

# Die Schwankungen des Grundwasserstandes in Klagenfurt.

Nach Beobachtungen der Jahre 1879 bis 1915.

Von Franz Kahler und Hans Steinhäuser.

Die Grundwasserstände (im folgenden meist GW abgekürzt) in Klagenfurt und Umgebung wurden von 1879—1900 von dem Bergbeamten und späteren Oberbergrat Ferdinand Seeland beobachtet, in den folgenden Jahren bis 1915 vorwiegend von Prof. Franz Jäger. Die Verfasser vorliegender Arbeit betrachten es als ihre ehrenvolle Aufgabe, das Ergebnis der Beobachtungen dieser beiden emsigen Naturforscher zusammenfassend darzustellen. Von F. Seeland wurden Teilergebnisse veröffentlicht in den Jahrgängen 1883 und 1887 der Zeitschrift für Meteorologie, wo Reihen bis zu diesen Jahren bearbeitet wurden. Die Arbeit: Das Grundwasser im Becken von Klagenfurt, von August Brunlechner, erschien in der Zeitschrift für praktische Geologie 1893, brachte eine bezüglich ihrer geologischen und hydrographischen Ergebnisse grundlegende Bearbeitung der ersten 15 Beobachtungsjahre. Diese Arbeit wurde nur noch von Ingo Findenegg ergänzt durch vergleichende physikalische und biochemische Untersuchungen (Carinthia II, 1944); in einigen Punkten sind nach Ansicht Findeneggs die Darlegungen Brunlechners über die Wege der Grundwasserströme zu berichtigen. In neuester Zeit erst werden in Kärnten wieder regelmäßige Grundwasserbeobachtungen durch die Wasserbauabteilung der Landesbaudirektion für Kärnten aufgenommen.<sup>1)</sup>

Wesentlich für das Zustandekommen dieser Arbeit war die wertvolle Vor- und Sammelarbeit des Beamten des Landesmuseums, Herrn Taurer-Gallenstein, dem wir an dieser Stelle noch besonders danken.

## A. Geologischer Teil (F. Kahler).

Der Untergrund von Klagenfurt wird im Bereich des erschlossenen Grundwassers von einem großen Schwemmfächer bestimmt, der von Norden her in das Wörther-See-Tal geschützt wurde.

Dieses zeigt eine durchaus nicht einheitliche Gestalt: im Gebiet des Sees ist es, wie schon mehrfach beschrieben (u. a. von H. Paschinger), sichtlich dreigeteilt, ohne daß über

<sup>1)</sup> Siehe: Dipl.-Ing. Otto Jilg: Kärntner Wasserversorgungsprobleme. Ztschr. Gas, Wasser, Wärme, 3 (1949), 1. Heft.

die tatsächlichen Felstiefen etwas ausgesagt werden kann. Am Nordufer ist es ferner durch das Pörschacher Rückzugsstadium, dessen erster (östlichster) Eishalt schon bei Krumpendorf liegt, wesentlich umgestaltet worden, so daß hier die heutige Form des Sees nicht seinen kristallinen Ufern entspricht.

Bemerkenswert ist, daß an verschiedenen Stellen, wie etwa bei Krumpendorf, Loretto und bei den Siebenhügeln in selartige Felsauftragungen zu beobachten sind, für die ein steiles Gefälle in die Tiefe angenommen werden muß.

Im Gebiet von Klagenfurt zieht in ungefähr Nord—Südrichtung ein breites Störungsbündel durch, das durch das Glantal zwischen Klagenfurt und St. Veit (in dieser Strecke durch NO-Störungen kompliziert), durch die schweren jugendlichen Störungen in der Sattnitz südlich Klagenfurt (Stifterkogel, Stini) und wohl auch durch Brüche und Verbiegungen innerhalb der Karawanken bis zum Loibl reichend verdeutlicht wird.

Östlich dieses Störungsbündels, das den Eintritt der Glan in das Wörther-See-Tal ermöglichte, wird der Südrand des Tales bereits durch die Steilwände der Sattnitz gebildet, die ursprünglich gewaltig in die Tiefe abfielen. An ihrem Nordrand, an der Gurkbrücke östlich Grafenstein ist nämlich das Wörther-See-Tal mindestens 200 Meter tief und hier hauptsächlich mit Moränen, wohl des Grafensteiner Stadiums, erfüllt. Das Nordufer aber liegt wesentlich weiter im Norden und beginnt beim Friedhof von Annabichl und zieht über Krastowitz, Dolina, den Langen Rain, um dann über Tainach und Thon nach Süden abzubiegen. Dies ist sehr auffällig, denn die weitere Fortsetzung kann nur schmal gewesen sein. Ich vermute sie im Tal, das von der Drau zum Klopeiner See zieht. Dieser östliche Raum ist relativ hochgehoben worden, vermutlich ebenfalls an Nord—Süd-Störungen, die durch das Drautal bei Annabrücke und Möchling ziehen.

Die gewaltigen Wassermassen, die den Schwemmfächer von Klagenfurt aufbauten und damit dem Raum die heutige Gestalt gaben, stammen wohl vom abschmelzenden Gletscher im Gebiet von Feldkirchen und strömten daher zur Zeit des Pörschacher Rückzugsstadiums. Sie durchbrachen die O—W gerichteten Moränenzüge des Grafensteiner Stadiums nördlich von Klagenfurt. Es mögen etwa 4—5 Wälle gewesen sein, die teilweise noch obertags, teils im Untergrund zu beobachten sind. Liegen sie unter geringer Schotterüberlagerung, dann zeigen die betreffenden Räume Grundwassermangel.

Im allgemeinen reicht aber die Stärke des Schwemmfächers dazu hin, reichlich Grundwasser zu finden, aber auch die Abwässer der Stadt versickern zu lassen. Es sind ziemlich sandreiche, im oberen Teile verlehnte, recht grobe Flußkiese einer recht eigentümlichen Geröllgesellschaft, die ich Glantalschotter

nannte; bezeichnend sind zahlreiche Quarzhärtlinge mit Resten grünlicher Schiefer und mit vielen, ockerig verwitternden Einschlüssen. Am Ostufer des Wörther Sees liegen Feinsande, die, obwohl sie zur gleichen Verschüttung gehören, doch infolge des sich vorbauenden Schwemmfächers von Schottern überlagert werden (Paternionerbrücke). Bei größeren Bauten sind diese Feinsande sehr unangenehme Baugründe und sie geben trotz ihrer großen Wasserführung schlechte Brunnen, da diese entweder versanden oder wegen eines gewissen Tongehaltes das Wasser schlecht abgeben. Solche tonige Sande liegen in der Nähe des Sees und gehen hier sogar (im Bereich der Glanfurt) in Tone über.

Im Stadtkern liegt das Grundwasser verhältnismäßig tief, am Südrand des Schwemmfächers im Bereich der Glanfurt teilweise aber in so seichter Lage, daß seine Güte sehr leidet. Im Osten der Stadt ist an wenigen Stellen ein zweiter Wasserhorizont getroffen worden.

Der Schwemmfächer breitet sich über das Stadtgebiet weit nach Osten aus und liegt mit seinen Glantalschottern, zu denen sich ähnliche eiszeitliche Gurkschotter gesellen, teilweise zwischen den Moränenzügen des Grafensteiner Stadiums, sie wohl auch im Osten teilweise verdeckend. Dadurch entsteht das merkwürdige Bild, daß zwischen den Moränen nicht die dazugehörigen Schotter, sondern etwas jüngere, fremde Schotter liegen. Dadurch aber ist für diesen Raum ein recht gleichmäßiger Wasserabzug nach Osten wahrscheinlich und wir können vermuten, daß dies auch für den Teil westlich des Stadtkerns gilt. Gewisse Hindernisse mögen die kristallinen Aufragungen der Siebenhügel und einige Vertonungen bieten, auch der Lendkanal stört, wie F i n d e n e g g nachwies, das natürliche Bild. Im Norden der Stadt sind zweifellos die Hindernisse größer, teils infolge der merkwürdigen Inseln, die emporragen, teils wegen der durchbrochenen Moränenzüge.

## **B. Hydrographisch-meteorologischer Teil (H. Steinhäuser).**

### **Allgemeines über Beziehungen zwischen Grundwasserstand, Niederschlag und Verdunstungsgrößen.**

Bei der Untersuchung des Zusammenhanges von Grundwasserschwankungen mit hydrographischen und meteorologischen Faktoren ist zunächst zu prüfen, inwieweit die Höhe des Grundwasserspiegels von dem Spiegel benachbarter Flüsse und Seen bestimmt wird, wie man dies besonders stark in Brunnen in unmittelbarer Nähe von Gewässern beobachtet. Eine derartige Wechselwirkung besteht sicherlich im Klagenfurter Becken, wo die Grundwasserströme aus dem Wörther-See,

Glanfurt- und Glangebiet sich leicht in dem diluvialen Sedi-  
mentuntergrund bewegen, eventuell unterbrochen, wie Fin-  
denegg annimmt, von Grundwasser-Divergenzen im Gebiet  
der „Sieben Hügel“. Es ist dabei zu erwägen, daß der Lendkanal  
kein natürliches Gewässer ist und daher auch kein einem nor-  
malen Fluß entsprechendes Grundwasser-Abflußregime auf-  
zuweisen braucht.

Bezüglich der Frage, ob der Rhythmus der Spiegelbewe-  
gungen des Sees und der Flüsse in den Grundwasserschwan-  
kungen erhalten bleibt oder mehr oder weniger aufgehoben  
wird, ist ausschlaggebend, daß die meteorologischen Verhält-  
nisse im Würther-See- und Glangebiet im wesentlichen die glei-  
chen sind wie diejenigen, die sich auf das Grundwasser geltend  
machen, daß also auch dieselben Wechselbeziehungen zwischen  
Niederschlag und Sättigungsdefizit bestehen. In diesem Fall  
kommt der Niederschlag gleichzeitig dem Grundwasser zugute  
und läßt die oberirdischen Gewässer anschwellen; dadurch ver-  
stärkt sich wieder der Anstieg des GW. Bei Trockenheit trägt  
das erhöhte Sättigungsdefizit nicht nur zur Verminderung des  
Grundwassers bei, sondern gleichzeitig zum Abschwellen der  
Gewässer; der GW vermindert sich noch durch gesteigerten Ab-  
fluß. Es kommt also eine kombinierte, gesteigerte Wirkung bei-  
der Faktoren auf das Grundwasser zustande. Nähere Einzel-  
heiten ergeben sich weiter unten bei Vergleich der Amplituden  
der Gewässer und des Grundwassers.

Nach Darstellung von K. Keilhack im Lehrbuch der  
Grundwasser- und Quellenkunde (Berlin, Borntraeger, 1935)  
unterscheidet man bezüglich des Zusammenhanges zwischen  
GW, Niederschlag und Sättigungsdefizit zwei Typen:

1. Hohe absolute Niederschlagsmenge und geringes Sätti-  
gungsdefizit; die Jahresschwankung des Grundwassers wird  
durch den Jahresverlauf des Niederschlages beherrscht.

2. Geringe absolute Menge des Niederschlages, hohes Sät-  
tigungsdefizit; die Jahresschwankung des Grundwassers folgt  
der des Sättigungsdefizites.

Als Beispiele für Typus 1 nennt Keilhack die Städte  
München, Salzburg, Graz und Innsbruck; für Typus 2 Berlin,  
Frankfurt a. M., Brunn und Bremen.

Das Sättigungsdefizit der Luft gibt an, um wieviel Milli-  
meter der Druck des Wasserdampfes in der Luft bei ihrem vor-  
handenen Feuchtigkeitsgrad und ihrer Temperatur bis zu ihrer  
Sättigung mit Wasserdampf noch steigen müßte. Von dieser  
Größe kann man Momentanwerte, Stunden-, Tages-, Monats-  
oder Jahresmittel bilden. Bei der Mittelbildung ergeben sich  
praktisch keine großen Unterschiede, ob man zunächst die be-

obachteten Werte der relativen Feuchtigkeit mittelt und dann über die Mitteltemperatur zum Dampfdruck übergeht oder ob man die aus den Psychrometertafeln entnommenen Dampfdruckwerte mittelt und dieses Mittel von dem zu der mittleren Temperatur gehörigen maximalen Dampfdruck abzieht. Bei den Grundwasserarbeiten hat man die Monatsmittel des Sättigungsdefizits in den meisten Fällen auf dem einfachen Wege berechnet, daß der der Monatsmitteltemperatur entsprechende maximale Dampfdruck um das Monatsmittel der beobachteten Dampfdruckwerte vermindert wurde.

Der Vergleich des Ganges des Sättigungsdefizites mit dem des GW und der Niederschlagsmenge ist zunächst ein qualitativer. Denn das Sättigungsdefizit gibt nur in grober Näherung ein Maß der Verdunstung des Wassers in der Luft. Ist doch die Verdunstung vor allem noch stark abhängig von der Windgeschwindigkeit und der Sonneneinstrahlung. Die Verdunstung des Wassers im Boden wird dadurch keineswegs erfaßt, insbesondere wenn eine Schneedecke liegt, die den Boden vor dem Einfluß der Verdunstung schützt. Die Bodenfeuchtigkeit wird nach zwei neuen Arbeiten von B. Ramsauer, die in der Österreichischen Wasserwirtschaft 1949, Heft 1/2 und 3/4, erschienen sind, in Österreich bisher nur an einigen Versuchsinstituten gemessen, und zwar wurden die mit dem Schlagbohrer entnommenen Bodenproben im Ofen bei 105 Grad getrocknet, der Wassergehalt aus der Gewichts Differenz bestimmt und in Millimeter Wasserhöhe umgerechnet. — Vorerst ist aber keine geeignete, aus vorhandenen Beobachtungen zu ermittelnde Größe als das Sättigungsdefizit zur Untersuchung von Grundwasserschwankungen herangezogen worden.

### **Über die Beziehungen zwischen Grundwasserstand, Niederschlag und Sättigungsdefizit aus den Mittelwerten der Jahre 1879—1900 und 1902—1915.**

Die Beobachtungen vom 1. Jänner 1879 bis 30. November 1900 wurden im Klagenfurter Hause Nr. 459 des späteren Oberbergrates F. Seeland durchgeführt. Das Haus lag damals im Südosten der Stadt, an der Stelle des heutigen Gebäudes der Landesregierung. Die Beobachtungen von 1902—1915 beziehen sich auf den Brunnen des Landesmuseums.

#### a) Mittelwerte der Jahre 1879—1900.

Tabelle 1 enthält die kalendrischen Mittelwerte des GW am 1. und 16. jedes Monats nach Beobachtungen der Jahre 1879—1900. Die Seehöhe des Grundwasserspiegels erhält man, wenn man jeweils zu den Höhenangaben der Tabelle (in Meter) 430 m hinzuaddiert.

Tabelle 1:

Mittlere Grundwasserstände (1879—1900) für den Seelandbrunnen (Haus Nr. 459).

Datum	mittlere GW (m) 430+	durchschnittliche Abweichungen der GW vom Mittel (cm)
1. 1.	7.44	42
16. 1.	7.38	40
1. 2.	7.28	36
16. 2.	7.15	36
1. 3.	7.11	35
16. 3.	7.19	32
1. 4.	7.43	41
16. 4.	7.55	49
1. 5.	7.58	50
16. 5.	7.64	50
1. 6.	7.64	49
16. 6.	7.59	45
1. 7.	7.58	41
16. 7.	7.55	42
1. 8.	7.51	39
16. 8.	7.46	35
1. 9.	7.46	35
16. 9.	7.44	35
1. 10.	7.41	35
16. 10.	7.46	44
1. 11.	7.55	53
16. 11.	7.54	51
1. 12.	7.55	48
16. 12.	7.47	45

Um ein Maß für die Genauigkeit der 22jährigen Mittel der GW zu erhalten, wurden in der dritten Spalte der Tabelle die durchschnittlichen Abweichungen der GW von ihren kalendrischen Mittelwerten gebildet; sie betragen zwischen 32 und 53 cm. Die wahrscheinlichen Fehler der Mittel der GW liegen daher nach F e c h n e r zwischen 5.8 und 9.6 cm. Die größte Veränderlichkeit der GW tritt Anfang November auf. Bei langjährigen

Niederschlagsreihen, z. B. nach den 100jährigen Beobachtungen der Jahre 1848—1947<sup>2)</sup> ergibt sich die größte (absolute) Veränderlichkeit der monatlichen Niederschlagshöhen im Oktober (53 mm), die kleinste (22 mm) im Jänner. Nach den Niederschlagsbeobachtungen der Jahre 1879—1900 hat die (absolute) Veränderlichkeit der Niederschläge ein Hauptmaximum im August (59.1 mm) und nur ein Nebenmaximum im November (48 mm). Die große Schwankung der Niederschlagsmengen und auch der GW im Herbst ist darauf zurückzuführen, daß das Herbstmaximum der Niederschläge nicht in jedem Jahre gut ausgeprägt ist. Das mediterrane Niederschlagsregime greift in verschiedenen Jahren verschieden stark auf das Klagenfurter Becken über. Stark veränderlich ist die Höhe des GW auch im April und Mai; dies ist wahrscheinlich durch den mit den Jahren stark schwankenden Anteil der Schneeschmelze am Grundwasser zu erklären.

In Abb. 1 ist der mittlere Jahresgang des Grundwasserstandes sowie der Monatsmittel des Niederschlags und des Sättigungsdefizits dargestellt. Wie bei Grundwasserdarstellungen gebräuchlich, wurde die Form eines Doppeljahres gewählt, die den Jahresgang der Erscheinungen unabhängig von der Wahl des Jahresanfanges (Kalenderjahr oder Gewässerjahr) erkennen läßt. Die Ganglinie des GW zeigt ein gut ausgeprägtes Maximum zwischen 16. 5 und 1. 6., ein Nebenmaximum zwischen 1. 11. und 1. 12. sowie ein Minimum am 1. 3. Beim Niederschlag der Jahre 1879—1900 fällt das Hauptmaximum auf den August (136 mm), bei langjährigen Reihen häufig auch auf den Juli; das Nebenmaximum tritt wie üblich im Oktober (118 Millimeter), das Minimum im Februar (33 mm) ein.

Bezüglich des Zusammenhanges zwischen GW, Niederschlag und Verdunstungsgrößen fällt zunächst auf, daß im Jahresgang der höchste GW bereits zwischen 16. 5. und 1. 6. erreicht wird, während die monatliche Niederschlagsmenge noch bis zum Juli bzw. August steigt. Diese Erscheinung ist wohl auf die vom Frühjahr an stark zunehmende Verdunstung, entsprechend dem Gang des Sättigungsdefizits, zurückzuführen. Auch die Schneeschmelze hat an dem Anstieg des GW von Februar bis Mai wesentlichen Anteil. Nach 22jährigen Schneebeobachtungen des Hydrographischen Dienstes der Winter 1894/1895 bis 1915/1916 fällt das Ende der Schneebedeckung in Klagenfurt durchschnittlich auf den 26. 3. Das Sättigungsdefizit ist im Jänner (Minimum, 0.53 mm) und im Februar zu gering, um den GW wesentlich beeinflussen zu können. Außerdem

---

<sup>2)</sup> J. Lukesch: Die hundertjährigen Temperatur- und Niederschlagsmessungen in Klagenfurt. Festschrift zum 100jährigen Bestehen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Kärnten, S. 65, 1948.

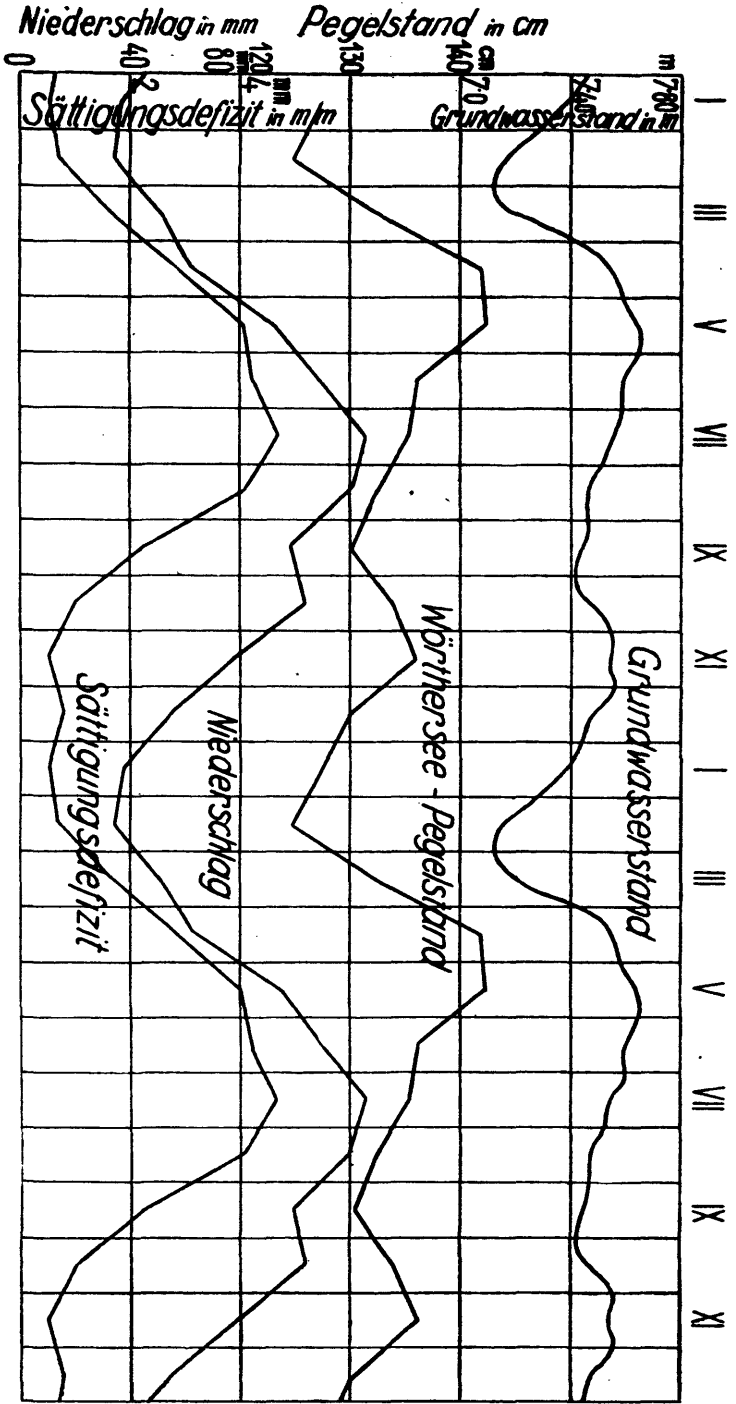


Abb. 1: Mittlerer Jahresgang des Grundwasserstandes, Seepiegelstandes, Niederschlags und des Sättigungsdefizits nach Beobachtungen der Jahre 1879—1900.



schützt die Schneedecke den Boden vor der Verdunstung und vor dem Einfluß der Windbewegung. Das zweite Maximum der Niederschläge im Oktober hat auch ein Wiederansteigen und zweites Maximum des GW im Gefolge, das sich umso leichter ausbildet, als das Sättigungsdefizit im Herbst stark absinkt bis zu einem Minimum von 0.55 mm im November.

Untersucht man diese Beziehungen zwischen GW, Niederschlag und Verdunstungsgrößen auf die oben erwähnten, von K. K e i l h a c k behandelten Typen hin, so muß man Klagenfurt einem gemischten Typus zurechnen, da sowohl die Niederschlagsmenge des Jahres und einzelner Monate hoch ist, anderseits unter kontinentalem Klimaeinfluß das Sättigungsdefizit im Sommer hohe Werte erreicht; im Juli 4.72 mm im Durchschnitt, in einzelnen trockenen Jahren beträchtlich mehr.

### b) Mittelwerte der Jahre 1902—1915.

Die Darstellung der Monatsmittel des GW im Museumbrunnen, des Niederschlags und des Sättigungsdefizits für die Jahre 1902—1915 in Abb. 2 zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Beobachtungen der Jahre 1879—1900 ergeben. Nur der Abfall des GW zum Herbst hin ist steiler. Auf das Minimum 6.20 m im September folgt das Nebenmaximum 6.43 m erst im Dezember. In Abb. 2 ist ferner der Gang des Wörther-See-Spiegels nach Monatswerten der Jahre 1902—1915 zum Vergleich aufgetragen. Den GW-Maxima von Mai und Dezember entsprechen ausgeprägte höchste Seestände im April und Dezember. Tiefste Seestände sind im Februar und September, also in den gleichen Monaten wie die tiefsten GW.

### Perioden über-, bzw. unterdurchschnittlicher Grundwasserstände und Monats-Niederschlagsmengen.

Trägt man Ganglinien des GW, Niederschlags und Sättigungsdefizits für die einzelnen Beobachtungsjahre auf, so fallen die Extreme dieser Kurven in den verschiedenen Jahren nicht auf die gleichen Monate. Vor allem ist, wie erwähnt, das Herbstmaximum des Niederschlags mehr oder weniger gut ausgeprägt; entsprechend ist die Einwirkung auf den GW. Der GW reagiert aber ziemlich empfindlich auf Niederschlagsimpulse. Während aber der Wechsel zwischen über- und unterdurchschnittlichen Monatsmengen des Niederschlags in aufeinanderfolgenden Monaten gewissermaßen mit geringer Trägheit sich vollzieht, klingt eine starke Abweichung des GW vom Durchschnitt, besonders eine positive, meist langsam, über mehrere Monate, wie eine gedämpfte Schwingung in einem sehr zähen Medium, ab. Die Gesetzmäßigkeit für den Rückgang des GW nach Aufhören der Niederschläge läßt sich dementsprechend

mathematisch wahrscheinlich am besten durch eine Exponentialfunktion annähern; in ähnlicher Weise wie sich die Trockenwetter-Auslauflinie der Wassermenge von Flüssen durch eine Exponentialfunktion darstellen läßt (nach Untersuchungen von W. Reitz, R. Bratschko u. a.).

Aus diesem verschieden raschen Ausgleich von GW- und Niederschlags-Schwankungen erklärt es sich, daß Zeitperioden, während welcher der GW eine größere Anzahl aufeinanderfolgender Monate hindurch über bzw. unter dem Durchschnitt liegt, verhältnismäßig oft vorkommen. Solche Perioden treten, wie nach dem Dargelegten zu erwarten ist, beim GW häufiger mit größerer Länge auf als Perioden mit über- bzw. unterdurchschnittlichen Monats-Niederschlagsmengen. Ausdrücke wie über- bzw. unternormal werden vermieden, weil nach der in der Fehlertheorie üblichen Bezeichnungsweise erst solche Monate als über- bzw. unternormal bezeichnet werden, deren Unterschied vom Monatsmittel größer ist als die mittlere (quadratische) Abweichung der Monatswerte von ihrem Mittel.

Tabelle 2 enthält nähere Angaben über Daten und Längen von Perioden über- bzw. unterdurchschnittlichen GW mit der mittleren Abweichung des GW während der ganzen Periode. Es wurden nur Perioden von mehr als sechsmonatiger Dauer in die Tabelle 2 aufgenommen.

Tabelle 2:

Daten und Längen von Perioden über- bzw. unterdurchschnittlichen Grundwasserstandes.

Beginn u. Ende der Periode (Monat, Jahr)	Dauer der Periode (Monate)	Mittlere Ab- weichungen des Grundwasser- standes (cm)
<b>Überdurchschnittlicher Grundwasserstand</b>		
1. I.—15. VII. 1879	6½	+36
20. II. 1885—10. VIII. 1887	29½	+63
10. XI. 1887—13. I. 1889	14	+43
5. IV. 1892—5. XI. 1892	7	+65
* 10. IX. 1896—22. X. 1897	13½	+44
* 5. III. 1898—20. X. 1899	19½	+26
I 1902—IX 1902	9	+25
XI 1903—IV 1905	18	+51
V 1907—XI 1907	7	+22
VIII 1909—III 1911	20	+53
XII 1913—XI 1914	12	+35
5. II. 1881—20. X. 1882	20½	-50
25. III. 1883—28. VI. 1884	15	+59
13. I. 1889—10. IX. 1889	8	-23
10. III. 1890—25. V. 1891	14½	-27

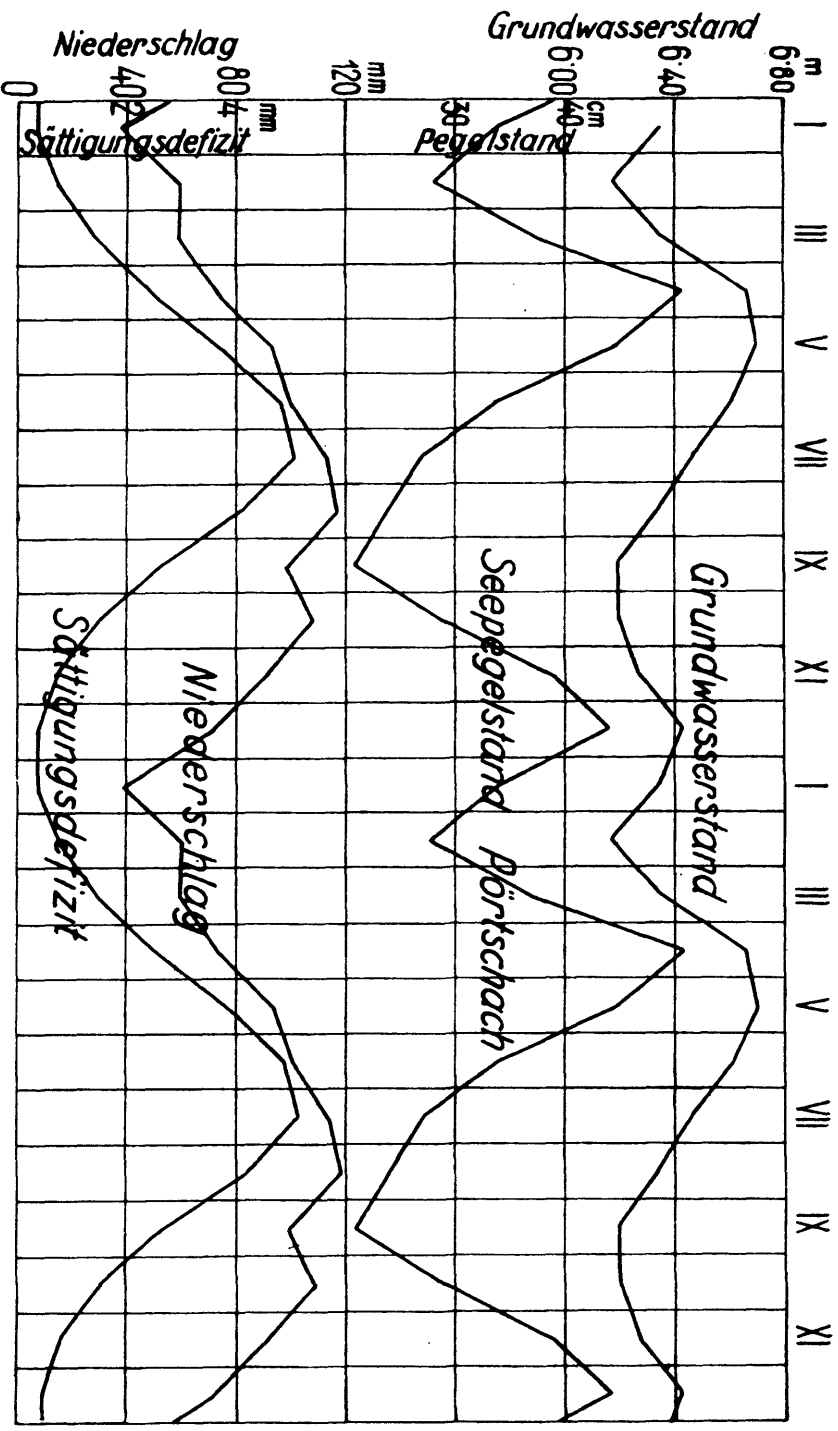


Abb. 2: Mittlerer Jahresgang des Grundwasserstandes, Seepegelstandes, Niederschlags und des Sättigungsdefizits nach Beobachtungen der Jahre 1902—1915.

Unterdurchschnittlicher  
Grundwasserstand

5. XI. 1892—10. IX. 1894	22	—42
25. VIII. 1895—10. IX. 1896	12½	—54
* 20. X. 1899—30. XI. 1900	13½	—46
X 1902—X 1903	13	—59
V 1905—VI 1906	14	—26
IX 1908—VII 1909	11	—50
IV 1911—XI 1911	8	—25
IV 1912—X 1912	7	—34
XII 1912—XI 1913	12	—51

In Tabelle 3 wird die Häufigkeit (Anzahl) von Perioden über- bzw. unterdurchschnittlichen GW in Abhängigkeit von der Länge der Periode (Anzahl der aufeinanderfolgenden Monate) dargestellt. Tabelle 4 gibt in ähnlicher Weise an, wie oft Perioden vorkommen, in denen 1, 2, 3 . . . . Monate hintereinander die Monats-Niederschlagsmenge über bzw. unter dem Durchschnitt lag.

Tabelle 3:

Anzahl der Perioden über- bzw. unterdurchschnittlichen Grundwasserstandes.

Überdurchschnittlich = ü; Unterdurchschnittlich = u.

Periodenlänge (Monate)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	20	21	22	30
<b>1879—1900</b>																				
ü	3	—	1	3	3	2	3	—	1	—	1	—	—	1	—	—	.	.	.	1
u	4	3	1	2	1	1	1	1	—	—	1	—	1	—	2	.	.	1	1	.
<b>1902—1915</b>																				
ü	1	1	—	3	1	—	1	—	1	—	—	1	.	.	.	1	1	.	.	.
u	—	1	—	—	3	—	1	1	—	—	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.

Tabelle 4:

Häufigkeit von Perioden aufeinanderfolgender Monate mit über- bzw. unterdurchschnittlichen Monats-Niederschlagsmengen.

Überdurchschnittlich = ü; Unterdurchschnittlich = u.

Periodenlänge (Monate)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1879—1900</b>									
ü	33	20	3	6	1	—	2	.	.
u	33	17	5	6	4	2	—	.	.
<b>1902—1915</b>									
ü	24	9	7	1	—	1	—	—	1
u	22	12	3	4	—	1	—	1	.

\*) Periode mit ganz überwiegend über- bzw. unterdurchschnittlichem Grundwasserstand (bis auf ein bis zwei Beobachtungstermine). In Tabelle 3 sind aber diese großen Perioden in die kleineren Teilperioden aufgelöst und diese gerechnet.

Aus den Tabellen 3 und 4 ersieht man gut die beim GW und Niederschlag unterschiedlichen Verhältnisse: Beim GW kommen Perioden gleichsinniger Abweichungen der GW von ihren Monatsmitteln bis zu 30 Monaten Länge vor, während beim Niederschlag die längsten beobachteten Perioden 7 bis 9 Monate sind; Perioden von einem Monat Dauer, d. h.: die Abweichung besteht nur einen Monat lang, sind beim Niederschlag weitaus die häufigsten.

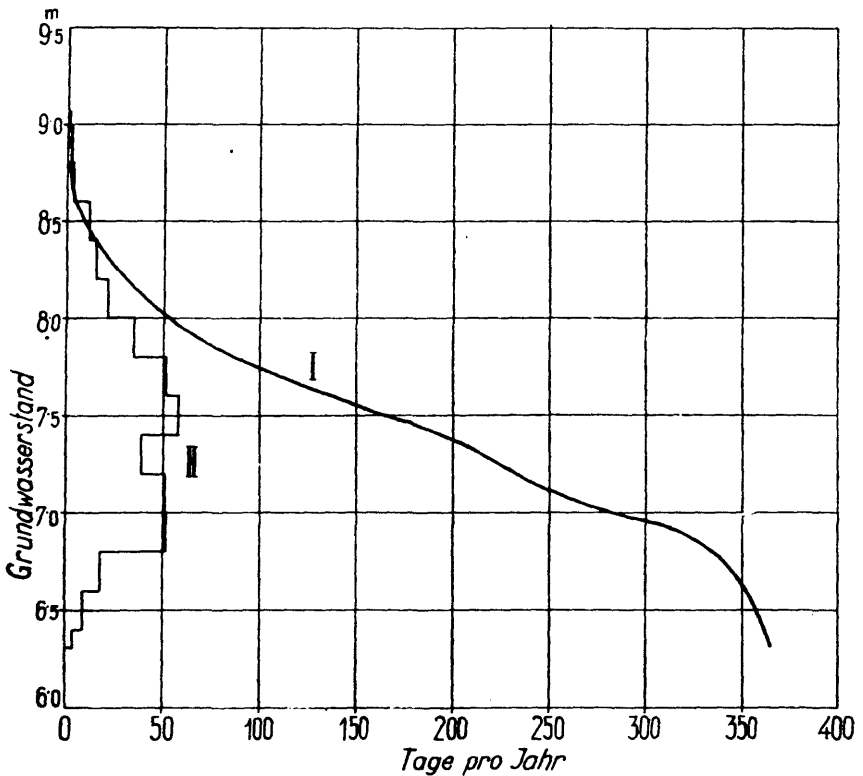


Abb. 3: Anzahl der Tage im Jahr, an denen der Grundwasserstand I eine gewisse Höhe überschreitet, bezw. II innerhalb eines Intervalls von 20 cm Breite liegt.

Während also die Monats-Niederschlagsmengen selten länger als ein halbes Jahr über oder unter dem Durchschnitt liegen, gleichen sich die Abweichungen vom mittleren GW relativ häufig mit viel größerer Trägheit über längere Perioden hin aus. Trockene und nasse Perioden können also gegebenen-

falls auf die Vegetation indirekt über den Grundwasserspiegel einen stärkeren Einfluß gewinnen als unmittelbar durch den Niederschlag.

### **Grundwasserstandsdauerlinie 1879—1900.**

Analog dem in der Hydrographie üblichen Begriff Wasserstandsdauerlinie, welche ersehen läßt, wie viele Tage im Jahr ein bestimmter Pegelstand überschritten wurde, wie groß also die Benetzungsdauer für die einzelnen Pegelstände ist, wurde hier aus den Beobachtungen der Jahre 1879—1900 ermittelt, wie viele Tage im Jahresdurchschnitt ein bestimmter Grundwasserstand überschritten wurde. Die Dauer der Überschreitung ist in Abb. 3 (Kurve I) aufgetragen. Aus dieser Kurve entnehmen wir z. B., daß der Grundwasserspiegel an etwa 52 Tagen des Durchschnittsjahres höher als 438.0 m Seehöhe steht, an 282 Tagen höher als 437.0 m.

Eine Kurve dieser Art wird auch als Summenlinie der Häufigkeit bezeichnet. Aus ihr läßt sich leicht die Häufigkeit (Anzahl der Tage) abgreifen, mit welcher der GW innerhalb eines gewissen Intervalles liegt. Bei der Staffellinie II der Abb. 3 wurde eine Intervallbreite von 20 cm angewandt; zu einem in der Ordinate anzulegenden GW-Intervall wird in der Abszisse (II) die Häufigkeit als Anzahl der Tage abgelesen. Die Häufigkeit hat zwei Maximalwerte für 6.8—7.2 m sowie von 7.4—7.6 m relativen GW. Diese Häufigkeitsverteilung kommt, wie man aus Abb. 1 ersieht, dadurch zustande, daß infolge des Nebenmaximums der GW-Ganglinie Wasserstände zwischen 7.4 und 7.6 m relativ häufig vertreten sind. Aus dieser Form der Staffellinie mit 2 Maxima läßt sich in der Dauerlinie leicht das Auftreten dreier Wendepunkte erklären.

Die Überschreitungsdauer der GW hat auch eine bodenkundliche und biologische Bedeutung. Sie gestattet unter gegebenen Voraussetzungen eine Aussage darüber, wie lange das Grundwasser an tiefgelegenen Stellen zu Tage tritt, ferner wie lange und in welcher Periode des Wachstums die Wurzeln bestimmter Pflanzen bis zum Grundwasserspiegel hinabreichen.

### **Bearbeitung einiger Fälle starker Grundwasserbewegung.**

Die Phasenverschiebung zwischen den Maxima des GW und des Niederschlages beträgt im allgemeinen ein bis zwei Monate. A. Brunlechner (l. c., S. 73) fand aber an mehreren Brunnen Klagenfurts, daß bei Hochfluten die Maxima zeitlich übereinstimmen. Anscheinend wird der Grundwasserspiegel in solchen Fällen häufig durch Sickerwasser erhöht, Wasser also, das bei starken Niederschlägen in den Boden eingesickert ist, infolge des Widerstandes im Boden nur langsam, unter dem Ein-

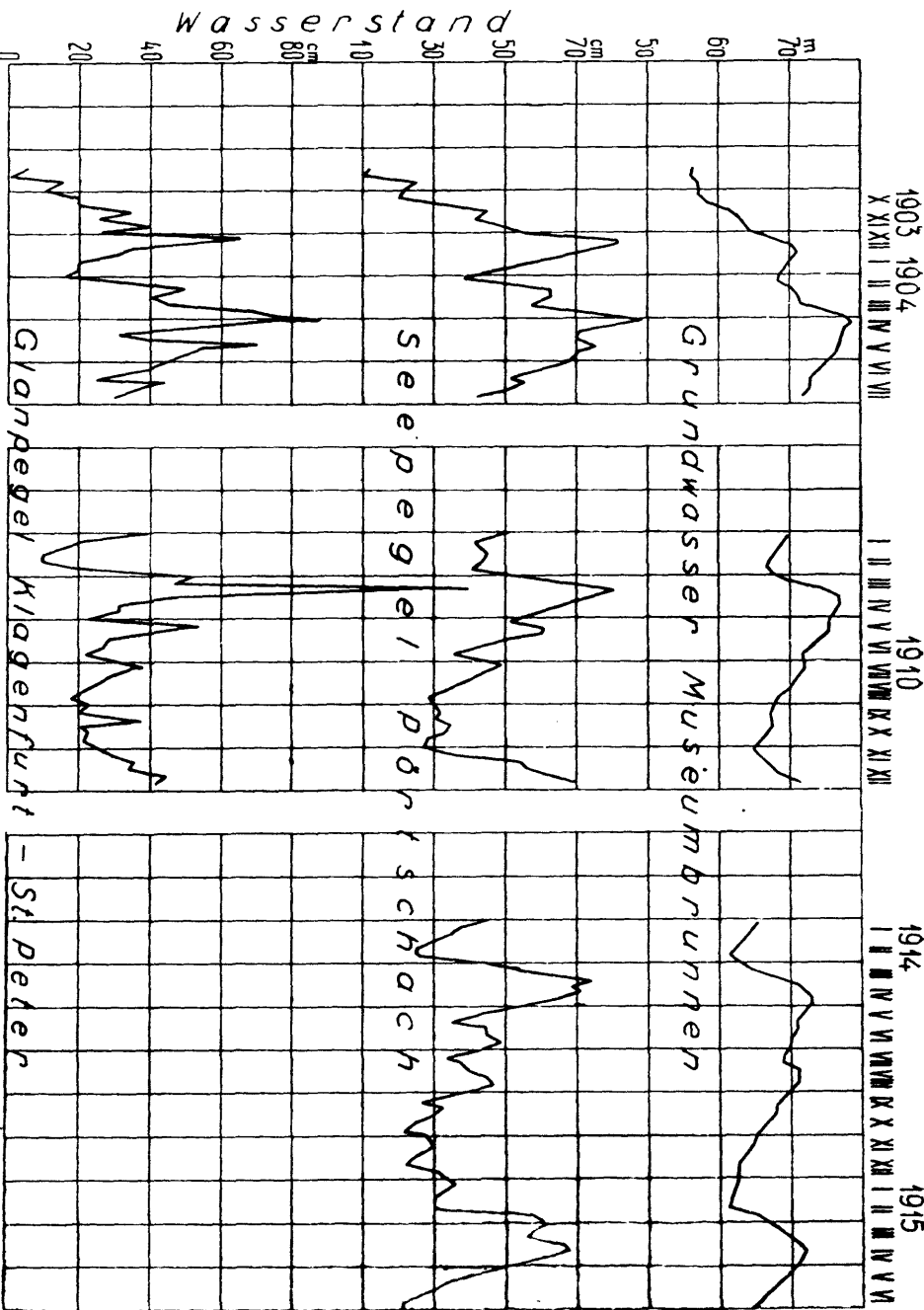


Abb. 4: Perioden starker Grundwasserschwankung, verglichen mit dem Gang des See- und Glanwasserstandes

fluß der Schwerkraft, in die Tiefe geht, bis es sich mit dem Grundwasserspiegel ausgeglichen hat, oder bis es von undurchlässigen Gesteinen aufgehalten wird.

In Abb. 4 sind drei Perioden starker Grundwasserbewegungen, festgestellt nach den Messungen im Museumbrunnen, aus den Jahren 1903/1904, 1910 und 1914/1915 dargestellt. Zum Vergleich ist die Wasserspiegelbewegung des Wörther Sees durch den Seepegel Pörtschach sowie die der Glan durch den Glanpegel St. Peter bei Klagenfurt dargestellt. Nach der Ansicht von A. Brunlechner mündet das Glantalgrundwasser nördlich der Stadt Klagenfurt in das Hauptbecken, und der Feuerbach, der unterirdisch durch die Stadt fließt, wird von der Glan und vom Wörther See, über den Lendkanal, gespeist. Die Darstellung der Glanpegelstände für die Periode 1914/1915 wurde fortgelassen, weil die Ablesungen laut Angabe im Jahrbuch des Hydrographischen Zentralbüros nicht verlässlich sind. Zur Vereinfachung der Darstellung sind nur die Wasserstände am 1., 11. und 21 jedes Monats aufgetragen, außerdem die Extrema, und linear verbunden. Der Glanspiegel steigt auf starke Niederschläge in ein bis zwei Tagen; beim Seespiegel tritt ebenso wie beim GW eine Phasenverschiebung auf, die durch die Seeretention verursacht wird. Infolge dieser fallen die Extrema des GW und des Seestandes teils zusammen, teils verschieben sie sich um ungefähr zehn Tage. Zur Beurteilung des Ausmaßes der Schwankungen ist zu berücksichtigen, daß 20 cm Pegelstandsänderung in gleichem Maßstab dargestellt sind wie 1 m GW-Änderung.

Aus den Beobachtungen einiger Jahre um 1880 ermittelte A. Brunlechner, daß die größte Schwankung des GW im Seelandbrunnen das 2.6fache der des Seespiegels betrug, in anderen Brunnen waren sie relativ höher bis zum 5.3fachen der Seespiegelschwankung.

In den hier behandelten Fällen starker Grundwasserbewegung ergaben sich als Tiefst- und Höchststände:

Museumbrunnen	Seespiegel Pörtschach
5.58 m am 13. 9. 1903	10 cm am 8.—12. 9. 190?
<u>7.83 m am 8. 4. 1904</u>	<u>88 cm am 2.— 5. 4. 1904</u>
2.25 m Schwankung.	78 cm Schwankung

Glan bei St. Peter  
 0 cm am 6.—12. 9. 1903  
87 cm am 2.— 3. 4. 1904  
 87 cm Schwankung



Die Schwankung des Museumbrunnens betrug also das 2.9fache der des Seespiegels, das 2.6fache der der Glan.

Museumbrunnen	Seespiegel Pörschach
7.12 m am 6. 4. 1910	80 cm 22.—24. 3. 1910
<u>6.48 m am 5. 11. 1910</u>	<u>27 cm 27/10.— 2./11. 1910</u>
1.24 m Schwankung	53 cm Schwankung

Glan bei St. Peter
130 cm am 18. 3. 1910
<u>(20) cm am 11. 9. 1910</u>
110 cm Schwankung

Die Schwankung des Museumsbrunnens betrug also das 2.3fache der des Seespiegels, das 1.1fache der der Glan.

Museumbrunnen	Seespiegel Pörschach
6.15 m am 22. 2. 1914	25 cm am 14.—20. 2. 1914
<u>7.30 m am 22.—24. 4. 1914</u>	<u>74 cm am 25.—27. 3. 1914</u>
1.15 m Schwankung	49 cm Schwankung

Die Schwankung des Museumbrunnens betrug das 2.3fache der des Seespiegels.

Aus dem älteren Material nach 1893 wird noch der folgende Fall angeführt, wo die Seespiegelschwankung aus den Pegelständen des Lendkanals ermittelt wurde.

Museumbrunnen	Lendkanal
8.39 m am 16. 4. 1895	48 cm 1.—21. 4. 1895
<u>6.31 m am 1. 3. 1896</u>	<u>2 cm 20./9.—12./10. 1895</u>
2.08 m Schwankung	46 cm Schwankung

Glan bei St. Peter
96 cm 29./3.— 4./4. 1895
<u>0 cm 18.—30. 9. 1895</u>
96 cm Schwankung

Die Schwankung des Seelandbrunnens betrug das 4.5fache der des Seespiegels und das 2.2fache der der Glan.

Anschrift: Dr. Hans, Steinhäuser,  
Klagenfurt, Khevenhüllerstraße.