

aus: *Verhandlungen der Internationalen
Vereinigung für theoretische und
angewandte Limnologie* Bd. VI
Stuttgart 1934

Löffler

10x

Neue Wege zur Untersuchung produktiver Grundwassergebiete.

VON L. MINDER, Zürich.

(Aus dem städt. Laboratorium Zürich. Vorstand: Dr. H. MOHLER.)
Mit 2 Abbildungen im Text und auf einer Textbeilage.

Im Grundwasser der Erdoberfläche haben wir gewissermaßen den eisernen Bestand; es ist, wie HALBFASS treffend sagt, die Sparbüchse, aus welcher fortwährend der Wasserschatz der Flüsse, Seen, Teiche und Sümpfe ergänzt wird, falls die Zufuhr durch meteorisches Wasser versagt.

Der Begriff „Grundwasser“ wird von den Geologen etwas verschieden gefaßt. Viele definieren es als alles unter der Erdoberfläche vorhandene Wasser. Andere wieder wollen unterscheiden zwischen Quellen- und Grundwasser. Nach dieser Betrachtungsweise hätten wir in den Gehängen der Berg- und Hügelzüge Quelladern, in den Talböden Grundwasser. Dieser Auffassung schließt sich auch GÄRTNER an. GÄRTNER definiert: „Unter Grundwasser versteht man das im Boden auf einer undurchlässigen oder wenig durchlässigen Schicht ruhende, oder auf ihr sich langsam weiter bewegende, alle kapillaren und nichtkapillaren Hohlräume ausfüllende und sich in einem gewissen Ruhe- und Gleichgewichtszustande befindliche Wasser.“

Es geschieht nicht ohne Absicht, wenn wir gerade diese Definition GÄRTNERS anführen und auch vertreten: Der Hygieniker sowie der Wasserwerksingenieur kommen ohne diese Zweiteilung von Quellen und Grundwasser nicht aus, weil beide nach den genannten Gesichtspunkten betrachtet wesentlich verschiedene Eigenschaften haben. Bei der Quelle kommt ein in die Erde versickertes Wasserteilchen vermöge vornehmlich der Gravitation relativ bald wieder an deren Austritt zum Vorschein, was der Quelle das mehr Launische in Ertrag und Temperatur, besonders aber auch in der bakteriologischen Reinheit verleiht. In den Grundwasserstrom gelangt, bleibt es liegen, eben dank dem relativen Ruhe- und Gleichgewichtszustand, in dem die Wasseransammlung sich

befindet. Allfällige Krankheitserreger, die es mitführt, finden so Gelegenheit, abzusterben, oder werden auf der langen Strecke bis zur Grundwasserfassung durch die Seitenfiltration des Schotters zurückgehalten. Die Seitenfiltration kommt in diesem Ausmaße eigentlich nur dem Grundwasser zu, weil im Gegensatz zum Quellwasser die vertikale Bewegungskomponente gebremst ist und fast nur die horizontale zur Wirkung kommt.

Von produktiven Grundwassergebieten habe ich in der Überschrift gesprochen. Damit soll gesagt sein, daß unsere Studien, die zunächst praktische Ziele verfolgt haben, sich mit ausgedehnten Grundwassergebieten befassen, wie wir sie in den diluvialen und alluvialen Kiesen und Sanden unserer Talböden treffen. Die Abgrenzung ist somit quantitativ bedingt.

Den direkten Anlaß zu unseren Studien gab die Erweiterung der Wasserversorgung der Stadt Zürich. Vorweg genommen sei, daß wir den bis anhin hauptsächlich geübten Vorarbeiten zu Grundwassererschließungen, die sich auf Richtung der Grundwasserströme durch Spiegelmessungen an verschiedenen Punkten, sowie mancherlei hydrologische Berechnungen stützen, einfache chemische Bestimmungen hinzugefügt haben, mit deren Hilfe es gelingt, Einblicke in die Hydrologie des Grundwassers zu bekommen und Fragen zu beantworten, die auf anderem Wege entweder gar nicht lösbar sind oder auf unsicherer Basis rechnerisch natürlich auch zu mehr oder weniger unsicheren Resultaten führen müssen.

Die Anforderungen an ein Wasser zur Versorgung eines größeren Gemeinwesens sind in neuerer Zeit weitergehende geworden. Neben der selbstverständlichen hygienischen Zuverlässigkeit richten die Wasserwerke ihr Augenmerk besonders auch auf gewisse Härteeigenschaften des Wassers, und zwar in erster Linie die Karbonathärte. Das hängt mit den immer mehr aufgekommenen Warmwasserbereitungsanlagen (Boiler) zusammen. Karbonathartes Wasser, d. h. nach eigenen Versuchen, Wasser von über etwa 15 französischen Karbonathärtegraden hat mehr oder weniger starke Verkalkungen der Anlagen zur Folge, wenn man diesen nicht Enthärtungsanlagen (gewöhnlich Permutitapparate) vorschaltet.

Die Grundwasserströme sind nach und nach auch bei uns im Alpenvorlande mit den vielen und z. T. guten Quellen Gegenstand intensiver Ausnützung geworden. Da die hygienische Brauchbarkeit tiefgefaßten Grundwassers im allgemeinen feststeht, ist zur Erforschung eines Grundwasserfeldes somit als eine neue Hauptaufgabe in den Vordergrund getreten, diejenigen Gebiete zu finden,

die ein Wasser mit der wünschbaren Karbonathärte zu liefern vermögen. Das ist weitgehend möglich. In Flußtälern nämlich mit Grundwasser können wir folgende Beziehungen zwischen Grundwasser und Fluß antreffen:

1. Keine gegenseitige Beeinflussung; beide Wasserläufe fließen unabhängig voneinander.
2. Grundwasser tritt in den Fluß über.
3. Das Grundwasser wird in mehr oder weniger breiten Randzonen vom Fluß gespeist.

Oft treffen wir in ein und demselben Talboden alle drei Möglichkeiten auf kürzere oder längere Strecken in dieser oder jener Reihenfolge hintereinander. In den Fällen 1 und 2 ist das Grundwasser in der Regel hart; im Fall 3 hingegen kann es gelingen, weil Flußwasser weich ist, die bequeme Wahl nach der Karbonathärte zu treffen.

Neben dieser wasserwerkstechnisch wichtigen Seite kommt aber der Karbonathärte noch eine ganz andere, für die Hydrologie, das „innere Leben“ des Grundwassers, bedeutsame Rolle zu. Das beruht auf der Möglichkeit, daß durch die Karbonathärte, wie wir noch zeigen werden, ein Wasservorkommen u. U. sehr gut charakterisiert werden kann.

Die Karbonathärte.

(Synonyma: Bikarbonathärte, Kohlensäurehärte, Alkalinität, vorübergehende, temporäre oder transitorische Härte.)

Die Namengebung „Karbonathärte“ rührt eigentlich von der analytischen Praxis her. Die Karbonathärte wird bestimmt durch Titration eines abgemessenen Wasserquantums mit eingestellter Salzsäure und Methylorange als Indikator; wir titrieren 100 ccm Wasser mit $\frac{n}{10}$ Salzsäure. Streng genommen wird also nicht die Härte, sondern die gebundene und halbgebundene Kohlensäure bestimmt. Da aber natürliche Wässer (abgesehen von Mineralwässern) andere Karbonate als diejenigen des Calciums und in untergeordneter Menge des Magnesiums höchstens in nebensächlichen Spuren führen, liegt kein Grund vor, diese Bestimmungsweise zu bemängeln. Die Werte für die Karbonathärte gebe ich im folgenden immer in französischen Härtegraden an. Bekanntlich wird unter einem französischen Härtegrad ein Teil CaCO_3 auf 100 000 Teile Wasser verstanden. Meines Erachtens hat diese Härteskala gegenüber z. B. der deutschen gewisse Vorteile.

1 deutscher Härtegrad \approx 1,785 franz. Härtegraden

Für einige Wassertypen unserer Gegend beträgt die Karbonathärte:

Zürichseewasser	ca. 12,5°
Flußwasser unseres Untersuchungsgebietes	„ 10—14°
Unterste Grenze des Grundwassers unseres Untersuchungsgebietes	„ 13°
Oberste Grenze des Grundwassers unseres Untersuchungsgebietes	„ 35°

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Karbonathärte bei verschiedenen Wassertypen große Unterschiede zeigt. Was aber ebenso wichtig ist und in unserer Aufstellung auch schon zum Ausdruck kommt, ist die verhältnismäßig geringe Veränderlichkeit bei ein und demselben Wassertypus. Wir können die Karbonathärte, cum grano salis natürlich, gewissermaßen als Konstante eines Wasservorkommens betrachten und die verhältnismäßig einfache und nur wenig Hilfsmittel erfordernde Bestimmungsweise macht sie zu einem guten Auskunftsmittel bei Untersuchungen, wie sie hier vorliegen. Wir haben von dieser Eigenschaft schon jahrelang mit Erfolg Gebrauch gemacht.

Die theoretische Begründung mag zum guten Teil in der Rolle, welche die freie Kohlensäure bei der Lösung hauptsächlich des Calciumcarbonates spielt, gesucht werden. Kohlensäurer Kalk in Mengen von über 1° Karbonathärte kann wegen dessen Schwerlöslichkeit in kohlensäurefreiem Wasser nur gelöst werden, wenn das Wasser „aggressiv“, d. h. kalklösende Kohlensäure enthält, die das Monokarbonat in Form des verhältnismäßig leicht löslichen Bikarbonats in Lösung bringt. Es gelten hier die Beziehungen zwischen Karbonathärte, freier „zugehöriger“ Kohlensäure und „aggressiver“ Kohlensäure, wie sie in der bekannten TILLMANSSchen Tabelle niedergelegt sind. Oberflächenwässer, die durch karbonatharte Quellen und Grundwässer gespeist werden, haben Gelegenheit, ihre Kohlensäure zu verlieren. Mit jedem Verlust unter die „zugehörige“ Kohlensäure tritt Bikarbonatzerfall ein, verbunden mit Ausscheidung von Monokarbonat (Massenwirkungsgesetz). Im Grenzfall hätten wir nur noch diejenige Karbonathärte zu erwarten, gegeben durch die freie „zugehörige“ Kohlensäure, die dem Partialdruck der Kohlensäure in der Atmosphäre entspricht (HENRYsches Gesetz). Das sind etwa 7—8° Karbonathärte. Daß derartige Vorgänge durch biogene Prozesse, die Kohlensäure entziehen, unterstützt werden, habe ich schon 1923 und 1926 gezeigt. In diesen physikalisch-chemischen Vorgängen

haben wir die Ursache, warum Fluß- und Seewässer karbonatweich sind. Umgekehrt kann karbonatweiches Flußwasser, das in einen noch so kalkhaltigen Grundwasserträger eintritt, m. a. W. zum Grundwasser wird, zunächst keinen Kalk lösen, nicht ver härten, wenn ihm keine Kohlensäure zugeführt wird. Gewiß kann das geschehen durch das Sickerwasser; das ist Niederschlagswasser, welches die oberen, der Zersetzung unterliegenden und daher Kohlensäure liefernden humosen Schichten durchfließt. Es ist das wohl auch der Hauptgrund, warum langsam fließendes, lange im Schotter verweilendes Grundwasser, das den Gehängen entstammt (in das Grundwasser abfließende Quellen) in der Regel karbonathart ist, während Flußgrundwasser unseres vorhin genannten Falles 3, welches den Schotter offenbar viel rascher durchfließt und deshalb schon eine geringe Möglichkeit hat, größere Mengen Kohlensäure durch Sickerwasser aufzunehmen, auf lange Strecken ungeschwächt an der Karbonathärte seine Herkunft verrät.

Das Ziel des von uns beschriebenen Weges zur Erforschung des Grundwasserfeldes ist demnach, an möglichst vielen, gleichmäßig verteilten Stellen, in gewissen zeitlichen Abständen mehrfach Grundwasserproben zu entnehmen und die Karbonathärte zu bestimmen. Die Werte werden in Karten eingetragen und Punkte gleicher Karbonathärten zu Härtekurven miteinander verbunden. Bevor wir aber derartige Untersuchungsergebnisse besprechen, seien noch einige technische Angaben über das Vorgehen im Grundwasserfeld gemacht.

Zu allererst müssen wir erfahren, welche der schon genannten Möglichkeiten, die wir über die Beziehungen zwischen Grundwasser und Fluß aufgestellt haben, im gewählten Talabschnitte vorliegen. Dazu müssen an geeigneten Stellen, wenn auch zunächst nur wenige, Grundwasseraufschlüsse vorhanden sein. Schon vorhandene Rohrbrunnen z. B. können genügen. Auf den Spiegel ausgehobene Löcher oder sonstige Grundwasserpfüten ist kein Verlaß, weil in Lagen größerer Karbonathärten das Wasser Gelegenheit hat, zu entkalken; die Härte also zu klein angezeigt wird. Fällt die erste Orientierung dem gewünschten Zwecke entsprechend aus, so müssen weitere Grundwasseraufschlüsse systematisch geschaffen werden. Hier sind wir so vorgegangen, daß wir durch Rammen von Rohrbrunnen, deren Ansaugstellen einige Meter unter Spiegeloberfläche liegen müssen, die gewünschte Zahl von Aufschlüssen hergestellt haben. Auf diese 6 cm weiten Röhren wurde dann eine leicht transportable Handpumpe aufgeschraubt und nach wenigen Minuten langem Vorpumpen die Proben entnommen. Fast

alle so erhaltenen Wasserproben sind mehr oder weniger stark trübe. Das macht jedoch nichts; man läßt einfach die Probe in der gut gefüllten und gut verschlossenen Flasche stehen, bis sie sich hinreichend geklärt hat und hebert das zur Untersuchung benötigte Quantum ab. Im gleichen Gang wurden auch Messungen der Wassertemperaturen und der Spiegellagen gemacht.

Die Karte der Karbonathärten.

Das von uns in dieser Weise bearbeitete Grundwasserfeld hat eine Längenausdehnung von annähernd $7\frac{1}{2}$ km und eine Breite bis zu etwa 1500 m. Im ganzen genommen ist das Terrain ein breiter, ziemlich ebener Talboden aus Fluvioglazialkies, vom Fluß unsymmetrisch durchströmt; er begrenzt das Schotterfeld nach rechts, während die linksseitige Grenze ziemlich sanftgeneigtes Hügelgelände darstellt. In diesem ausgedehnten Feld sind wir nach und nach bis auf weit über hundert Grundwasseraufschlüsse gekommen. Die Belegung geschah insofern nicht ganz gleichmäßig, weil sie sich nach besonderen Fragestellungen in einzelnen Gebieten richten mußte; in erster Linie in Gebieten, die sich zur Erstellung von Grundwasserfassungen schon bald als besonders geeignet erwiesen.

In unserer Härtekarte haben wir Härtekurven in Abständen von 5 zu 5 französischen Graden Karbonathärte eingezeichnet. Allerdings mußte gelegentlich interpoliert werden; doch waren wir bestrebt, unsichere Stellen oder auch besonders wichtige Stellen durch Untersuchung zu sichern, so daß die Karte ein recht getreues Abbild der tatsächlichen Karbonathärteverhältnisse geben dürfte. Engere Abstufungen in den Härtelinien zu wählen erschien nicht zweckmäßig, denn schließlich zeigen die Karbonathärten u. a. auch gewisse zeitliche Schwankungen, so daß dann die Linien leicht zu unsicher ausfallen müßten. Bei unseren Härtekurven haben wir tunlichst über längere Zeit sich erstreckende Untersuchungsreihen als Mittelwerte verwendet.

Was ist nun aus der Härtekarte zu entnehmen? Zunächst einmal zeigt unser System von Härtelinien, daß die Karbonathärte im ganzen Talabschnitt vom Fluß gegen die talbegrenzende Berglehne beständig zunimmt. Die meisten Linien verlaufen annähernd flußparallel. In einem einzelnen Fall haben wir eine Linie, eine Härtekurve 30° , die einen geschlossenen Herd umschließt, den wir als „Härteinsel“ bezeichnet haben.

Die Deutung dieser Kurven dürfte keine Schwierigkeiten

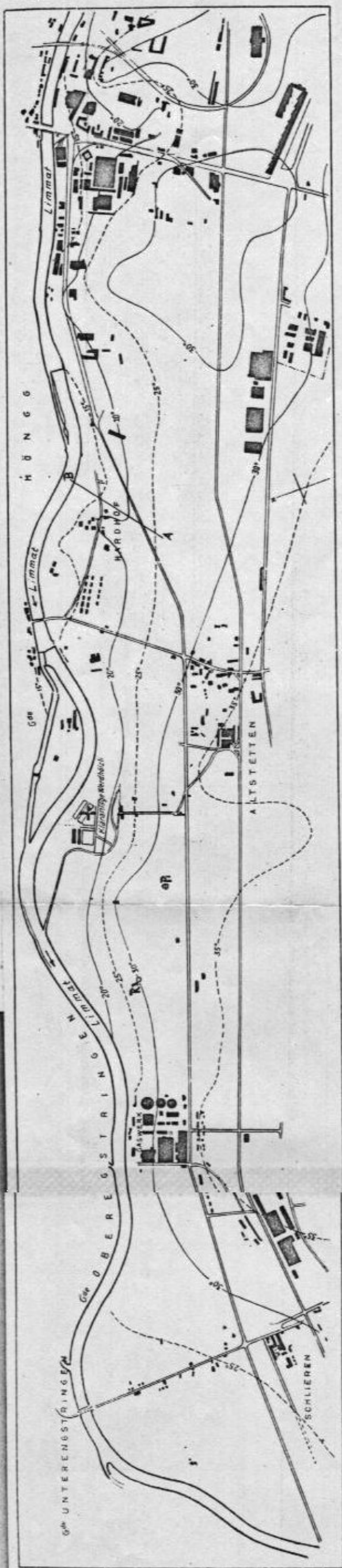


Abb. Karte der Karbonathärten des Grundwasserstromes im oberen Limmat. Härtekonturen abgestuft von 5 zu 5 französischen Graden. Das dargestellte Talgebiet hat eine Länge von 7300 m und eine Breite von 1500 m. Rechts der unterste, talabwärts gelegene Teil der Stadt Zürich; links die Gemeinde Schlieren mit dem Gaswerk der Stadt Zürich. Oben die Limmat, die das Grundwasserfeld nach rechts begrenzt. Bei + (Kläranlage Werdhölzli) von Juli 1930 bis August 1931 Absenkung des Grundwasserspiegels um ca. 5 m mittels zahlreicher Pumpen, mit der Folge einer gesteigerten Flußinfiltration, die an den Punkten P₁ R₃ sowie einem weiteren inmitten des Gebäudekomplexes „Gaswerk“ durch Bestimmung der Karbonathärten zeitlich verfolgt werden konnte (vergl. graphische Darstellung Abb. 2).

machen. In einem engeren Ufergürtel haben wir die stellenweise unterbrochene Härtekurve 15°. Das Grundwasser dieser Randzone ist in der Karbonathärte nur wenig höher als das Flußwasser mit einer mittleren Karbonathärte von 12°. Dann steigt die Härte überall bergwärts an, offenbar ganz entsprechend dem nach und nach sich immer mehr geltendmachenden Zuschuß an hartem Grundwasser von der Bergseite her. Die Härteinsel betrachten wir als den Ausdruck einer besonderen Beschaffenheit des Grundwasserträgers.

Talabwärts rücken alle Härtelinien deutlich gegen den Fluß zusammen. Diejenigen von 20° und sogar 25° laufen an einer Stelle direkt gegen den Fluß aus, d. h., daß dort das bergseitige Grundwasser vorrückt und dementsprechend die Flußinfiltration zurücktritt. Der Fluß ist dort etwas tiefer eingeschnitten, so daß genauere Untersuchungen an dieser Stelle vielleicht gelegentlich Übertritte von Grundwasser in den Fluß ergeben würden.

Die Härtebestimmungen geben uns weiterhin ein Mittel an die Hand, in jedem beliebigen Querprofil den Anteil Flußinfiltrat am Grundwasser für jeden vorhandenen Aufschluß zu berechnen. Wir greifen dazu als Beispiel das Querprofil A—B unserer Karte heraus. Die Berechnung ist möglich, wenn gegeben sind:

Härte des Flußwassers = UH
 Härte des von der Berglehne herstammenden Grundwassers = OH
 Härte am gewünschten Beobachtungspunkt = H

Dann gibt uns folgende Formel den Anteil Flußwasser in Prozenten:

$$\frac{100 (OH - H)}{OH - UH}$$

Für das Profil A—B erhalten wir alsdann, die Härte außerhalb der Infiltrationszone zu 30° angenommen, die Werte folgender Tabelle.

Beobachtungspunkt:

	Fluß	R 10	R 11	R 12	R 13	R 14	R 15
Abstand von Flußmitte, m: —	—	42	56	85	160	330	475
Zahl der Bestimmungen: 17	17	17	15	17	17	18	16
Mittlere Karbonathärte							
fr. °	12,09	13,10	13,21	13,01	14,87	21,45	25,31
% Flußwasser: 100	100	94	94	95	84	48	26

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, daß im fraglichen Gebiet bis auf ca. 150 m Uferentfernung die Flußinfiltration bis über 90% beträgt. Die Härtekurve 20° bildet annähernd die Grenze, wo der Flußwassergehalt eben noch 50% ausmacht.

Unsere Härtekarte liefert also:

1. An jedem Punkt des Feldes die Karbonathärte des Grundwassers und läßt Hand in Hand damit, wie gezeigt, den Ursprung der Grundwasserspeisung berechnen;
2. im Verlauf der Härtelinien die Fließrichtung des Grundwassers.

So nützlich die Kenntnis der Karbonathärte für das Erstellen von Grundwasserfassungen zu Trinkwasserversorgungen und für die wasserverbrauchende Industrie ist, so wertvoll sind fernerhin deren Folgerungen in bezug auf die *Infiltrationsgröße*. Ebenso wesentlich wie die Qualität des Grundwassers ist die Ergiebigkeit an einer Bohrstelle. Ohne weiteres wird man erwarten dürfen, daß in der Infiltrationszone die Ergiebigkeit größer ist als anderswo, weil offenbar der Reibungswiderstand von der Flußseite her geringer und der Fluß selbst als Grundwasserspender unerschöpflich ist.

Ein Experiment im großen Maßstab gab uns zur Abklärung dieser Frage die nötigen Anhaltspunkte. Der Bau einer Kläranlage (Stelle auf der Karte, Abb. 1, mit + kenntlich gemacht) machte es notwendig, daß während mehr als eines Jahres andauernd große Grundwassermengen abgepumpt werden mußten. Von Ende Juni 1930 bis März 1931 betrug das Quantum rund 1000 Sekundenliter (86½ tausend Kubikmeter in 24 Stunden; das Versorgungsquantum einer großen Stadt). Dadurch wurde allerdings der Grundwasserspiegel in weitem Umkreise abgesenkt. Interessant waren unsere Beobachtungen über das Verhalten der Karbonathärten. An drei Punkten (vergl. Abbildung 2) liegt eine hinreichende Zahl von Bestimmungen vor. Es ließ sich nachweisen, daß in einem Umkreise von mindestens 1½ km talab- und über ½ km einwärts die Karbonathärte andauernd und im gleichen Sinne, wie die abgepumpten Wassermengen zunahmen, zurückging, und der Ausgleich bald wieder eintrat, nachdem der Pumpetrieb abgebrochen wurde. Bei der Grundwasserfassung „Gaswerk“ ging die Karbonathärte im Maximum 10—12° zurück. Daraus läßt sich schließen, daß der Ersatz des abgepumpten Wassers im wesentlichen von der Flußseite her erfolgte und der Zuschuß nach unserer Formel berechnet nach und nach bis zu etwa 60% betrug. Mit a. W. heißt das, daß durch Spiegelabsenkung auf große Strecken ein Hinüberfluten des weichen Flußwassers in den Grundwasserträger erfolgte. Darin haben wir

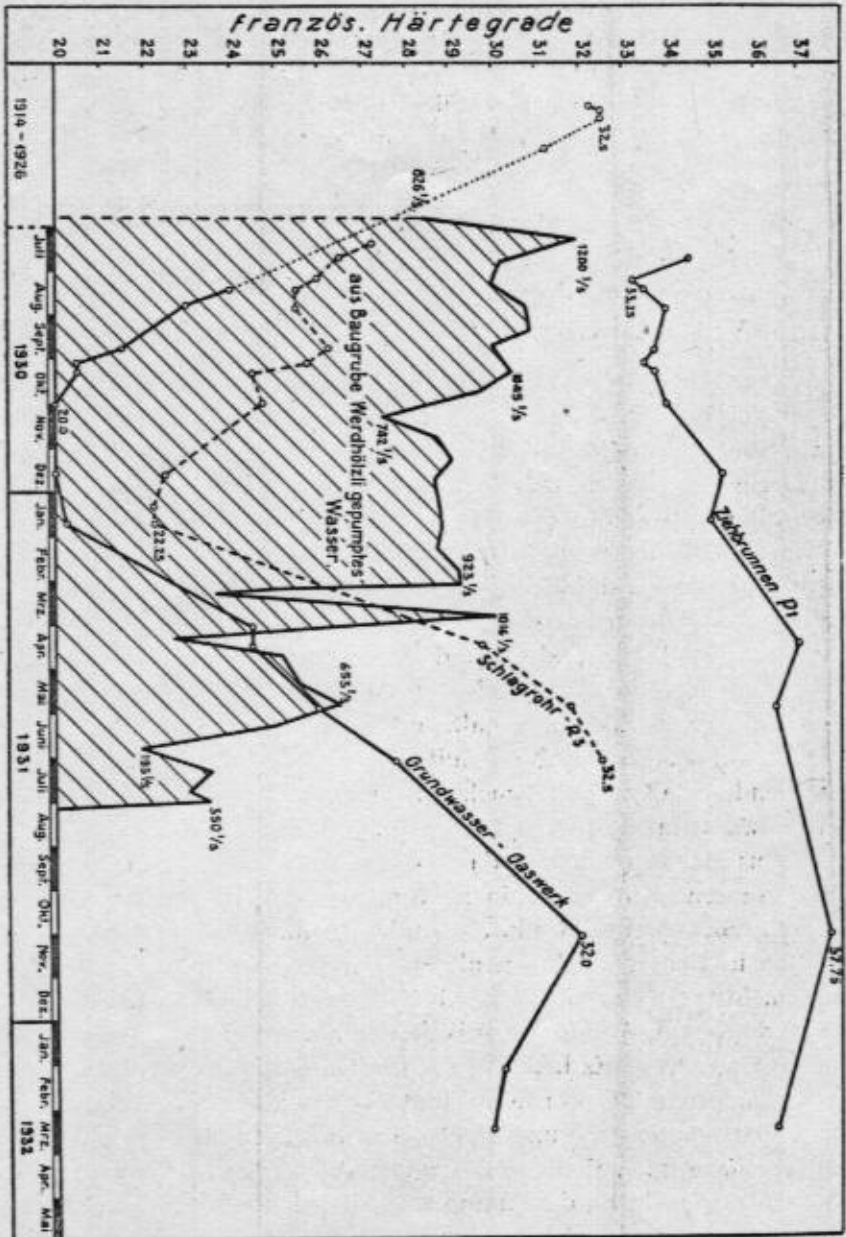


Abb. 2. Flußinfiltration in großem Maßstabe, kenntlich am Zurückgehen der Karbonathärte des Grundwassers an drei Aufschlüssen, anlässlich enormen Abpumpens bei der Kläranlage Werdhölzli (bei +, Abb. 1). P_1 liegt in 280 m Abstand in Talrichtung von der Entnahmestelle und 620 m Entfernung von Flußmitte; R_2 in 770 bezw. 280 m; Grundwasseranlage Gaswerk in 1500 bezw. 235 m. Die drei Aufschlüsse sind auf der Karte (Abb. 1) mit Kreisen angedeutet. Die schraffierte Fläche veranschaulicht die Pumpenleistungen in Sekundenlitern.

einen Beweis, daß tatsächlich bei Entnahmen von Grundwasser in der Infiltrationszone der Ausgleich im wesentlichen von der Flußseite zu erwarten ist, was weitgehende Schlüsse auf die Ergiebigkeit zuläßt.

Unsere Karte der Karbonathärten hat über die Zeit dieses Versuches in der beeinflussten Gegend anders ausgesehen. Die Härtelinien 20°, 25° und 30° sind dort vom Fluß weggerückt und vielleicht 300 m weiter landeinwärts verschoben worden.

Beiläufig erhielten wir auch Anhaltspunkte über die Beeinflussung der bakteriologischen Qualität des Grundwassers durch diese gewaltige, künstlich geschaffene Infiltration. Der Fluß ist nämlich gerade in dem in Frage kommenden Abschnitt durch Abwässer stark verunreinigt. Die bakteriologische Beschaffenheit des Wassers der in hohem Maße in Mitleidenschaft gezogenen Entnahmestelle des Gaswerkes ließ einen eben merklichen, aber noch keineswegs bedenklichen Einfluß durchblicken. Die Seitenfiltration des Schotters mochte also das stark verunreinigte Flußwasser noch hinreichend bewältigen.

Zusammenfassung.

Die Karbonathärte zeigt bei verschiedenen Wassertypen, bei den weichen Oberflächenwässern angefangen bis zu harten Grundwässern, große Differenzen, und ist für jedes Wasservorkommen verhältnismäßig konstant. Diese Eigenschaft haben wir benützt zur Herstellung einer Karbonathärtekarte für ein größeres Grundwassergebiet, d. h. einer Karte, auf der Punkte gleicher Karbonathärten miteinander verbunden sind. Diese Karte gibt für jeden Punkt im Grundwasserfeld die Höhe der Karbonathärte, was an sich praktisch wichtig ist. Ferner lassen sich aus den „Härtelinien“ Richtung der Flußinfiltration erkennen und deren relative Größe berechnen, wie überhaupt die Fließrichtung des Grundwassers ersehen.

Die Methode bildet also ein wertvolles neues Element bei Vorarbeiten zur Nutzbarmachung von Grundwasserströmen. Sie ergänzt die hydrologischen Berechnungen und Versuche nicht nur in bester Weise, sondern ist überdies geeignet, wichtige praktische Fragen eleganter und sicherer zu lösen als jedes andere bis jetzt benützte Verfahren.

Hauptliteratur:

- GÄRTNER, A.: Hygiene des Wassers, Braunschweig 1915.
GROSS, ERWIN: Handbuch der Wasserversorgung, München 1930.
HUG, J.: Die Grundwasserverhältnisse der Schweiz, Genf 1918.
MINDER, L.: Über biogene Entkalkung im Zürichsee, Stuttgart 1923.

Diskussion.

HALBFASS: In welchem numerischen Verhältnis steht in der Infiltrationszone das Flußwasser zum Grundwasser?

MINDER verweist auf die einschlägigen Tabellen seines Vortrages und führt noch an, daß die Härtelinie 20° den Flußwassergehalt unter bzw. über 50% trenne.

WIBAUT-ISEBREE MOENS: Wie groß ist der Coligehalt der Limmat, wie hoch der des Grundwassers? Wie weit sind die Probenentnahmestellen vom Fluß entfernt?

MINDER: Der Colititer des Flußwassers unterhalb des Abwassereinlaufes der städtischen Kläranlage, der für unser Infiltrationsexperiment maßgebend ist, bewegt sich in der Größenordnung von 0,0001 bei einer Bakterienzahl um rund 100 000. Die Grundwassersfassung „Gaswerk“ hat einen Abstand vom linken Limmatufer von ca. 200 m. Während des Hinüberflutens von Flußwasser ins Grundwasser konnte hier sporadisch Coli in 5—10 ccm Wasser nachgewiesen werden, das bei jahrelanger bakteriologischer Kontrolle dieses 30 m tiefen Brunnens sonst nie der Fall war.
