

# Grundwasser im Karst.

Von **Dr. Lukas Waagen.**

Im Schlußhefte des 53. Bandes dieser Zeitschrift<sup>1)</sup> hat der Prager Universitätsprofessor und Geograph Dr. A. Grund dieses Problem einer neuerlichen Besprechung unterzogen, wobei sich einige Differenzen mit den von mir im gleichen Jahre publizierten Ansichten ergaben. Da ich nun jedoch im vergangenen Oktober Gelegenheit hatte gerade bezüglich des Grundwassers im Karste neue Studien zu machen, so will ich hier die kontroversen Fragen mit wenigen Worten besprechen.

Vergleicht man die Publikation Grund's in dieser Zeitschrift, welche den Anlaß zu vorliegender Schrift bildet, oder dessen größere Arbeit „Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges“<sup>2)</sup> mit dem von mir in den beiden Arbeiten „Karsthydrographie und Wasserversorgung in Istrien“<sup>3)</sup> sowie „Die unterirdische Entwässerung im Karste“ Gesagten,<sup>4)</sup> so wird man erkennen, daß unsere Meinungsverschiedenheit genau genommen minimal ist, denn wir beide sind darin einig, daß in den höheren Teilen des Karstes Vertikalentwässerung durch flußartige Höhlengerinne besteht und in den tieferen Teilen sich Grundwasser ansammelt, das Grund als Karstwasser, ich selbst als Staugrundwasser bezeichne. Der Unterschied unserer Ansichten besteht jedoch darin, daß ich für den seichten Karst das Vorhandensein von Grundwasser ohne weiteres zugebe, dagegen dies für den tiefen Karst nicht mit Grund als allgemein vorhanden, sondern nur längs der Küste annehme.

Die Ursache dieser Differenz liegt eigentlich in dem verschiedenen Umfange, welchen wir beide dem Begriffe Grundwasser geben. Bisher waren im allgemeinen zwei Definitionen

---

<sup>1)</sup> Zur Frage des Grundwassers im Karst.

<sup>2)</sup> Penck's Geograph. Abhandl. Bd. IX, Heft 3, 1910.

<sup>3)</sup> Zeitschrift f. prakt. Geol. XVIII, 1910, S. 229—239.

<sup>4)</sup> Hettner's Geograph. Zeitschrift XVI, 910, S. 398—401.

des Begriffes Grundwasser üblich. Die engere Fassung bezeichnete nur jenes Sickerwasser, welches lockere Felsarten, wie Schotter, Gerölle, Kiese, Sande, erfüllte, als Grundwasser,<sup>1)</sup> während in der weiteren Fassung alles jenes als Grundwasser gilt, was in den Erdboden eingedrungen sich über einer wasserundurchlässigen Schicht sammelt und dort zirkuliert. — Beide Definitionen erscheinen nun Grund zu eng gefaßt und er glaubt sich daher bemüssigt, eine neue aufzustellen: „Ich verstehe unter Grundwasser das in den Boden eingedrungene Meteorwasser, sobald dieses die vertikale Bewegung des Einsinkens mit der horizontalen Bewegung zur Quelle vertauscht hat.“<sup>2)</sup> Leider muß jedoch gezeigt werden, daß diese neue Definition weder weiter als die bisherige, noch vor allem aber richtig ist. Zunächst gibt es im Grundwasser keine horizontale Bewegung, denn eine Bewegung kann eben nur vorhanden sein, wenn ein, eventuell auch minimales Gefälle existiert. Weiters gehört nach dieser Definition unbedingt zum Begriff des Grundwassers, daß es in einer Quelle einen Abfluß besitze. Jedem Wassertechniker ist aber doch seit lange der „Grundwasserstau“ bekannt, der weder Abfluß noch Bewegung besitzt, und dennoch, wie schon der Name besagt, zweifellos echtes Grundwasser ist. Endlich würde ebenso das ganze große Gebiet des artesischen Wassers, das ja auch vor der Erbohrung weder Ablauf noch Bewegung haben kann, dem Begriffe des Grundwasser entzogen werden, und dies liegt wohl auch nicht in der Absicht Grund's selbst.

Doch Grund verstößt auch noch weiters gegen den hergebrachten Begriff des Grundwassers, indem er sagt: „Das Charakteristische des Grundwassers ist nach meiner Auffassung nicht die Ansammlung auf der (sc. wasserundurchlässigen) Unterlage, sondern überhaupt die subterrane Ansammlung eingesickerten Meteorwassers, ohne Rücksicht, wie die Ansammlung zustande kommt. Die Unterlage ist ganz nebensächlich. Selbst wenn die Erde nur ein durchaus poröser Sandball wäre, hätte sie doch Grundwasser.“<sup>3)</sup> — Da möchte ich mir nun zunächst die Frage erlauben: Wie stellt sich Grund eine Ansammlung von Grundwasser ohne wasserundurchlässige Unterlage vor? Wir

<sup>1)</sup> Vergl. Haas, Quellenkunde, Leipzig 1895, S. 27, 28.

<sup>2)</sup> Diese Zeitschrift 1910, S. 610.

<sup>3)</sup> Diese Zeitschrift 1910, S. 615. Der gesperrt gedruckte Satz wird von Grund in gleicher Weise hervorgehoben.

wissen ja, daß eingesickertes Meteorwasser, solange es eben nicht auf dieser Unterlage oder in dem darauf angesammelten Grundwasser angelangt ist, stets auf der Wanderung nach diesem Ziele begriffen ist, und wir treffen es dann in den Erdschichten als Berg- oder Gebirgsfeuchtigkeit, niemals aber als Grundwasser. Die Berufung auf einen porösen Sandball ist aber schon ganz und gar unrichtig, denn ein solcher könnte, wenn in Rotation begriffen, eine Art Grundwasser bloß in seinem Zentrum aufspeichern, was ja bei der Erde infolge der Temperaturzunahme nach dem Innern ausgeschlossen ist. Im übrigen aber können Sandschichten durch den einsickernden Niederschlag, wenn ihnen die direkte Unterlagerung durch wasserundurchlässige Schichten mangelt, nur durchfeuchtet, aber nicht mit Wasser gesättigt werden, d. h. eine Bohrung aus solchen Sanden würde niemals Wasser ergeben, da hier das Wasser bloß infolge der Adhäsion, die zwischen Wasser und Stein besteht, vorhanden ist. Die Richtigkeit dieser Darlegungen wurde ja in der Natur wiederholt beobachtet. So hat Foureau den Boden der Sahara bei Aïn-Taba untersucht und dort unter einer feuchten eine trockene und dann wieder eine feuchte Schicht gefunden. Er führte die beiden feuchten Horizonte auf die Regen des letzten wie des vorletzten Winters zurück, deren sehr langsam zur Tiefe sickernde Niederschläge „gleichsam Jahresringe von Feuchtigkeit“ bildeten.

Wir erkennen also, daß Grund mit seinen neuen Ansichten über Grundwasser keine Zustimmung verdient, und wollen uns daher umsehen, ob die bisherige weitergehaltene Definition wirklich nicht ausreichend ist. — Als ein Charakteristikum des Grundwassers haben wir bereits seine Ansammlung über einer wasserundurchlässigen Unterlage kennen gelernt, wie dies ja auch von der Definition verlangt wird. Ohne diese Unterlage ist die Bildung von Grundwasser ausgeschlossen. Immerhin könnten wir uns jedoch auch den Fall denken, daß sich lokal eingesickertes Meteorwasser über einer kleinen Scholle undurchlässigen Materials, z. B. Höhlenlehm, ansammeln kann und auch, daß in der Nachbarschaft ähnliche lokale Ansammlungen vorkommen, die jedoch nicht unter den Begriff des Grundwassers zu subsumieren wären. Wir müssen also noch eine Unterscheidung zwischen Ansammlungs- und Grundwasser in die Definition aufnehmen und diese besteht darin, daß Grundwasser stets auf größere Flächen hin mehr oder weniger zusammenhängende Massen bildet und daß es

an benachbarten Stellen stets annähernd mit seiner Oberfläche ein gleiches Niveau einnimmt.

Wir definieren also: Grundwasser ist das in den Boden eingedrungene Meteorwasser, das sich über einer wasserundurchlässigen Schicht sammelt und über einen größeren Raum hin eine annähernd gleiche, zusammenhängende Niveaulfläche bildet. Diese Definition ist weit genug, um alle Arten des Grundwassers zu umfassen. Nicht nur das gewöhnliche, das lockere Gesteinsanhäufungen erfüllt, oder das am Ausgehenden wasserundurchlässiger Schichten als Quelle zutage tritt, sondern ebenso artesisches Grundwasser, das ebenfalls in seinem Infiltrationsgebiete die Erscheinung der Niveaubeständigkeit auf weitere Strecken aufweisen muß, und auch der spezielle Fall des Staugrundwassers wird von dieser Definition berücksichtigt. Letzteres wird hier eigens aufgeführt, da es ebenso wie das artesisches Grundwasser von dem gewöhnlichen Grundwasser in einigen Punkten abweicht. Staugrundwasser entsteht dadurch, daß sich das meteorische Wasser auf einer undurchlässigen Schicht sammelt, aber, an seinem Abflusse behindert, oft zu großer Mächtigkeit anwachsen kann. Das Hindernis ist sehr verschieden: in gefalteten Gebieten kann es eine allseitig geschlossene Mulde undurchlässigen Gesteins sein, welche einen Grundwassersee umschließt; in Bruchgebieten kann eine solche undurchlässige Schicht längs eines Bruches an einer anderen undurchlässigen Gesteinsmasse abstoßen, die sich gleich einem Staudamme vorlegt, und ebenso kann endlich das Meerwasser durch seinen hydrostatischen Druck wirken. In all diesen Fällen entstehen Grundwasseranhäufungen von ungewohnter Mächtigkeit, die z. B. an der istrischen Küste 200—400 m erreichen kann. Es besteht dann bis zur oberen Kante des natürlichen Staudammes der unbewegte Grundwasserstau, während das darüber befindliche Wasser als Überfall abfließt. Dies entspricht der Scheidung, welche Grund seinerzeit<sup>1)</sup> zwischen „Grundwasser im Karste“ und „Karstwasser“ vornahm (die er übrigens seither wieder aufgegeben zu haben scheint), eine Erscheinung, die jedem Wassertechniker seit lange bekannt ist.

Ich stimme also mit Grund darin vollkommen überein, daß es im Karste Grundwasser gibt, wenn ich auch dessen Definition

---

<sup>1)</sup> Karsthydrographie. Pencks Abhandlungen, VII. Bd., Heft 3, 1903.

des Begriffes Grundwasser zurückzuweisen gezwungen bin. Es ist dies jedoch nicht etwa eine auf Grund theoretischer Spekulationen gewonnene Annahme, sondern hauptsächlich das Resultat meiner in Istrien und besonders im letzten Jahre in der Umgebung Polas durchgeführten Studien. Dort war es mir möglich, an zahlreichen Punkten den jeweiligen Grundwasserstand festzustellen, die Grundwasserschwankungen zu beobachten und selbst die Isohypsen des Grundwassers zu verzeichnen, Resultate, die in einer anderen Arbeit detailliert der Öffentlichkeit übergeben werden sollen. Wenn ich mich daher in meiner früheren Publikation der Katzerschen Meinung anschloß, daß es in tiefem Karste kein Grundwasser gäbe, so war dies einestheils, wie ich zugebe, eine ungenaue und auch irreführende Angabe meinerseits, denn ich hatte damals praktische Gesichtspunkte im Auge und hätte daher präzisieren sollen: praktisch verwendbares Grundwasser, und andererseits fehlten mir noch die vorigjährigen Beobachtungen.

Trotz dieser neuen Erfahrungen kann ich mich jedoch mit den Ansichten Grunds nicht identifizieren. Das Problem ist nämlich viel komplizierter, als es nach der Darstellung von Grund erscheint, und erfordert daher viel mehr Detailstudium, als es von dem genannten Autor aufgebracht wurde. Ich will hier nur einige Daten vorbringen, während das gesamte Material an anderer Stelle veröffentlicht werden soll. In der Umgebung von Pola gestatten die zahlreichen Beobachtungen direkt Isohypsen des Grundwassers zu konstruieren, die wieder durch ihre Verschiebung den Einfluß von Niederschlägen auf den Grundwasserstand außerordentlich präzise erkennen lassen. Da zeigt sich nun zunächst sehr auffällig eine Scheidung des Beobachtungsmaterials in zwei Gruppen nach dem geologischen Bau der Umgebung. Knapp an Pola vorbei verläuft die Grenze zwischen dem Hauptradioliten- und dem Plattenkalke und man kann beobachten, daß das Grundwasser im Plattenkalkgebiete von den lokalen Niederschlägen sehr schnell und ebenso ausgiebig beeinflußt wird, was im Radiolitenkalk nicht der Fall ist. Aber auch bei anhaltenden Niederschlägen verhalten sich die beiden Gruppen verschieden und ebenso ist die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Stande im Laufe eines Jahres sehr verschieden. So beträgt z. B. im Val Dragon diese Differenz höchstens 3 m, in Skattari, wo der Brunnen bereits in den Plattenkalk hinabreichen dürfte, 8 m, es soll dort

jedoch der Schlot in sehr nassen Zeiten auch mitunter als Speiloch funktioniert haben, was einer Differenz von mehr als 12 m entsprechen würde. Foibon, noch näher der bezeichneten Formationsgrenze, besitzt eine normale Schwankung von mehr als 6 m, ausnahmsweise aber bis 16 m. Daran schließen wir dann Brunnen, die ganz im Plattenkalk liegen, und zwar in der Nähe von Galesano mit einer normalen Differenz von 20 m, und dem bekannten Pozzo Manzin in Dignano, an welchem eine maximale Schwankung von mehr als 30 m beobachtet wurde.

Man ersieht daraus, daß im Karst die Grundwasserstände auf verhältnismäßig geringe Entfernungen recht erheblich voneinander abweichen können, und der Grund dieser Erscheinung ist in rein mechanischen Ursachen zu suchen. Die weiten Klüfte des Plattenkalkes geben eben ganz andere Zirkulationsmöglichkeiten als die engen Spalten des Radiolitenkalkes. Damit hängt es auch innig zusammen, daß der Grundwasserspiegel im Radiolitenkalk viel steiler ansteigt als im Plattenkalk; in beiden Fällen aber bleibt er weiter landeinwärts sehr bald in ganz beträchtlichen Tiefen unter der Oberfläche, so daß dann seiner wirtschaftlichen Ausnützung rasch eine Grenze gesetzt wird, und diese Gegenden verhalten sich dann praktisch eben so, als ob sie kein Grundwasser besäßen. So erreichte man im Brunnen „Canal Vales“ bei Galesano, dessen Brunnenkranz in 73·13 m Seehöhe liegt, das Grundwasser erst in ca. 65 m Tiefe; im Pozzo Manzin zu Dignano (135 m Seehöhe) muß man im Durchschnitt 115 m hinabsteigen und in der Foiba Sta. Lucia, etwas nördlich von Dignano (131 m Seehöhe), wurde der Grundwasserspiegel erst in 110 m Tiefe angetroffen.

Grunds Anschauungen widersprechen da meinen Erfahrungen; er zieht den Grundwasserspiegel viel zu nahe der Oberfläche. Damit sind auch seine Ansichten über den Zusammenhang des Grundwassers mit den Quellen innig verknüpft. Ich muß gestehen, daß ich außer den Küstenquellen kaum perennierende Quellen kenne, deren Speisung aus dem Karstgrundwasser mir sichergestellt erscheint. Ich möchte als solche nur den Timavo, die Aurisina und die Quellen von Cedas und Barcola nennen, während mir dies für die Risanosquelle z. B. schon nicht mehr feststeht.

Über dem von mir gezeichneten, also sehr tief liegenden Grundwasserniveau beginnt dann erst die stärkere Differenz zwi-

schen meinen Anschauungen und jenen von Grund, die um so stärker zu betonen ist, wenn man nur Grund's erste Arbeit aus dem Jahre 1903 berücksichtigen kann, wie sich dies zur Zeit der Niederschrift meiner Publikationen ergab. Denn Grund scheint, wenn er es nun auch anders darstellen möchte, seither eine Wandlung in seinen Anschauungen durchgemacht zu haben, oder man müßte annehmen, daß er seine bezüglichen Ansichten im Jahre 1903 so unglücklich zur Darstellung brachte, daß er eben allgemein mißverstanden wurde. 1903 schien es noch, als ob Grund das Vorhandensein eines unterirdischen Flußnetzes in den höher gelegenen Partien des Karstes leugnen wollte, dessen Bestehen er in seiner Arbeit von 1910 nun allerdings ausdrücklich zugibt. Immerhin sind auch jetzt noch einige Einwendungen vorzubringen. So scheint z. B. Grund anzunehmen, daß die Reka sofort nach ihrem Verschwinden in dem letzten bekannten Syphon in das Grundwasser übergehe, eine Meinung, welche mit der hohen Horizontierung des Grundwasserspiegels innig zusammenhängt, die ich aber durchaus nicht teilen kann. Ich halte dafür, daß der Lauf der Reka noch in viel bedeutendere Tiefe als geschlossenes Röhrengerinne hinabführen muß, da ja in der Umgebung sehr zahlreiche trockene Höhlen bekannt sind, die bedeutend tiefer hinabreichen.

Damit haben wir jedoch bereits ein sehr schwieriges Kapitel angeschnitten, das Grund unter dem Titel „Das Karstwasser des Triester Karstes“ behandelt.<sup>1)</sup> Vor allem möchte ich da feststellen, daß es auch mir vollkommen zweifellos erscheint, daß längs der Küste von Triest bis zum Timavo große Grundwasseransammlungen existieren. Ob aber die Höhlenüberflutungen weiter landeinwärts, welche Grund zusammenstellt und welche ein Ansteigen des Grundwasserspiegels um mehr als 100 m bedingen würden, richtig gedeutet sind, erscheint mir doch noch recht zweifelhaft. Ich kann auch absolut keine Beweise hierfür bei Grund entdecken, eher für das Gegenteil. Denn wenn Grund von dem Eindringen von Sand, Schlamm, Blättern, Holzstückchen und Zwetschenkernen in die Kačna Jama spricht,<sup>2)</sup> so deutet dies doch viel mehr auf den Transport durch einen unterirdischen Flußarm als durch Grundwasser, denn so weit meine Beobachtungen reichen, ist die Bewegung in einem Grundwasser, auch im Karste,

<sup>1)</sup> 1910, S. 173—178.

<sup>2)</sup> l. c., S. 175.

so gering, daß ein solcher Transport so gut wie ausgeschlossen ist. Aber auch sonst führt Grund manche Daten an, welche eher als Gegenbeweis angesehen werden können. So z. B., wenn er zitiert, daß in der Kačna Jama am 9. August 1896 in 141 m Seehöhe ein ruhiger Wasserspiegel angetroffen wurde, „der von einer Quellader aus einer Spalte im Süden gespeist wurde“,<sup>1)</sup> so ist dies eben ein unterirdisches Gerinne, wie es Katzer oder ich selbst fordern. Bei der Trebičgrotte spricht Grund selbst von einem Höhlenflusse<sup>2)</sup> und dasselbe gilt auch für die Lindnerhöhle.<sup>3)</sup> Allerdings kann sich Grund darauf berufen, daß er den Höhlenflüssen „sowohl Grundwasser als Flußeigenschaften“<sup>4)</sup> zuspricht, aber eine solche Vermengung ist nach meinen Beobachtungen absolut nicht statthaft. Im Grundwasser könnte man eventuell, in Analogie zu den Meeresströmungen, von Grundwasserströmungen sprechen, aber niemals von Flüssen, und für die höher gelegenen Teile des Karstes konnten bisher absolut keine Beweise erbracht werden, welche die Füllung der verschiedenen Höhlen durch Grundwasser unzweideutig erweisen, im Gegenteile deutet so manche Erscheinung, wie erwähnt, auf den Zusammenhang mit einem Höhlenfluß. Ich möchte also bestimmt glauben, daß die Beobachtungen, welche Grund aus dem Triestiner Karste zusammenstellt, nicht durch enormes Ansteigen des Grundwasserspiegels erklärt werden dürfen, sondern daß in diesem hohen Niveau eine Verteilung des Wassers durch Karstgerinne anzunehmen ist.

Ich glaube, ein sehr gewichtiges Argument gegen die Anschauungen von Grund haben wir in dem Färbeversuch Perkos<sup>5)</sup> zu sehen, welcher einem unweit von Matteredia verschwindenden Bache Uranin beimengte, das ausschließlich in der Risanoquelle wieder zum Vorschein kam.<sup>6)</sup> Da jener Schluckschlund nur 10 km von St. Kanzian und etwa 20 km von der Trebičgrotte entfernt ist, und da überdies die Risanoquelle in bloß 60 m Meereshöhe entspringt, so müßte das Uranin doch unbedingt dem

<sup>1)</sup> Ibid.

<sup>2)</sup> Ibid.

<sup>3)</sup> l. c. S. 163.

<sup>4)</sup> Ibid.

<sup>5)</sup> Perko, Die Tropfstein- und Wasserhöhle „Dimnice“ (Rauchgrotte) bei Markovsina in Istrien. Mitteil. d. k. k. Geograph. Ges. LII, 1909, S. 241 ff.

<sup>6)</sup> N. Krebs, Neue Forschungen zur Karsthydrographie. Petermanns Mitteil. 1908, S. 166.

Grundwasser beigemischt worden sein, das jedoch auch Farbspuren der Trebičgrotte hätte zuführen müssen, in der das „Grundwasser“ normal in bloß 19 m Seehöhe angetroffen werden soll. Tatsächlich aber war es die Risanquelle allein, welche vom Uranin gefärbt wurde, was sich wohl kaum mit der Auffassung Grunds vereinbaren läßt.

Grund will die kolossale Anschwellung des Grundwassers im Triestiner Karst dadurch begreiflich machen, daß er darauf hinweist, daß gerade in diesem Gebiete außer den Niederschlägen sich auch noch ein verschwindender Fluß an der Schwellung beteilige.<sup>1)</sup> Diese Erklärung erscheint mir nicht einwandfrei, denn einerseits steht es ja fest, daß in normalen Zeiten die Reka nur einen geringen Bruchteil jenes Wassers liefert, das in den Quellen von Barcola bis zum Timavo dem Meere zuströmt, und auch bei Hochwasserführung der Reka wird es immer nur ein Bruchteil bleiben. Und wenn Grund auch hervorhebt, daß der Triester Karst, soweit er dem Einzugsgebiete der Timavoquelle angehören dürfte, an Fläche kaum größer sei als das Einzugsgebiet der Reka, so werden diese beiden summiert doch kaum dem Einzugsgebiete von Südistrien zwischen Quieto und Arsa entsprechen, und doch kennt man dort keine so ungeheuerliche Hebung des Grundwassers. — Ich verhehle mir dabei nicht, daß im Triester Karste ein besonderer Umstand hinzukommt, den Grund allerdings nicht hervorhebt. Es ist dies die Anlagerung von wasserundurchlässigen Tertiärgesteinen längs der Küste. Dies bringt es mit sich, daß einerseits in der ganzen Bucht von Triest keine submarinen Quellen hervorbrechen, daß auch an der Küste nur spärlich Quellen auftreten, und daß es dadurch zur Bildung solcher Riesenquellen wie jener des Timavo kommt. Die Tertiärgesteine wirken eben wie ein Staudamm, dem nur an einigen kleinen Rissen Wasser entquillt, während erst an seinem Ende der Hauptüberfall vorhanden ist. Dies wäre, meiner Anschauung nach, noch die beachtenswerteste Ursache, welche einen höheren Betrag der Grundwasserschwankungen im Triestiner Karst erklärlich machen würde. Dennoch aber scheinen mir bisher unter den Grundschen Zusammenstellungen die Beweise hierfür zu fehlen.

Im Anschlusse an die Besprechung des Triester Karstes bringt Grund weitere „Beobachtungen über das Karstwasserniveau“<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Grund, 1910, S. 175, 176.

<sup>2)</sup> Grund, l. c., S. 179—182.

von welchen uns hier besonders die Daten über das Becken von Planina und aus der Gegend von Loitsch interessieren. Ich bemerke im voraus, daß es sich hier wohl tatsächlich um Beobachtungen von Grundwasserständen handelt, deren Niveau sich gegen Norden senkt. Es ist beachtenswert, daß die Grundwasserschwankungen bloß mit 25 m angegeben werden, und weiters, daß auch hier das Niveau des Grundwassers ziemlich nahe an die Oberfläche heranreicht. Grund verliert hierüber weiters kein Wort und doch wäre es am Platze gewesen, den fundamentalen Unterschied zwischen dem Triester Karste und dem Karste zwischen Planina und Oberlaibach hervorzuheben. Im ersten Falle haben wir es zweifellos mit tiefem Karst zu tun und deshalb kann dort nur ein Grundwasser vorhanden sein, das vom Meeresniveau sehr allmählich landeinwärts ansteigt. Im anderen Falle aber ist es ein seichter Karst, dessen wasserundurchlässige Unterlage (die Werfener Schiefer und das Karbon) wahrscheinlich gar nicht einmal so tief liegen, und dadurch werden die ganz abweichenden Grundwasserstände sehr leicht erklärlich. — —

Grund lehnt es entschieden ab, daß im Gebiete des Grundwassers auch geschlossene Röhrengerinne bestehen könnten. Ich habe schon in meinen zitierten Publikationen als Beweis die Quelle genannt, welche zur Wasserversorgung von Parenzo verwendet wird, und ebenso erwähnt, daß die Quellen von Foscolino und Fontane, in der gleichen Gegend, mitunter Buchenblätter führen, deren Transport ebenfalls nicht dem Grundwasser zugeschrieben werden kann. Grund hat in seiner Polemik in dieser Zeitschrift sich auf diese Hauptargumente überhaupt nicht bezogen, und es wäre doch interessant zu vernehmen, wie er diese Tatsache mit seinen Anschauungen in Einklang bringen kann. — Seither hatte ich jedoch Gelegenheit, noch eine bemerkenswerte Beobachtung zu machen. Das Land- und Wasserbauamt der k. u. k. Kriegsmarine teufte nördlich von Pola den Brunnen Vidrian ab, bei welchem man den Grundwasserspiegel in  $6\frac{1}{2}$  m Seehöhe antraf. Bei meinem Besuche am 25. Oktober 1910 befand sich die Brunnensohle in + 3.6 m und es mußten in 24 Stunden 400 m<sup>3</sup> Wasser abgepumpt werden, um den Wasserstand entsprechend herabgedrückt zu erhalten. Meine Untersuchung ergab damals, daß das Grundwasser aus verschiedenen unregelmäßigen Spalten in den Brunnenschacht eindrang, daß sich aber außerdem aus einer fast runden, glatten Öffnung an

der Nordseite, etwa  $\frac{1}{2}$  m über dem depressierten Wasserspiegel, ein ungefähr armdicker Strahl ergoß. Derselbe kam aus einem Kreidekalkblocke, der im Gegensatz zu seiner Umgebung nicht von Spalten durchsetzt war, und es unterliegt mir keinem Zweifel, daß es sich hier nicht um Grundwasser, sondern um ein geschlossenes Gerinne handelt. — Noch während meines Besuches spielte sich aber folgender Vorgang ab: Unter einer schußartigen Detonation wurde ein größeres Felsstück aus der Brunnensohle in die Höhe geschleudert und im gleichen Augenblicke versiegte der eben beschriebene Wasserstrahl. Seither mußten aber statt der früheren 400 m<sup>3</sup> pro Tag 820 m<sup>3</sup> abgepumpt werden. — Ich glaube, daß diese Tatsachen jeden Zweifel daran, daß sich auch noch im Bereiche des Karstgrundwassers in gesunden Kalkmassen geschlossene Gerinne vorfinden, auszuschließen geeignet sind.

Im Anschlusse daran muß ich nochmals auf die submarinen Quellen zu sprechen kommen, bezüglich deren zwischen Grund und mir ebenfalls eine Kontroverse besteht. Ich sage nämlich, daß jene submarinen Quellen, welche mit großer Gewalt am Meeresboden hervorbrechen und emporsteigen, als Abflüsse geschlossener Karstgerinne betrachtet werden müßten, da Grundwasserabflüsse nur unmerklich austreten und nur langsam aufsteigen könnten. Grund leugnet nun zunächst, daß Grundwasser submarin nur unmerklich austreten könne,<sup>1)</sup> wogegen mir eine ganze Reihe von Beobachtungen zur Verfügung steht, welche gerade das Gegenteil beweisen. So sind im Hafengebiet von Pola eine ganze Anzahl submariner Quellen bekannt, deren Ausfluß an der Oberfläche des Meeres absolut nicht kenntlich ist, und die gleiche Erscheinung habe ich oft und oft, sowohl an der Küste des istrischen Festlandes als der istrischen Inseln feststellen können. Solche Beobachtungen beschränken sich natürlich nur auf küstennahe Strecken und wurden hauptsächlich beim Baden gemacht. Man sieht da meist, wie das Grundwasser austritt, da dieses bei seiner Vermengung mit dem Seewasser infolge der verschiedenen Lichtbrechung bemerkbar wird, und man kann das langsame Aufsteigen erkennen, wenn man z. B. ein Blättchen Seegras in diese Strömung hält. Es muß also konstatiert werden, daß ein unmerkliches submarines Austreten des Grundwassers ganz zweifellos vorkommt.

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift 1910, S. 616.

Die große Gewalt, mit welcher zahlreiche submarine Quellen austreten, sucht nun Grund, da er sie nicht als Mündungsstellen geschlossener Karstgerinne gelten lassen will, auf andere Weise zu erklären und beweist damit seine Unkenntnis mehrerer physikalischer Gesetze. Er sagt: „Die submarinen Quellen des Golfes von Fiume haben ein großes niederschlagsreiches Einzugsgebiet, das die ganze Osthälfte des Tschitschenbodens und den Monte-Maggiore-Zug umfaßt. Diesen großen Niederschlagsmassen steht an der Küste dank des kleinen Klüftungswertes eine im Verhältnis zu geringe Anzahl von Quellöffnungen zur Verfügung, deshalb ist der Druck der im Einzugsgebiete angesammelten Wassermassen stark genug, um selbst noch aus größeren Tiefen starke Karstwasseradern ins Meer austreten zu lassen. — Die Quellen treten also unter Druck aus und daß sie dank ihrer Wassermenge und dem bedeutenden Dichtenunterschiede, der zwischen dem Quellwasser und dem Meerwasser besteht, im Meere starken Auftrieb haben, erscheint mir gar nicht verwunderlich.“<sup>1)</sup>

Daß bei mächtigeren Ansammlungen von Grundwasser dessen tiefere Schichten unter Druck stehen, ist den Meliorationstechnikern schon seit lange bekannt, weshalb vielfach in die Drainagegräben senkrecht nach abwärts reichende Röhren eingesetzt werden, durch welche Wasser emporgepreßt wird, wodurch man eben eine tiefer hinabreichende Entwässerung des Bodens herbeizuführen vermag.

Es ist nun zweifellos, wenn die submarine Quelle von Jelenšica, welche aus 130 m Meerestiefe emporwirbelt, ein Grundwasser sein sollte, so müßte das Grundwasser in dieser Tiefe unter einem ganz bedeutenden Drucke stehen. Wir wissen aber, daß der Grundwasserspiegel in der Schorre mit dem Meeresspiegel zusammenfällt, und somit sind in dieser Region die beiden Wassersäulen von Süß- und Salzwasser gleich hoch und es muß daher auf Seite des Meeres ein Überdruck bestehen, am Meeresboden aber müssen sich beide unbedingt das Gleichgewicht halten. Geht man weiter landeinwärts, so steigt allerdings der Grundwasserspiegel an, aber dies bedingt trotzdem keinen Zuwachs an Druck, denn das Ansteigen wird einfach durch die Bewegungshindernisse, also durch die Reibung im weiteren Sinne verursacht. Die Probe auf diese Darstellung des Sachverhaltes ist leicht zu

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift 1910, S. 116, 117.

machen, denn überall, wo Grundwasserquellen hervortreten, steigt der Grundwasserspiegel von deren Austrittsstelle gegen das Hinterland in gleicher Weise an, und doch würde niemals eine solche Quelle, auch wenn man sie in einem Steigrohre fassen oder am Grunde eines mit Salzwasser gefüllten Bassins austreten ließe, mit Gewalt emporquellen, da sie eben keine Steigkraft besitzt. — Ebenso unrichtig ist aber die Behauptung Grunds, daß der „bedeutende Dichtenunterschied“, der zwischen dem Quellwasser und dem Meerwasser besteht, den starken Auftrieb verursachen könne. Es ist ja richtig: bei gleicher Temperatur ist Salzwasser schwerer als Süßwasser und dieses wird daher auf jenem schwimmen können, wie man auch tatsächlich an Karstküsten bei vollständig ruhiger See nicht selten auf der Oberfläche des Meerwassers noch ganz gut trinkbares Wasser wie eine Decke ausgebreitet findet. In unserem Falle ist jedoch der Dichtenunterschied von ganz verschwindender Bedeutung. Man kann dies ja leicht experimentell nachweisen: Man nimmt zwei gleiche Gefäße, welche an ihrem Boden mit je einem Hahn versehen sind, die untereinander mittels eines Gummischlauches verbunden werden. Füllt man das eine mit Salzwasser, das andere mit gefärbtem Süßwasser bis zu gleicher Höhe und öffnet die Hähne, so wird man anfänglich ein Überströmen des Salzwassers nach dem Süßwasser bemerken, bis hydrostatisches Gleichgewicht eingetreten ist, dann herrscht vollkommen Ruhe. Erzielt man sodann im Süßwassergefäß durch geringes Nachfüllen oder geringes Heben desselben einen kleinen Überdruck, so tritt langsam das gefärbte Süßwasser in das Salzwasser ein, aber es steigt nicht bis nach oben, sondern vermischt sich alsbald damit, und es muß schon ein sehr bedeutender Überdruck erzeugt werden, damit es bis an die Oberfläche des Salzwassers empordringt. — Wir sehen also, der Dichtenunterschied allein reicht nicht hin, um den Auftrieb der submarinen Quellen aus so großer Tiefe bis an die Meeresoberfläche zu erzeugen, und dies um so weniger, als ja diese Quellen stets eine viel tiefere Temperatur besitzen als das Meerwasser, in dem sie aufsteigen, ein Umstand, welcher den Dichtenunterschied bedeutend vermindert.

Wollten wir aber auch einen Augenblick zugeben, daß Grund mit seiner Argumentation über die Druckverhältnisse des Grundwassers Recht habe, so wäre dennoch das Aufsteigen der submarinen Quellen nicht damit zu erklären. Denn Grund

nimmt ja an, daß das Wasser, welches dort auftritt, sich als Grundwasser in den Gesteinsklüften bewege, und in einem solchen Falle büßt das Wasser alle Steigkraft ein. Ein jeder Wasser-techniker kann nachweisen, daß nur dann eine Leitung des Wassers in Steigrohre möglich ist, wenn dasselbe von der hochgelegenen Wasserkammer durch eine geschlossene Druckrohrleitung zugeführt wird. Übrigens ist diese Tatsache ja eigentlich jedem Städter geläufig, denn jeder wird es schon zu seinem Schaden erfahren haben, daß bei jeder Beschädigung des Zuleitungsstranges die Hausleitungen sogleich das Wasser verlieren.

So kommen wir denn nach jeder Überlegung wieder zu der Überzeugung zurück, daß die mit Gewalt hervorsprudelnden submarinen Quellen einzig durch die Annahme, daß ihnen das Wasser in geschlossenen Gerinnen zugeführt wird, ihre Erklärung finden. Genau genommen, trägt Grund ja selbst zur Bildung dieser Überzeugung bei, wenn er sagt, daß „an der Küste dank des kleinen Klüftungswertes eine im Verhältnis zu geringe Anzahl von Quellöffnungen zur Verfügung“ steht. Gerade der „kleine Klüftungswert“ beweist, daß es sich hier um verhältnismäßig gesundes Gestein handelt, in welchem sich eben darum geschlossene Karstgerinne leicht bilden und erhalten konnten.

Fassen wir nun zusammen, so können wir folgende Ergebnisse gegenüber den Anschauungen von Grund präzisieren: Im seichten wie im tiefen Karste gibt es zweifellos Grundwasser, das im seichten Karste als normales, im tiefen Karste aber als Staugrundwasser auftritt. Letzteres ist daher nur in den flacheren Regionen und nahe der Küste ausnutzbar, denn landeinwärts, in den gebirgigen Teilen, steigt der Grundwasserspiegel nur sehr langsam an, und diese Gegenden verhalten sich daher praktisch so, als ob sie kein Grundwasser besäßen. Mit diesen Verhältnissen hängt es zusammen, daß nur nahe der Küste Quellen mit Sicherheit als Grundwasserabflüsse anzusehen sind, im Lande aber dürften nur in seltenen Ausnahmefällen perennierende Quellen damit in Zusammenhang zu bringen sein. Grundwasserschwan- kungen sind bisher nur in einem Ausmaße von rund 30 m wirklich beobachtet worden, was darüber hinausgeht, darf nicht mit Bestimmtheit darauf bezogen werden. Das Karstgebiet von Triest besitzt zwar infolge der Flyschvorlage gegen das Meer besondere Verhältnisse, dennoch aber dürften die in den Höhlen beobachteten Wasserhochstände auf Flüsse und nicht auf Grundwasser-

schwankungen zurückzuführen sein. Die Beobachtungen zwischen Oberlaibach und Planina betreffen Grundwasser in seichtem Karst und sind mit jenen im Triester Karste nicht in direkte Beziehung zu setzen.

Der Grundwasserspiegel ist viel tiefer unter der Karstoberfläche anzusetzen, als dies Grund tut, und in der darüber gelegenen Zone geschieht die Entwässerung durch geschlossene Höhlengerinne. Solche Gerinne existieren übrigens auch im Grundwassergebiete selbst und steigen sogar unter das Meeresniveau hinab, wo sie als submarine Quellen austreten. Die Erklärung, welche Grund für die submarinen Quellen aufstellt, widerspricht einer Reihe von physikalischen Gesetzen und muß daher als vollständig verfehlt bezeichnet werden. Ebenso ist die Definition, welche Grund von dem Begriffe Grundwasser gibt, ganz unzutreffend.

Zum Schlusse bin ich leider auch gezwungen, zu einigen persönlichen Angriffen Grund's Stellung zu nehmen. Zunächst wirft er mir vor, daß ich in meinen beiden zitierten Publikationen über Karsthydrographie auf seine „bereits erschienenen: Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges“ nicht Bezug genommen hätte, da sie mir „entgangen zu sein scheinen“.<sup>1)</sup> Dieser Vorwurf wird von Grund gegen mich erhoben, trotzdem ich ihn bereits auf einen ähnlichen brieflichen Vorhalt von dem frühzeitigen Entstehen meiner Publikationen verständigte, deren Manuskripte schon abgeschlossen vorlagen, als ich am 5. April 1910 in der Sitzung der Geologischen Reichsanstalt über dieses Thema sprach. Übrigens ist dies auch publizistisch festgelegt in den Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt 1910, S. 139, was wieder Grund „entgangen zu sein“ scheint, und ich glaube, daß man auch bei den strengsten Anforderungen nicht verlangen kann, daß am 5. April bereits eine Arbeit benutzt wurde, welche, wie mir das Verlagshaus Teubner mitteilte, am 26. April ausgegeben wurde!

Der zweite persönliche Angriff Grund's bezieht sich darauf, daß ich erwähne, es sei aus der Annahme seiner Anschauungen über das Karstgrundwasser eine Reihe von Schädigungen für die Praxis entstanden, und mich speziell auf das Projekt Tschebull beziehe. Grund weist nun nach, daß dieses Projekt viel älter

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift 1910, S. 614.

sei als die Publikation seiner Theorie. Daraus geht allerdings hervor, daß Grund's Publikation nicht die Schuld an diesem Projekt zuzumessen ist, doch fußte eben dieses Projekt auf der gleichen Theorie. — Noch ein Zweites muß aber erwähnt werden. Jeder logisch denkende Mensch muß doch zugeben, daß es ein großer Unterschied ist, ob das Versagen in der Praxis einer unrichtigen Theorie oder dem Autor dieser Theorie zur Last gelegt wird; meine Ausführungen bezogen sich nur auf die Theorie.

Es tut mir leid, von Grund dazu gezwungen worden zu sein, meine Polemik mit ihm auch auf das persönliche Gebiet hinüber zu führen, obgleich ich ein prinzipieller Gegner davon bin, und ich würde daher auch auf weitere Angriffe nicht reagieren. In diesem Falle fand ich mich jedoch zu dem Vorgehen veranlaßt, um die Art und Weise, in welcher Grund eine Polemik zu führen beliebt, einer allgemeinen Beurteilung zugänglich zu machen.

---