periode wieder ein beträchtliches gemeinsames Anschwellen zu beobachten. (Fig. 17.)

In der ersten Periode also, 1869—75, fallen die Minima vollständig zusammen, (1874) die Maxima nahezu, in Bremen wenigstens das zweite Maximum. In der zweiten Periode fallen die Minima abermals vollständig zusammen, (1875) bei den Maximis, 1876 stellt sich Bremen abermals mit dem zweiten Maximum ein. In der dritten Periode stimmen die Maxima vollständig überein, 1881, die Minima sind hier jedoch etwas verschoben.



(Fig. 17.) Jahresmittel des Grundwasserstandes in Berlin, Frankfurt a. M. und Bremen.

Dass die letzteren Jahre diese Übereinstimmung nicht

mehr so deutlich zeigen, liegt wohl darin, dass sich bei den so mannigfaltigen zur Wirkung gelangenden Factoren eben doch nur gewisse Extreme als gemeinsam aussprechen können. Zudem wirkt auch die Neuzeit störend ein in den Ablauf dieser Erscheinung, da in derselben künstliche Verhältnisse für die unterirdischen Wasserströmungen, Canalisation, Drainage etc., geschaffen werden, die natürlich nicht überall gleichartig sind und dadurch den Einblick in die Gesetzmäßigkeit stören.

Als Beispiel sei auf die veränderten Verhältnisse von Frankfurt a. M. hingewiesen, wie sie sich infolge der neuen Wasserbauten ergeben.

Schon im Jahre 1885 wird in den »Meteorologischen Arbeiten des Frankfurter physikalischen Vereines«<sup>1)</sup> berichtet:

Unsere Mainwasserstands-Beobachtungen haben seit Beginn der ausgedehnten Strombauten (Maincanal, Nadelwehr, Hafen, Uferbauten, Brücken u. s. w.) ihre Ursprünglichkeit allmählich eingebüßt. Nach vollständiger Inbetriebnahme der ganzen Canalanlage (im Herbst 1886) werden, in Folge der Stauung, niedere Wasserstände, wie seither, nicht mehr zu verzeichnen sein; der Wasserstand wird ein gleichmäßigerer, der mittlere Wasserstand ein bedeutend höherer werden; und der Bericht für das Jahr 1886 bemerkt: »die im vorigen Bericht erwähnte Stauung des Mains mittels Nadelwehren ist im October 1886 in Kraft getreten und wird in Zukunft nur bei außergewöhnlichen Umständen, wie bei Eisgang, Hochwasser außer Wirksamkeit gesetzt werden.« Es ist nun selbstverständlich, dass solche künstliche Eingriffe die Erkenntnis der klimatalogischen und epidemiologischen Beziehungen erschweren oder unmöglich machen.

In der übersichtlichsten Weise zeigt nun Figur 17 diese Übereinstimmung in den, im Laufe dieser 16 bis 17 Jahre stattgehabten Schwankungen des Grundwasserspiegels, die wir ob der mächtigen Aus-

<sup>1)</sup> Jahresberichte des physik. Vereines in Frankfurt a. M.

dehnung, welche das hier in Betracht gezogene Gebiet umfasst, fast mit denen eines unterirdischen Seespiegels vergleichen könnten.

Vor Allem fällt uns die diesen drei Städten gemeinsame mächtige Ebbe des unterirdischen Wassers auf, ein Absinken desselben in größere Tiefen, die eine starke Austrocknung der oberen Bodenschichten involvierte, welche sich allmählig in den Jahren 1873—74 vollzog, nachdem in den unmittelbar vorhergegangenen Jahren ein beträchtlicher Hochstand des Grundwassers nachzuweisen gewesen. Der im Jahre 1874 in allen diesen drei Städten constatierte Tiefstand ist seither in den folgenden elf Jahren nicht wieder erreicht worden.

Dieser gemeinsamen Ebbe folgte nun wieder eine ebenso gemeinsame, abermals in diesen drei Städten ziemlich parallel verlaufende Fluth, eine Anschwellung des Grundwassers bis zum Jahre 1876—78, von da ab treten häufigere, aber weniger extreme Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwassers auf, doch sind abermals gewisse Extreme, ein Hochstand im Jahre 1879 und 1881, ein Tiefstand im Jahre 1884 allen gemeinsam.

Es spricht sich in dieser Grundwasserebbe der Jahre 1872—74 die große Trockenheit aus, die nachgewiesenermaßen in dieser Zeit herrschte und in dem Versiegen der Quellen, in dem Sinken der Pegelstände der Flüsse und Seen ihren Ausdruck fanden. Manche Hydrotechniker glaubten bereits einen constanten Rückgang der Wassermengen des Continentes annehmen zu müssen und befürchteten ein allmähliches Austrocknen von Flüssen, Quellen und Seen, was aber durch neuere Beobachtungen der Wasserzunahme widerlegt erschien.

Da, wie in Capitel III nachgewiesen, in den hier geschilderten drei Städten Grundwasserstand und Flusswasserstand in sehr inniger Beziehung zu einander stehen, so müssen diese im Grundwasserstand sich zeigenden Schwankungen, in ihren Extremen wenigstens sich auch bei den Flüssen wieder zeigen; dies ist in der That auch der Fall, wie aus nachfolgender Tabelle ersichtlich ist.

Jahresmittel der Flusswasserstände in Berlin, Frankfurt a. M. und Bremen (in *m*).

| Spre, Berlin | Dammühle O. W. | Main  | Weser an der großen Weserbrücke |
|--------------|----------------|-------|---------------------------------|
| 1869         | —              | 0.63  | 0.95                            |
| 1870         | 2.42           | 0.76  | 0.79                            |
| 1871         | 2.46           | 0.83  | 1.32                            |
| 1872         | 2.27           | 0.51  | 0.58                            |
| 1873         | 2.26           | 0.56  | 0.31                            |
| 1874         | 2.15           | 0.27  | -0.14                           |
| 1875         | 2.25           | 0.58  | 0.39                            |
| 1876         | 2.35           | 0.74  | 0.87                            |
| 1877         | 2.37           | 0.68  | 0.92                            |
| 1878         | 2.28           | 0.81  | 0.92                            |
| 1879         | 2.39           | 0.98  | 1.15                            |
| 1880         | 2.39           | 0.84  | 1.00                            |
| 1881         | 2.42           | 0.70  | 0.82                            |
| 1882         | 2.51           | 0.91  | 0.68                            |
| 1883         | 2.42           | 0.69  | 0.37                            |
| 1884         | 2.42           | 0.42  | 0.50                            |
| 1885         | 2.36           | 0.37  | —                               |
| Amplitude :  | 0.360          | 0.640 | 1.180                           |

Die Übereinstimmung ist sowohl an diesen drei Flüssen, Spree, Main, Weser untereinander, als auch mit dem betreffenden Grundwasser zu constatieren; sowohl die Maxima der Jahre 1871, 1877—79, als auch das große Minimum des Jahres 1874, dann das des Jahres 1884—85 treten hier wieder sehr deutlich in die Erscheinung.

Wenn wir die Niederschläge ins Auge fassen (siehe die Tabelle) und sie untereinander und mit dem Grundwasserstand vergleichen, so tritt uns die Übereinstimmung weniger deutlich vor Augen; es ist dies eine natürliche Folge des Umstandes, dass ja die Schwankungen des Grundwassers das Endresultat des Zusammenwirkens zweier Factoren: Niederschlag und Verdunstung, die einander entgegenwirken, und wo deshalb der eine oft die Extreme des anderen zu paralysieren vermag, dass ferner das Jahresmittel dieser Niederschläge schon deshalb nicht den Ausdruck für den Wasserreichthum im Boden geben kann, weil, wie wir in Capitel II nachgewiesen haben, hier wesentlich die Beschaffenheit des Niederschlages auch nach Qualität und nach Intensität und vor Allem seine relative Vertheilung nach den Jahreszeiten ausschlaggebend sind. Vollständig mangelt jedoch die Übereinstimmung keineswegs.

Niederschlagssumme in Berlin, Frankfurt a. M. und Bremen.

|             | Berlin | Frankfurt a. M. | Bremen <sup>1)</sup> |
|-------------|--------|-----------------|----------------------|
| 1869        | —      | 526             | 636                  |
| 1870        | 712    | 618             | 571                  |
| 1871        | 570    | 647             | 459                  |
| 1872        | 511    | 755             | 460                  |
| 1873        | 496    | 527             | 350                  |
| 1874        | 430    | 446             | 549                  |
| 1875        | 632    | 660             | 658                  |
| 1876        | 612    | 654             | 677                  |
| 1877        | 632    | 646             | 732                  |
| 1878        | 539    | 783             | 751                  |
| 1879        | 572    | 716             | 807                  |
| 1880        | 587    | 767             | 915                  |
| 1881        | 494    | 530             | 720                  |
| 1882        | 762    | 937             | 840                  |
| 1883        | 464    | 552             | 773                  |
| 1884        | 537    | 540             | 929                  |
| 1885        | 551    | 661             | 714                  |
| Amplitude : | 332    | 491             | 570                  |

Auch hier finden wir das mächtige Minimum des Jahres 1874 (in Bremen allerdings um circa ein Jahr verschoben) und ein zweites ebenfalls bedeutendes Minimum des Jahres 1883, welches offenbar das im Jahre 1884 nachfolgende Grundwasser-Minimum verursacht hat, dann haben wir entsprechend den relativ hohen Grundwasserständen der Jahre 1876—83 die hohen Niederschläge der Jahre 1877—78, 1880 und 1882.

Eine ähnliche Regelmäßigkeit im Ablauf der Erscheinungen finden wir beim Vergleich dieser Verhältnisse bei den beiden Städten München und Salzburg; ja die Übereinstimmung scheint hier eine noch größere zu sein.

<sup>1)</sup> Nach Bergholz: Das Klima von Bremen.

Wir geben zunächst wieder die Zahlen für die einzelnen Factoren und sehen hier von den beiden Flüssen aus den in Capitel III hervorgehobenen Gründen (künstliche Vertiefung des Flussbettes in neuerer Zeit) ab.

|      | München : |              |                   | Salzburg : |              |                |
|------|-----------|--------------|-------------------|------------|--------------|----------------|
|      | Grundw.   | Niederschlag | Sättigungsdeficit | Grundw.    | Niederschlag | Sättigungsdef. |
| 1860 | 515.398*  | 928          | 1.30              | 412.960*   | 1137         | 1.72           |
| 1861 | 5.518     | 792          | 1.51              | 2.900      | 1018         | 2.27           |
| 1862 | 5.312     | 867          | 1.37              | 3.020      | 1292         | 2.81           |
| 1863 | 5.199     | 778          | 1.76              | 2.980      | 1091         | 2.28           |
| 1864 | 5.250     | 775          | 1.14              | 3.080      | 1295         | 1.64           |
| 1865 | 5.050     | 561          | 1.68              | 2.880      | 730          | 2.90           |
| 1866 | 5.127     | 900          | 1.52              | 3.130      | 1306         | 1.89           |
| 1867 | 5.804     | 997          | 1.66              | 3.040      | 1267         | 1.78           |
| 1868 | 5.607     | 679          | 2.76              | 2.900      | 850          | 2.23           |
| 1869 | 5.350     | 745          | 1.93              | 3.040      | 1405         | 1.88           |
| 1870 | 5.247     | 628          | 1.97              | 3.030      | —            | —              |
| 1871 | 5.368     | 760          | 1.48              | 3.040      | —            | —              |
| 1872 | 5.271     | 813          | 1.59              | 2.910      | 1236         | 1.94           |
| 1873 | 5.324     | 801          | 1.49              | 2.990      | 1297         | 1.42           |
| 1874 | 5.151     | 701          | 1.57              | 2.940      | 1027         | 1.73           |
| 1875 | 5.258     | 755          | 1.51              | 3.080      | 1571         | 1.69           |
| 1876 | 5.854     | 820          | 1.52              | 3.100      | 1356         | 2.30           |
| 1877 | 5.765     | 885          | 1.37              | 3.140      | 1444         | 1.01           |
| 1878 | 5.807     | 864          | 1.03              | 3.220      | 1526         | 1.51           |
| 1879 | 5.579     | 774          | 1.06              | 3.040      | 1239         | 1.66           |
| 1880 | 5.747     | 1026         | 1.03              | 3.150      | 1638         | 1.69           |
| 1881 | 5.785     | 813          | 2.01              | 3.180      | 1550         | 1.72           |
| 1882 | 5.345     | 983          | 1.76              | 2.960      | 1394         | 1.51           |
| 1883 | 5.404     | 924          | 1.82              | 3.030      | 1350         | 1.18           |
| 1884 | 5.109     | 809          | 2.06              | 3.030      | 1064         | 2.30           |
| 1885 | 5.115     | 965          | 2.25              | 2.910      | 1067         | —              |

\* Meter über dem Meere.

Wenn wir nun wieder diese 26jährige Beobachtungsreihe in drei Perioden theilen, 1860—69, 1870—79, 1880—85, so finden wir in der ersten Periode ein freilich nicht ganz paralleles Sinken des Grundwassers, das aber in beiden Städten mit dem Jahre 1865 seine größte Tiefe erreicht (vergleiche Fig. 18), von da erfolgt ein Ansteigen, dessen Culminationspunkt 1867 beiden Städten wieder gemeinsam ist. Denselben Gang schlägt in dieser Periode die Niederschlagscurve ein. In der zweiten Periode finden wir bei einem Blick auf die Curve auffallend gleichartige Auf- und Abwärtsbewegungen des Grundwassers in beiden Städten (wenn auch mit verschiedenartiger Amplitude) bis zum Jahre 1876. Die Jahre 1877—78 zeigen dann abermals bei beiden Städten den höchsten in der ganzen Periode 1860—85 je erreichten Grundwasserstand, dem wieder ein gemeinsames Absinken 1879 folgt. Die Niederschläge (Fig. 18) dieser Periode zeigen einen ganz ähnlichen Gang.

Für die Jahre 1880 bis 1884 ist dann die Grundwasserbewegung abermals in beiden Städten fast vollständig parallel und auch die Niederschläge verhalten sich (bis auf das Jahr 1881) ganz ähnlich.

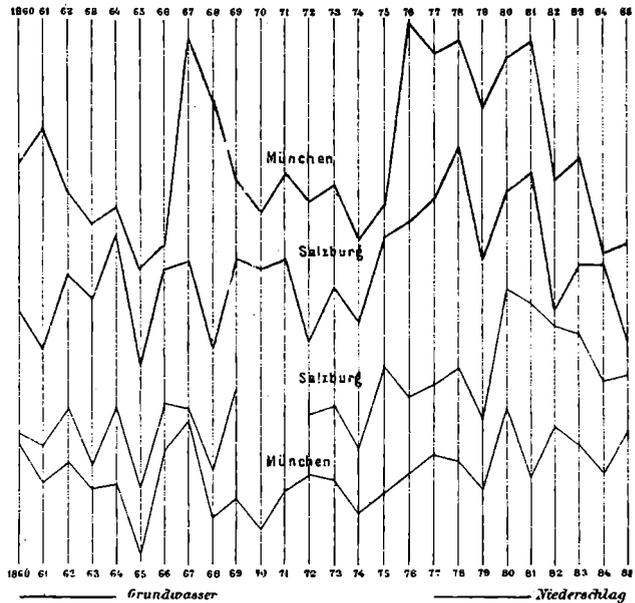
Nicht vergessen sei hier, mit Rücksicht auf die große Grundwasserebbe und Trockenheit des Jahres 1872—74 in Nord- und Mitteldeutschland, dass auch in München und Salzburg 1872—74 eine Periode tieferen Grundwasserstandes zu beobachten war.

Es lehrt die Übereinstimmung dieser Erscheinungen auf großem geographisch und klimatisch einheitlichem Gebiete, dass die unterirdische Wassercirculation von denselben Factors beeinflusst wird, die eben das Klima eines Landes constituieren.

Fassen wir nun die Summe dieser Vorgänge, die sich im Wassergehalte des Bodens abspielen, zusammen, so finden wir, dass sich hier eine Gesetzmäßigkeit ausdrückt, die den Beweis liefert, dass sich der Einfluss der oberirdischen meteorischen Factors auch bis in eine gewisse Tiefe des Erdbodens erstreckt, so sehr auch mitunter sich Abweichungen von den auf der Oberfläche constatirten Erscheinungen und deren Gesetzen kundgeben, entsprechend den eigenartigen Bedingungen, die durch

den Boden eben geschaffen werden. Wir haben also ein Recht, von einer Art unterirdischen Meteorologie zu sprechen. Und so wie wir im Luftkreise und auf der Bodenoberfläche bestimmte klimatische Gebiete unterscheiden, die in dem Ablauf der Witterungsvorgänge ein einheitliches Gepräge darbieten; so finden wir auch in Bezug auf die Variationen die Bodenfeuchtigkeit, dass auf die Schwankungen des Wassergehaltes im Boden, auf große Gebiete und über große Zeiträume hinaus, eine außerordentliche Gleichartigkeit und Gesetzmäßigkeit die uns zu wichtigen Schlüssen in anthropogeographischer und epidemiologischer Beziehung führen dürften, aber auch schon geführt haben; und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass ein tieferes Eingehen auf diese Vorgänge im Boden von wesentlicher Bedeutung für die Frage der Ansiedlungsfähigkeit eines Landes, seiner Cultur, seiner Ausnützung zu technischen Zwecken und vor Allem seiner Salubrität sein dürfte. Es sei in dieser Hinsicht nur auf die wichtigen Untersuchungen Pettenkofers über die Beziehungen zwischen Grundwasserstand und Auftreten von Epidemien hingewiesen, welche ein ganz neues Gebiet anthropogeographischer Forschungen eröffnen.<sup>1)</sup>

Aber auch in einer weiteren Beziehung dürfte der hier behandelte Gegenstand von einiger Bedeutung sein. Die wechselnde Ergiebigkeit von Quellen und die wechselnden Stände der Flüsse und Seen sind in letzter Zeit wiederholt der Gegenstand von Untersuchungen gewesen.



(Fig. 18.) Jahresmittel des Grundwasserstandes und der Jahressumme des Niederschlages in München und Salzburg.

<sup>1)</sup> Vergl. Penck: »Der Boden in anthropogeographischer Hinsicht«, Beilage zur »Allgemeinen Zeitung«, München 1887. N. 199.

Gelegentlich der Versammlung der deutschen meteorologischen Gesellschaft zu Karlsruhe hat E. Brückner<sup>1)</sup> auf die Universalität gewisser Schwankungserscheinungen hingewiesen und jüngsthin hat R. Sieger<sup>2)</sup> durch seine Untersuchungen über die Schwankungen der innerafrikanischen Seen gezeigt, dass im ganzen äquatorialen Afrika in den letzten dreißig Jahren gleichzeitig dieselben Veränderungen der klimatischen Verhältnisse erfolgt sein müssen. Brückner und Sieger weisen namentlich darauf hin, dass die siebziger Jahre dieses Jahrhunderts regenreicher gewesen seien, als die bisher verstrichenen achtziger Jahre. Dies aber stimmt im Wesentlichen mit den hier gemachten Angaben über die Schwankungen des Grundwassers in Mittel-Europa. Die letzteren dürften sohin als Glied weit verbreiteter Vorgänge aufzufassen sein und ihrerseits einen neuen Fingerzeig für die Universalität in den Veränderungen der Niederschläge auf der Erdoberfläche gewähren.

---

<sup>1)</sup> Meteorologische Zeitschrift 1887. Herr Brückner gedenkt die eingehende Ausführung seiner Untersuchungen im III. Bande dieser Abhandlungen unter dem Titel: »Klimaschwankungen seit 1700« zu veröffentlichen.

<sup>2)</sup> Bericht über das XIII. Vereinsjahr, erstattet vom Vereine der Geographen an der Universität Wien. S. 41.

# GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ALBRECHT PENCK

PROFESSOR DER PHYSIKALISCHEN GEOGRAPHIE AN DER UNIVERSITÄT WIEN.

BAND II. 1887.

Heft 1. Dr. Wilhelm Geiger: Die Pamir-Gebiete. Eine geographische Monographie. Mit einer Karte. Seite 1—186.

Heft 2. Dr. Julius Hann: Die Vertheilung des Luftdruckes in Mittel-

und Südeuropa. Mit drei Tafeln und zahlreichen Tabellen. S. 187—412.

Heft 3. Dr. Isidor Soyka: Die Schwankungen des Grundwassers. Mit 18 Abbildungen im Texte. Seite 413—500.

WIEN  
EDUARD HÖLZEL  
1888.

## VORWORT.

---

Es hat sich ermöglichen lassen, im Laufe des vergangenen Jahres den zweiten Band der »Geographischen Abhandlungen« zum Abschlusse zu bringen. In rascher Folge konnten die Arbeiten von Geiger, Hann und Soyka veröffentlicht werden, und bereits bin ich in der glücklichen Lage, für einen weiteren III. Band folgende Abhandlungen versprechen zu können: Dr. W. Sievers, »Die Cordillere von Merida«; Professor Dr. Siegmund Günther, »Kepler und der tellurisch-kosmische Magnetismus«; Dr. Eduard Brückner, »Klimaschwankungen seit 1700«, wozu sich, falls Raum vorhanden, noch eine Untersuchung von mir über die Oberflächenverhältnisse der Österreichisch-ungarischen Monarchie gesellen soll.

Mit dem Ausdrücke meiner Dankbarkeit jenen verehrten Autoren gegenüber, welche das Erscheinen der »Geographischen Abhandlungen« ermöglichten, nicht minder aber gegenüber dem Herrn Verleger, welcher die einzelnen Hefte in vollkommen entsprechender Weise ausstattete, und gegenüber weiteren Kreisen, welche die Abhandlungen sympathisch begrüßten, wandere zur Jahreswende das Schlussheft des II. Bandes hinaus in die Öffentlichkeit.

WIEN, Sylvester 1887.

**Albrecht Penck.**