

## Die Hydrologie der Trinkwasserversorgung aus Staugewässern und staunahem Grundwasser

*Ernst P. Nemeček*

Sollen Staugewässer zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden, so dürfte in der Regel die Frage der zur Verfügung stehenden Wassermenge relativ leicht zu beantworten sein. Dient der Stausee ausschließlich der Wasserversorgung — wie dies zum Beispiel in Deutschland häufiger der Fall ist —, dann wird das Verhältnis von Zu-, Abfluß und Entnahme unschwer in ein Gleichgewicht gebracht werden können. Werden hingegen die Staugewässer in erster Linie zum Zwecke der Energiegewinnung errichtet, so ist wohl eine Abstimmung zwischen dem Energie- und dem Trinkwasserversorgungssektor vor allem dann erforderlich, wenn große Mengen Trinkwasser zu entnehmen sind. Gleichgültig, welchem Zweck der Stau dienen mag, immer wird man bei der Planung einer Trinkwasserversorgungsanlage mit hinreichender Genauigkeit jene Wassermenge errechnen können, die dem Stau entnommen werden kann.

Nicht so einfach verhält es sich jedoch bezüglich einer Vorhersage der zu erwartenden Wassergüte. Diese hängt nicht nur von der Art und dem Grad der Verschmutzung der Zubringer ab, sondern in hohem Maße auch davon, wie und in welcher Zeit der Stauraum durchströmt wird. Da somit für eine Beurteilung eines Staues hinsichtlich seiner Eignung zur Trinkwasserversorgung, aber auch bezüglich günstigster Situierung des Entnahmepunktes im Stauraum die Kenntnis der möglichen Strömungsverhältnisse wie auch ihre Bestimmung bei schon vorhandenen Stauen äußerst wichtig erscheint, sollen diese hier näher behandelt und zusammenfassend dargestellt werden.

Für eine Trinkwasserversorgung wäre ein See mit einem mächtig ausgebildeten Hypolimnion keimarmen Wassers, welches gerade in dem Ausmaß erneuert wird, daß damit die Wassergüte erhalten bleibt, der Idealfall schlechthin. Durchaus nicht bei jedem See, und auch nur über einen gewissen Abschnitt des Jahres, kann es aber zur Ausbildung solch idealer Verhältnisse kommen, da sich

eine Reihe von Störungen diesen entgegenstellen. Als solche wären zu nennen insbesondere die Temperaturänderung während eines Jahres, der Einfluß des Windes, jener des Zu- und Abflusses, der Wasserentnahme und der Spiegelschwankungen des Sees. Diesen Faktoren, die, wie angedeutet, einer Ausbildung eines Hypolimnions entgegenwirken, überlagert sich noch der große Einfluß, den die Form des Staubeckens selbst ausübt.

Es kann hier an die sehr übersichtlich dargelegten Ausführungen von O. L a n s e r angeknüpft werden, der mit Hilfe des Begriffes „Mittlere Verweildauer“ als Quotient von Staurauminhalt und mittlerem Zufluß die Stau einteilt in Flußstau und Stauseen einerseits mit einer „Mittleren Verweildauer“ von oft nur wenigen Stunden bis zu maximal einigen Tagen und in Speicherseen andererseits, wo eine Durchrechnung des genannten Wertes Zeiten von Monaten und Jahren ergibt.

Für die erste Gruppe, der Flußstau und Stauseen, ist der Einfluß der geologischen Ausformung des Stauraumes auf seine Durchströmung so ausschlaggebend, daß alle übrigen oben genannten Faktoren kaum nennenswert in Erscheinung treten. Die meist langgestreckten schlauchförmigen Stauräume, wie sie vor allem beim Einstau tief eingeschnittener Täler entstehen, werden in ihrer ganzen Länge durchströmt. Meist nimmt die benetzte Profilfläche bis zum Staudamm hin gleichmäßig zu und dementsprechend geht die mittlere Wassergeschwindigkeit zurück. Diese ist aber in der Regel immer noch so groß, daß es zur Sedimentation kleinerer Teilchen nur schwer kommen kann. So hat die Donau beispielsweise knapp vor dem Kraftwerk Persenbeug noch eine mittlere Geschwindigkeit von 50 cm/sec. Werden nicht nur Steilufer, sondern auch die daran anschließenden flacheren Talzonen eingestaut, so kann es wohl zu starken Abbremsungen in diesen Bereichen und damit zu entsprechenden Sedimentationen kommen, trotzdem wird dieses Wasser in der Regel keine nennenswerte Abnahme der Trübung aufweisen, vorausgesetzt, daß für den Stau die Bezeichnung Flußstau oder Stausee gemäß der Einteilung nach O. L a n s e r zutreffend ist.

In diesen Fällen wird bei einer Entnahme für Trinkwasser kein Zweifel darüber bestehen, daß ein so gewonnenes Rohwasser über Absetzbecken und Filter zu leiten ist und das Filtrat in chemischer, insbesondere aber auch bakteriologischer Hinsicht einer Nachbehandlung bedarf.

Beträgt die mittlere Verweildauer aber nicht Tage und Wochen, sondern schon Monate, dann werden die Stauseen zu Speicherseen.

Die aus der mittleren Verweildauer errechnete mittlere Geschwindigkeit beträgt hier oft nur Bruchteile von Millimetern pro Sekunde und ist damit tausendfach kleiner als jene bei Flußstau.

Speicherseen sind im aufgestauten Zustand den natürlichen Seen sehr ähnlich, da sie häufig — zumindest im alpinen Bereich — dadurch entstehen, daß man jenen Talabschluß, der noch beim Rückgang der eiszeitlichen Gletscher bestand, wieder schließt bzw. wieder aufhöht, womit eine Füllung der ehemaligen Seebecken möglich wird. Die so gebildeten Speicher sind — wie auch die natürlichen Seen — für eine Trinkwasserentnahme noch am ehesten geeignet, wenn man schon gezwungen ist, Oberflächenwasser zu verwenden. Wolle man dabei aber nicht außer acht lassen, daß — auch wenn es möglich ist, aus einem gut ausgebildeten Hypolimnion zu entnehmen — es immer noch Oberflächenwasser bleibt, dessen Güteeigenschaften (im Gegensatz zum Grundwasser) beeinflußt werden durch rasche unkontrollierbare örtliche Änderung der Strömungsverhältnisse.

Zur Ausbildung eines Hypolimnion kann es bei genügender Sonneneinstrahlung und ausreichender hoher Lufttemperatur kommen. Nur dann wird die obere Schichte des Seewassers sich genügend erwärmen und so eine entsprechende Temperaturdifferenz gegenüber der Tiefenzone aufweisen. Alpine Speicherseen in oft bis zu 2000 m Meereshöhe gelegen, werden daher nur selten ausgeprägte Temperaturschichtung zeigen können, wie dies vielleicht in windgeschützten tieferen Lagen der Alpen, vor allem aber im Bereich des Mittelgebirges oder unseres Alpenvorlandes während des Sommers der Fall sein kann. Mit Eintritt der kühleren Jahreszeit baut sich aber auch bei diesen Seen die Temperaturschichtung ab, es kommt dabei zum Absinken des abgekühlten Wassers der Oberfläche, womit auch die das ganze Jahr über einer Schichtbildung entgegenwirkende Kraft des Windes mehr in Erscheinung tritt. Es bilden sich Strömungswalzen mit angenähert horizontalen Achsen aus, die mit fortschreitender Abkühlung des Sees immer größere Ausmaße annehmen und schließlich zur Seeumwälzung führen.

Bei relativ flachem Speicherbecken kann schon im Sommer der Einfluß des Windes allein eine Schichtbildung verhindern.

Wie verhält es sich nun mit dem Zu- und Abfluß eines Sees? Diese wirken nicht gerade einer Schichtenbildung entgegen, sondern passen sich den gegebenen Dichteverhältnissen an, womit — wie noch gezeigt werden soll — eine weitere Gefahr für die Trink-

wasserentnahme entsteht. Es ist bekannt, daß die Temperaturschichtung dazu führt, daß der Zufluß des Sees in die ihm zukommende Temperaturschichte eintaucht und seiner kinetischen Energie entsprechend in dieser weiterströmt, wobei er durch die Schichte nicht nur in seiner vertikalen Ausdehnung, sondern auch bezüglich seiner Breite gut zusammengehalten wird. Der Fluß durchzieht daher den See in Bewegungsbahnen wie sie O. Lanser genannt hat, wobei eine Aufspaltung durch große Walzen mit vertikalen Achsen meist erst relativ spät einsetzt. Wie stark auf diese Weise ein Zufluß zusammengehalten werden kann, zeigen recht anschaulich die sogenannten „Kurzschlußströmungen“ in Absetzbecken. Bei der Wahl des günstigsten Entnahmepunktes für eine Trinkwasserversorgung wird man daher diese Bewegungsbahnen zu berücksichtigen haben; ziehen doch auf ihnen mit relativ großer Geschwindigkeit die aus dem Zufluß stammenden Verunreinigungsstoffe, wodurch die Gefahr besteht, daß diese in den Bereich der Trinkwasserentnahmestelle gelangen.

Sind die Temperaturunterschiede gut ausgeprägt, so kann mit Hilfe von Temperaturmessungen — es sei an dieser Stelle an das von K. Knie entwickelte Gerät erinnert — ein Verlauf der Bewegungsbahnen gut verfolgt werden. Unterschiede im Chemismus helfen außerdem noch bei der Abgrenzung. Bei fehlender Temperaturschichtung und gleicher Temperatur des Zuflusses wird dieser sicherlich nicht so straff zusammengehalten werden, trotzdem ist die eingebrachte kinetische Energie — gleicher Zufluß vorausgesetzt — jener bei scharfer Temperaturtrennung gleich. Wenn auch eine größere Abbremsung infolge etwas stärkerer Verbreiterung des Strahles eintritt, so mag man aus dem Umstand, daß eine Verfolgung der Bewegungsbahnen durch Temperaturmessungen dann unmöglich ist, doch nicht den Schluß ziehen, der See oder Speicher würde in diesem Zustand gleichmäßig durchströmt. Meiner Ansicht nach existieren vielmehr auch in den Zeitabschnitten ausgeglichener Temperaturen im See gewisse Bewegungsbahnen, die vielleicht nur schwerer erfaßt werden können. Sicher ist, daß der Zufluß sich im Laufe eines Jahres in verschiedenen Tiefen einschichtet. O. Eckel wies darauf hin, daß in den Wintermonaten das Flußwasser leichter sein kann, als das Seewasser, was dazu führt, daß es an der Seeoberfläche bleibt und so rasch den Seeabfluß erreicht. In der wärmeren Jahreszeit jedoch taucht der Zufluß in immer tiefere Schichten ein, um im Herbst für kurze Zeit den Seegrund zu erreichen. Für die Trinkwasserversorgung

heißt dies, daß dadurch eine Anpassung bezüglich günstiger Lage der Entnahmestelle sehr erschwert wird.

Die Wasserentnahme selbst stellt wie schon eingangs angedeutet, ebenfalls ein Störungselement dar. Sehr häufig wird die Ansicht vertreten, daß bei einer Entnahme in ausreichendem Abstand sowohl von der Sprungschichte, als auch dem Seeboden nahezu keimfreies Wasser entnommen werden kann. Begründet wird dies meist mit dem Hinweis, auf die beobachtete Sperrwirkung des Metalimnion bei der Einschichtung des Zuflusses und belegt wird es durch Wasserproben, die dem Hypolimnion entnommen werden. Diese Ansicht erhält nahezu Beweiskraft, wenn Untersuchungen an bestehenden Seewasserwerken zeigen, daß in den Zeitabschnitten mit ausgeprägter Schichtbildung im See die Qualität des entnommenen Seewassers zufriedenstellend ist. Neigt man aber dazu, diese Beobachtungen zu verallgemeinern, so tut man gut daran, die Entnahme einmal von der hydrologischen Seite her zu betrachten, wobei die Ausführungen von Dr. Eckel vom Temperaturektor her eine gute Ergänzung darstellen.

Nehmen wir der Einfachheit halber vorerst einen Wasserkörper unendlicher Ausdehnung an, in dessen Inneren ein Entnahmepunkt sich befinden möge. Der Entnahmepunkt stellt einen Unterdruckpunkt dar und ist, hydrologisch gesehen, eine punktförmige Senke. Die Zuströmung erfolgt daher strahlenförmig von allen Seiten.

Begrenzen wir als erstes Erschwernis den Wasserkörper durch die Linie des Spiegels und des Seegrundes, so erhalten wir etwa folgende Situation, wie sie die Skizzen 1 und 2 veranschaulichen.

Wir sehen in der Tiefe  $T_e$  den Entnahmepunkt, in dem ein Druck  $p_e$  herrscht. Ist die Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche nahezu Null, dann kann die Energielinie als mit der Spiegelinie zusammenfallend gedacht werden. Entsprechend der Begrenzung des Strömungsbildes durch Spiegel und Boden ergibt sich ein lotrechtes Symmetrieflächenbüschel, das durch den Entnahmepunkt geht. Dadurch, daß der Seeboden eine Stromfläche, der Spiegel aber eine Potentialfläche darstellt, ist der Verlauf der Stromlinien in einfacher Weise anzugeben. Da man bekanntlich in laminaren Strömungsfeldern Symmetrieebenen durch Begrenzungsflächen ersetzen kann, ergibt sich in unserem Falle — wenn wir die strichpunktiert eingezeichnete lotrechte Stromfläche (F) durch eine Wand ersetzen und an Stelle des Entnahmepunktes eine Öffnung in dieser Wand vorsehen, das bekannte Strömungsbild des Torricelli'schen Versuches. Auf unsere Speichersee- oder See-Entnahme übertragen

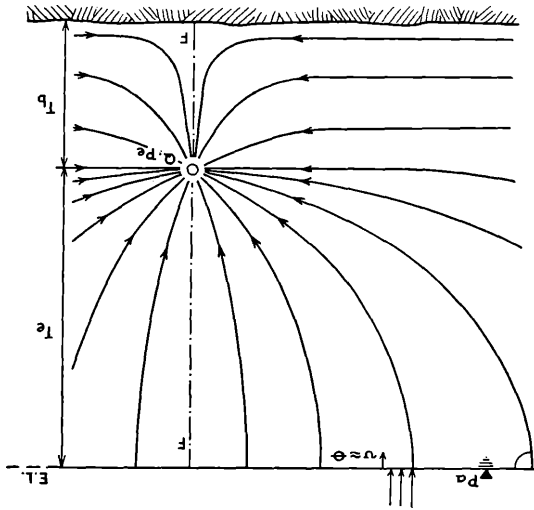


Abb. 1. Zuflussrichtung zu einer punktförmigen Senke.

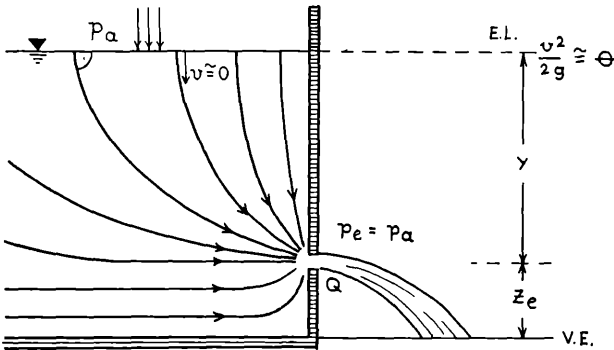


Abb. 2. Strömungsbild beim Ausfluss aus einer Gefäßwand.

bedeutet dies, daß in Zeiten ausgeglichener Seetemperatur durchaus anzunehmen ist, daß auch aus den oberen Schichten Wasser eingezogen wird, so nur die Entnahmemenge  $Q$  entsprechend groß ist. Über das Ausmaß des Einziehens könnten nur genauere theore-

tische Studien gepaart mit praktischen Messungen — wobei die oberen Wasserschichten auf moderne Weise zu markieren wären — Auskunft geben. Dabei müßten die Faktoren  $Q$ ,  $T_e$  und  $T_b$  entsprechend variiert werden.

Sind diesem Wasserkörper gleicher Temperatur wärmere Schichten überlagert, dann wird es schwieriger, das sich einstellende Strömungsbild im Modell darzustellen. Legen wir unseren weiteren Betrachtungen einen besonders extrem ausgebildeten Temperaturverlauf eines Sees zugrunde. Die Abbildung 3 zeigt uns jenen des Zeller Sees, wie er im Jahre 1958 mit dem Temperaturlot von Kaisermühlen gemessen werden konnte (1). Demnach erreichte am 13. Juli die Seeoberfläche  $20^{\circ}\text{C}$ , in 5 m Tiefe wurden etwa  $16^{\circ}$ , in 10 m etwa  $10^{\circ}$  und in 30 m nur mehr ca.  $5^{\circ}$  gemessen. Setzt man neben dem Graphikon des Temperaturverlaufes jenes des spezifischen Gewichtes und des Druckanstieges, so erkennt man, daß die relativ große Temperaturdifferenz keine besonders hohe Diffe-

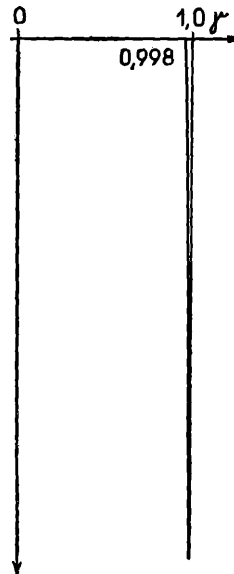
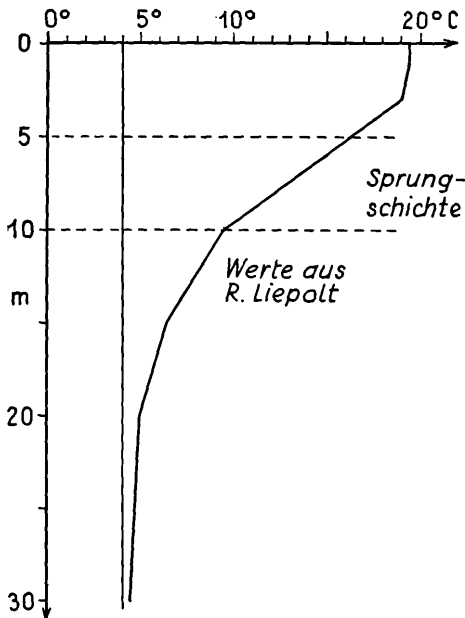


Abb. 3. Temperaturverlauf im Zeller See 1958.

Abb. 4. Spezifisches Gewicht des Wassers in Abhängigkeit der Temperatur.

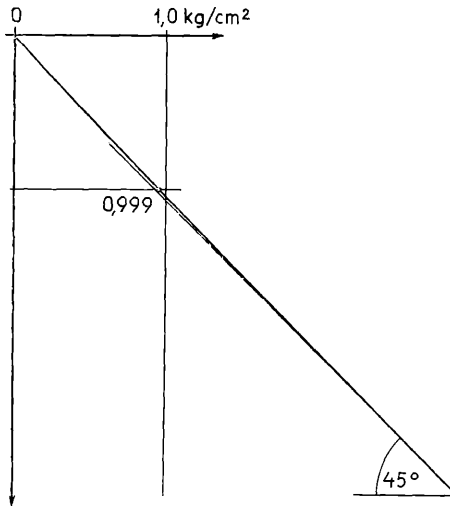


Abb. 5. Druckverlauf in Abhängigkeit der Temperatur.

renz der spezifischen Gewichte und damit auch des Druckes ergibt.

Trotz des daher bestehenden nur geringen Gewichtsunterschiedes müßte auf geschlossene größere Wirbelballen aus den oberen Zonen beim Eintritt in die kältere Schichte ein geringer Auftrieb fühlbar werden. Dieser wird aber um so unwirksamer, je rascher solche Wirbel sich zerlegen und mit dem kühleren Wasser vermischen, da mit diesem Vorgang auch die Temperaturangleichung Hand in Hand geht. Die Verhältnisse bei der Einschichtung des Zuflusses sind dem gegenüber ganz andere, da die Masse des Wassers geschlossen beisammen bleibt und die Temperatur sich daher nur an den Randzonen angleichen kann. Die Möglichkeit, daß kleinere oder größere Wirbelballen in die untere Zone eintauchen, kann nicht von der Hand gewiesen werden; denken wir doch nur an die Wirkung eines Unwetters mit Sturm und starken Niederschlägen. Die Möglichkeit, daß bei ständiger Entnahme aus dem Hypolimnion auch aus den oberen Schichten Wasser einzieht, wird wohl durch die Ausführungen von O. Eckel über Temperaturmessungen im



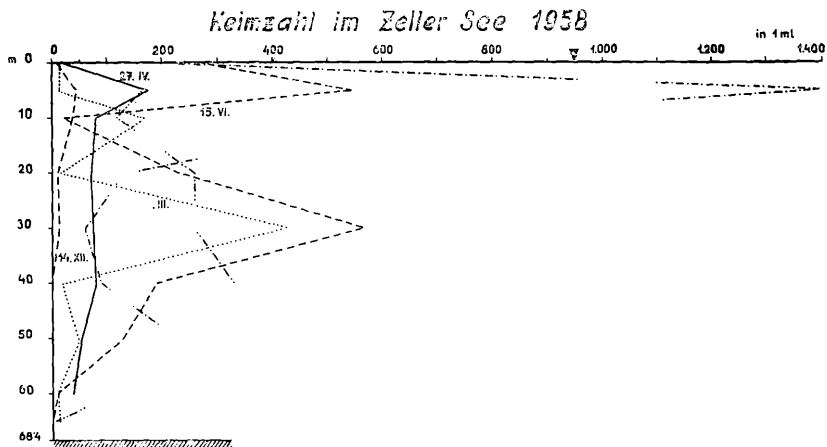


Abb. 6. Keimzahl im Zeller See 1958<sup>1</sup>

Stausee und die Wellenbildung im Inneren eines Seekörpers noch unterstrichen.

Trotzdem wollen wir als Positivum den durch die Temperaturschichtung aufgebauten Widerstand gegen Zuströmung aus den wärmeren Schichten deutlich herausstellen. Dieser Widerstand wird aber von allen Stoffen, die schwerer als das Wasser sind — gedacht ist hier vor allem an die Sinkstoffe, aber auch an stark salzhaltige Industrieabwässer —, durchbrochen. Unterscheidet sich das spezifische Gewicht nur geringfügig von dem des Wassers der Tiefzone — beim Plankton ist dies sicherlich der Fall —, dann folgen diese Stoffe angenähert dem vorhin gezeigten durch die Entnahme ausgelösten Strömungsbahnen und gelangen so in die Trinkwasserableitung. Dies wird besonders dann der Fall sein, wenn der meist mit Sinkstoffen stark angereicherte Zufluß so in das Epilimnion einschichtet, daß die Bewegungsbahn oder große Aufspaltungswalzen aus dem Zufluß in den Einzugsbereich der Entnahme kommt.

Alle die mit der Entnahme im Zusammenhang stehenden Probleme, die hier nur angedeutet werden konnten, sollten vom Hydrologischen her noch eingehender studiert werden, da sie bei kleineren Seen oder präziser ausgedrückt dann besonders von Einfluß sein werden, wenn die Entnahmemenge im Verhältnis zum Seeinhalt ein bestimmtes Maß überschreitet. Ungünstig dürfte sich außerdem noch eine zu große ständige Entnahme aus dem Hypolimnion auswirken, da dies zur Ausbildung wärmerer Schichten größerer Mächtigkeit führt, als es sonst bei natürlichem Abfluß der Fall wäre; womit das Ansaugen wärmerer Schichten erleichtert wird.

Schließlich sei noch die Seespiegelschwankung erwähnt. Speicherseen mit sehr hohen Spiegeldifferenzen zwischen Füll- und Entleerungszustand eignen sich nicht besonders für Trinkwassergewinnung, es sei denn, die Zuflüsse sind nahezu frei von Verunreinigungen.

Mit dem Versuch, die Strömungsverhältnisse in Staugewässern und natürlichen Seen aufzuzeigen, sollte vor Augen geführt werden, daß man bei Entnahmen für Trinkwasserversorgungen immer damit rechnen muß, daß relativ noch frisches Zulaufwasser oder aber auch Sinkstoffe, die unter Umständen mit Krankheitserregern besetzt sind, in die Ableitung kommen können und daher es nicht zu verantworten wäre, Oberflächenwasser ohne spezielle Aufbereitung dem Verbrauch zuzuführen. Dies könnte auch dann nicht verantwortet werden, wenn Probennahmen gezeigt haben, daß zum Zeitpunkt der Untersuchung in zum Beispiel 30 m Tiefe das Wasser nur geringe Keimzahlen aufwies. Es mag nicht ohne Interesse sein, vom Zeller See, von dem die extreme Temperaturschichtung (Abb. 3) gezeigt wurde, nunmehr die Keimzahl in Vergleich zu ziehen (Abb. 6).

Wenn auch niemand daran denken wird, den Zeller See für eine Trinkwasserversorgung heranzuziehen und die hohen Keimzahlen sicherlich davon herrühren, daß die Zuflüsse stark verunreinigt sind, so scheinen die Darstellungen doch geeignet, das Abwandern von Keimen in Tiefen bis zu 30 m und mehr unter Beweis zu stellen. Die Notwendigkeit einer Aufbereitung von Seewasser, so dieses als Trinkwasser Verwendung finden soll, muß daher besonders betont werden, aber auch, daß unbedingt anzustreben wäre, die Zuflüsse möglichst frei von häuslichem und von industriellem Abwasser zu halten.

In Ländern, wo man — in Ermangelung größerer Grundwasservorkommen — gezwungen ist, Oberflächenwasser für die Trink-

wasserversorgung heranzuziehen, wird an der Vervollkommnung der Aufbereitungsmethoden mit großem Eifer gearbeitet. So hatte der Verfasser anlässlich eines Studienaufenthaltes in Prag Gelegenheit, mit der Forschungsgruppe um Ing. Vischer in der Wasserbautechnischen Versuchsanstalt in Kontakt zu kommen, die sich mit dem Problem der „Flockenwirbelströmung“ eingehend beschäftigt und sicher hier schon gute Erfolge erzielt hat. Praktische Untersuchungen an Flußstauen werden in der CSSR von der in Sedlice gelegenen Station durchgeführt. Aber auch in Österreich wird der Aufbereitung von Oberflächenwasser für Trinkwasserzwecke größtes Augenmerk geschenkt. So wird derzeit die Aufbereitungsanlage des Wienerwaldsees auf den neuesten Stand gebracht.

Die Schwierigkeiten, die bei der Entnahme von Oberflächenwasser in hygienischer Hinsicht auftreten, werden von den Fachleuten besonders betont. In letzter Zeit wird immer häufiger darauf hingewiesen, daß mit dem bei der Trinkwasserchlorung normalerweise zugegebenen Chlormengen Viren, zum Beispiel der infektiösen Hepatitis oder der Poliomyelitis, nicht bezukommen sei, das heißt, daß diese Viren trotz Chlorung infektionstüchtig bleiben.

Es sollte daher Trinkwasser nur dann aus Oberflächengewässern gewonnen werden, wenn keine Möglichkeit besteht, Grundwasser oder uferfiltriertes Grundwasser heranzuziehen. Uns allen ist die große Filterfähigkeit des gewachsenen Bodens bekannt und die für eine Aufbereitung von Oberflächenwasser eingesetzten Langsamfilter stellen ja im Grunde nichts anderes dar, als eine mehr oder weniger gute Nachahmung der Natur. Die auf dem Langsamfilter sich bildende und so wirksame Filterhaut findet sich am Ufer eines Sees oder eines Staus ebenfalls wieder.

Ehe auf die Strömungsverhältnisse im staunahen Grundwasser näher eingegangen wird, mag einiges über die Verhältnisse des Grundwassers in noch nicht aufgestauten Tälern erwähnt werden. Viele unserer weiten Täler sind mit eiszeitlichen Schottern erfüllt. Diese Schotter reichen bis hinaus in das Alpenvorland und bedecken das Gebiet der Traun-Enns-Platte ebenso wie das südliche Wiener Becken. In diesen Schottern mäandern nicht nur unsere aus den Alpen kommenden Flüsse, dabei Terrassen bildend — wie dies im Tal der Mur, aber auch der Enns zu erkennen ist —, sondern es ziehen in diesen Schottern auch mächtige Grundwasserströme, um die Österreich nicht zu Unrecht vielfach beneidet wird, ist es doch meist Wasser mit guter Trinkwasserqualität. Die Speisung der Grundwasserströme, die diese mächtigen Talaufschotterungen durchziehen,

erfolgt größtenteil von den Talhängen her. Dieses Hanggrundwasser tritt, wenn nicht örtliche geologische Verhältnisse einen Austritt am Fuße der Hänge als Quellen erzwingt, in den Grundwasserleiter der Talauftschotterung ein. Ein weiterer Teil der Anreicherung kann durch Infiltration vom Fluß her erfolgen, der das Tal durchzieht. Es ist aber auch zeitweise der Fall, daß der Talgrundwasserstrom an den Fluß einen Teil seines Wassers abgibt und ihn somit speist. Schließlich ist es auch durchaus denkbar, daß — meist bedingt durch die Verunreinigung des Flußwassers — das Bett mehr oder weniger dicht geworden ist und damit ein Wechselspiel zwischen Fluß und Grundwasser unmöglich wurde.

Um die Strömungsverhältnisse des Grundwassers in einem Talabschnitt studieren zu können, ist es unbedingt erforderlich, ein ausreichend dichtes Beobachtungsnetz zu errichten. Die Grundwasserspiegelmessungen sollten nach Möglichkeit im ganzen Beobachtungsfeld gleichzeitig erfolgen. Praktisch wird ein großes Feld in Beobachtungssprengel eingeteilt und die Beobachter angewiesen, an ein und demselben Tag, etwa um 8 Uhr früh, die Spiegelmessungen — in der Regel mit Hilfe von Brunnenpieifen — durchzuführen.

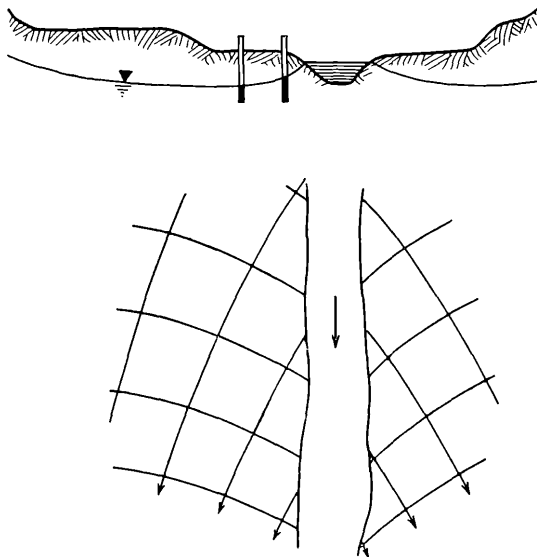


Abb. 7 Flußwasser strömt in den Grundwasserleiter ein.

Die Auswertungen dieser Beobachtungen ergeben dann die bekannten Grundwasserschichtenpläne, die uns — so die Punktdichte ausreichend war — darüber Aufschluß geben können, welches Wechselspiel zwischen Oberflächen- und Grundwasser zum Zeitpunkt der Beobachtung stattfand. Wird in einem Grundwasserfeld vermutet, daß der Fluß sein Wasser in den Grundwasserleiter abgibt bzw. aus dem Grundwasserstrom welches erhält, dann muß das Beobachtungsnetz längs des Flusses besonders dicht gehalten werden. Es hat wenig Sinn, hier sparen zu wollen, denn nur bei genügender Dichte zeigen sich bei der Auswertung der Messungen die für diese Strömungsvorgänge typischen Grundwasserschichtenlinien (Abb. 7 und 8).

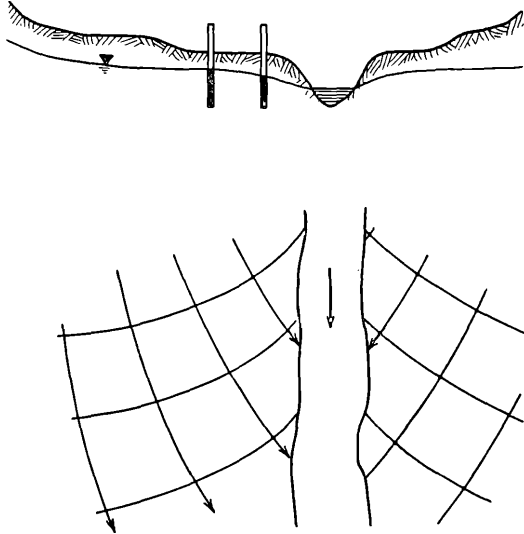


Abb. 8. Grundwasser strömt in den Fluß ein.

Laufen die Schichtenlinien vom Fluß vollkommen unbeeinflusst unter dem Flußbett durch, so ist dies meist ein Hinweis dafür, daß das Bett dicht ist. In solchen Fällen kommt es nicht selten vor, daß der Grundwasserspiegel einige Meter unter dem Flußspiegel liegt, wie dies zum Beispiel bei der Mur im Bereich von Graz streckenweise der Fall ist.

Soll in einem so erkundeten Grundwasserfeld ein Wasserwerk errichtet werden, dann ist es äußerst vorteilhaft, den Grundwasserdurchfluß in einem Talquerschnitt zu ermitteln. Dazu aber ist die

Kenntnis der Begrenzung der undurchlässigen Schichte erforderlich, um die Mächtigkeit des Grundwasserleiters und damit die Durchflußfläche bestimmen zu können. Weiters muß die mittlere Filtergeschwindigkeit, zum Beispiel über das Porenvolumen und die wahre Grundwassergeschwindigkeit, oder aber die Bodendurchlässigkeit und das Grundwasserspiegelgefälle errechnet werden.

Zeigt sich, daß der Durchfluß des gesamten Grundwasserstromes so klein ist, daß die erforderliche Wassermenge ohne wesentliche Beeinträchtigung der Umgebung nicht entnommen werden kann, dann wird man nicht gleich eine Oberflächenwasserentnahme anstreben, sondern viel eher die Brunnen in der Nähe der Flußufer errichten, um so die gute Filterwirkung des gewachsenen Bodens nutzbar zu machen. Dabei sollten aber, wenn dies irgendwie möglich ist, die Brunnen so weit vom Fluß abgerückt werden, daß das in den Untergrund einströmende Wasser einen möglichst langen Filterweg zurücklegt. Mit großem Vorteil werden heute auch für solche Entnahmen Horizontalfilterbrunnen (HFB) eingesetzt, da mit ihrer Hilfe ein längerer *lotrechter* Sickerweg, als er bei Vertikalbrunnen vorhanden wäre, erzwungen werden kann. Außerdem ist beim HFB die Zuströmung auf große Flächen verteilt und damit die Zuströmgeschwindigkeit sehr klein. Bildet sich durch den Betrieb einer Vertikalbrunnen-(VB)-Reihe parallel zum Flußufer eine linienförmige Senke mit steilem Spiegelgefälle aus — wodurch in erster Linie die oberste Infiltrationsschichte über den kürzesten Filterweg eingezogen wird —, so entstehen bei den HFB nur flache Absenkmulden und es ist durchaus möglich, vor allem bei höheren Wasserständen, daß der größte Teil des geförderten Wassers echtes Grundwasser ist, das durch die Überlagerung mit Flußinfiltrat unter größerem Druck in die Horizontalrohre einströmt; dies vor allem dann, wenn man die Horizontalrohre nicht zu nahe an das Flußbett herangetrieben hat. Will man sich die Vorteile einer Entnahme über HFB erhalten, gleichzeitig aber den Grundwasserleiter über eine längere Strecke hin, zum Beispiel parallel laufend mit dem Flußufer, gleichmäßiger belasten, dann ist es äußerst zweckmäßig, mehrere Kleinhorizontalbrunnen (KHB) zu errichten<sup>2) 3)</sup>.

Bei Stauhaltungen werden ufernahe Wasserwerke in der Regel nur bei Flußstauen angetroffen werden, denn Speicherseen werden in Tälern errichtet, deren Böden möglichst dicht sind (meist sind dort alte Seeablagerungen). Es werden daher in diesen Bereichen wohl in den seltensten Fällen Grundwasserströme vorhanden sein, die durch den Stau beeinflusst werden könnten.

Wie schon O. Lanser erwähnt hat, wird der Stauspiegel eines Flußstaus viel konstanter gehalten werden können als dies beim Spiegel des ungestauten Flusses der Fall ist. Die eingestauten Ufer werden, wie H. Liebmann schon erwähnte, durch schleimbildende Kleinlebewesen dadurch stärker verkittet wie beim ungestauten Fluß, wo durch zeitweises Trockenfallen diese Verkittungsschichten wieder zerstört werden. Die Filterfähigkeit der Ufer muß aus diesem Grunde in Staubereichen eine bessere werden, aus dem gleichen Grunde aber auch die Wasserabgabe ins Grundwasser eine geringere. Damit sind wir bei den Strömungsvorgängen wieder angelangt. Diese können so mannigfaltig sein, daß es in diesem Rahmen nur möglich ist, einige Beispiele zu bringen.

Wurde der Stau — um einen Fall herauszugreifen — im Bereich einer Talenge errichtet, dann ist es durchaus denkbar, daß der Grundwasserstrom keinen Weg mehr findet, diese Enge zu durchströmen. Er muß dann in den Fluß einspeisen und könnte dabei durch tiefliegende Horizontalrohre von HFB oder KHB gefaßt werden. Sind Vertikalbrunnen geschlagen, so können diese — so sie tief genug hinabreichen — Mischwasser fördern. Dabei kann es aber zu Schwierigkeiten kommen, wenn durch den Aufstau früher trocken gelegene Bodenschichten nunmehr durchströmt werden. Im erwähnten Falle einer Talenge wird mit dem Flußstau auch das Grundwasser angestaut werden. Liegen die Brunnen nicht zu nahe dem Ufer, werden sich daher Zuströmverhältnisse zu den Brunnen einstellen, wie sie sonst nur in einem Grundwassersee anzutreffen sind.

Wäre an der Sperrenstelle ein Weg für das Grundwasser frei, um ins Gebiet des Unterwassers abströmen zu können, dann käme es hier zu starken Wasserverlusten aus dem Stau, wenn nicht dieser, zum Beispiel durch Lehmvermörtelung im Boden abgeschirmt würde. Solche Maßnahmen sind vor allem dann notwendig, wenn der Stau sich über den Talboden erhebt und daher zwischen Dämmen gehalten werden muß. Die Abschirmung durch eine Lehmvermörtelung bis hinab zur undurchlässigen Schichte im Bereich der Begleitdämme verhindert wohl eine Infiltration und sohin einen Wasserverlust aus dem Stau, kann aber auch dazu führen weil jetzt das frühere Gleichgewicht zwischen Grundwasser und Fluß gestört ist —, daß es nun zu einer das Tal vernässenden Hebung des Grundwassers kommt. Wir sehen schon aus den hier angedeuteten Situationen, daß jeder Fall für sich da steht und jeweils an Ort und Stelle untersucht und begutachtet werden muß, ehe man ein Urteil

darüber abgeben kann, wie sich die Strömungsverhältnisse im Untergrund durch den Stau ändern werden und zu welchen Vor- und Nachteilen für schon bestehende Wasserwerke dies führen kann.

Einfacher liegen die Verhältnisse, wenn in einem schon bestehenden Staubereich ein ufernahes Wasserwerk errichtet werden soll. Durch Bestimmung der Strömungsverhältnisse im Grundwasser kann hier die günstigste Lage der Brunnen ermittelt werden, auch wird man durch zweckmäßige Wahl der Entnahmetiefe versuchen können, möglichst viel echtes Grundwasser einzuziehen und den Stau nur als erhöhten Druck wirksam werden lassen. Wenn möglich, wird man auch die Brunnen so weit vom Ufer abrücken, daß noch zwischen diesen und dem Ufer Beobachtungsbrunnen errichtet werden können und darüber hinaus der Sickerweg vom Ufer her so lange ist, daß die von den Hygienikern geforderte Verweildauer möglichst erreicht wird.

Es muß nicht sonderlich betont werden, daß bei der Planung nicht nur die rein hydrologischen Fragen zu klären sind, auf die sich die vorliegenden Ausführungen beschränken, sondern daß den allenfalls auftretenden Schwierigkeiten, bedingt durch die Sedimentation organischer Substanzen im Stauraum und der Verkittung der Ufer ebenfalls ein besonderes Augenmerk zu schenken wäre. Auch müßte man gewissenhafte Untersuchungen durchführen, um festzustellen, ob nicht durch Änderung des Chemismus und der biologischen Verhältnisse Schwierigkeiten bei der Trinkwasserentnahme aus dem staunahen Grundwasser zu erwarten sind.

Einen sehr interessanten — zum Glück nur strömungstechnisch interessanten Fall — hatte der Verfasser vor Jahren in seiner Eigenschaft als technischer Amtssachverständiger zu behandeln, und zwar eine in einem Staubereich fallende Flußinsel, die früher schon zur Trinkwassernutzung herangezogen worden war. Dieses Beispiel sei hier schon deshalb gebracht, weil es die sich beim Begriff „Staubereiches Wasserwerk“ bildende Vorstellung ganz durchbricht. Flußinseln werden durchströmt, wobei die jeweilige Wasserführung des Flusses bzw. seine Spiegellage das Strömungsbild weitgehend bestimmt. Im vorliegenden Falle handelte es sich um eine Insel in der Donau knapp unterhalb Passau. Diese Insel — schon auf österreichischem Boden gelegen — hatte mit Hilfe einer Vertikalbrunnenreihe über eine Heberleitung das Trinkwasser für die deutsche Stadt Passau seit einigen Jahrzehnten geliefert. Durch den Stau bei Jochenstein wurde auch die „Soldatenau“, wie diese Insel heißt, in Mitleidenschaft gezogen. Anstatt nun die Brunnenköpfe der Vertikal-



brunnenreihe zu heben — wie dies erforderlich gewesen wäre —, hatte man sich entschlossen, einen HFB nach dem System Ranney zu errichten.

Dieser Brunnen gab den Anstoß, daß der Verfasser sich eingehend mit der Hydrologie der HFB unter Verwendung umfangreicher eigener Modellversuche befaßte. Obwohl diese Untersuchungen nunmehr erst ein halbes Jahrzehnt zurückliegen, war dieses Wissensgebiet damals noch Neuland und der HFB für die Gewinnung von Trinkwasser noch etwas umstritten. Als der Verfasser im Sommer 1959 anlässlich der 69. Jahrestagung der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach in einem ausführlichen Referat über seine Forschungsergebnisse berichten konnte, war damit wohl ein starker Impuls für weitere Forschungsarbeiten in Europa gegeben worden, aber auch — wie sich später zeigte — der Widerstand gegen den HFB in Österreich überwunden. Die damals geprägte Kurzform HFB hat unterdessen in die Literatur Eingang gefunden, aber auch der Begriff „Schaufelmulde“ als jene Form der Absenkmulde, die sich dann ausbildet, wenn die oberste Schichte des Grundwasserstromes, die in der Regel am meisten

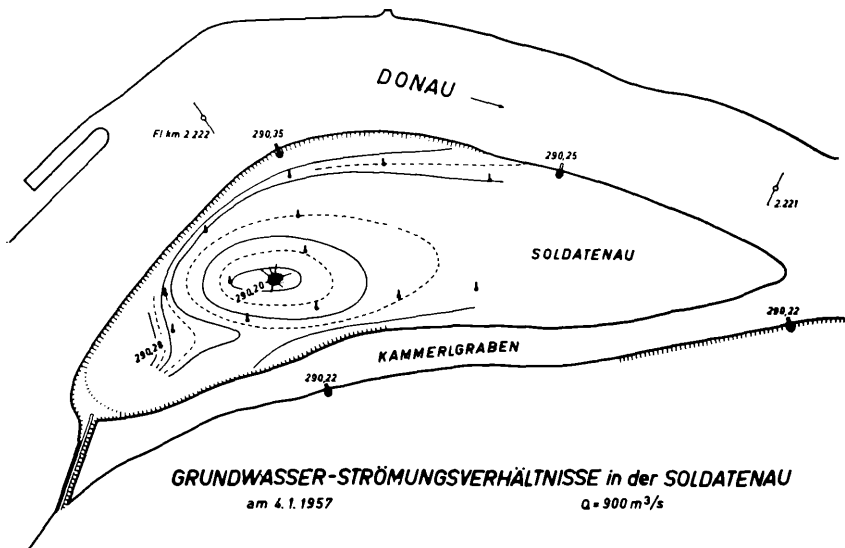


Abb. 9. Zuströmungsbild beim HFB Passau bei einem NW der Donau von  $900 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

mit Verunreinigungen belastet ist, über den HFB hinwegzieht. Der Verfasser war zu diesem Ergebnis über seine Modellversuche gekommen. Es war sehr erfreulich, schon einen Tag nach dem in Linz gehaltenen Vortrag, bei der noch im Rahmen der Tagung stattgefundenen Exkursion zum HFB Passau, erstmals die praktische Bestätigung dieser theoretischen Überlegungen zu erhalten. Während der Besichtigung des HFB Passau wurden von Dipl.-Ing. Krisch der Jochenstein A. G. drei Grundwasserschichtenpläne der Insel „Soldatenau“ — auf welcher der HFB errichtet worden war — den Tagungsteilnehmern vorgelegt. Die drei Schichtenpläne zeigten die Grundwasserverhältnisse der Insel während des Betriebes des Ranney-Brunnens, und zwar bei Nieder-, Mittel- und Hochwasser der Donau.

Der Verfasser dankt an dieser Stelle der Jochensteiner A. G. für die Überlassung dieser Aufnahmen und ihrem Mitarbeiter, Dipl.-Ing. Krisch, für seine gewissenhaft durchgeführten Grundwasserspiegelmessungen, die damit unter Beweis stellten, daß die vom Verfasser durchgeführten Modellversuche brauchbare Ergebnisse ge-

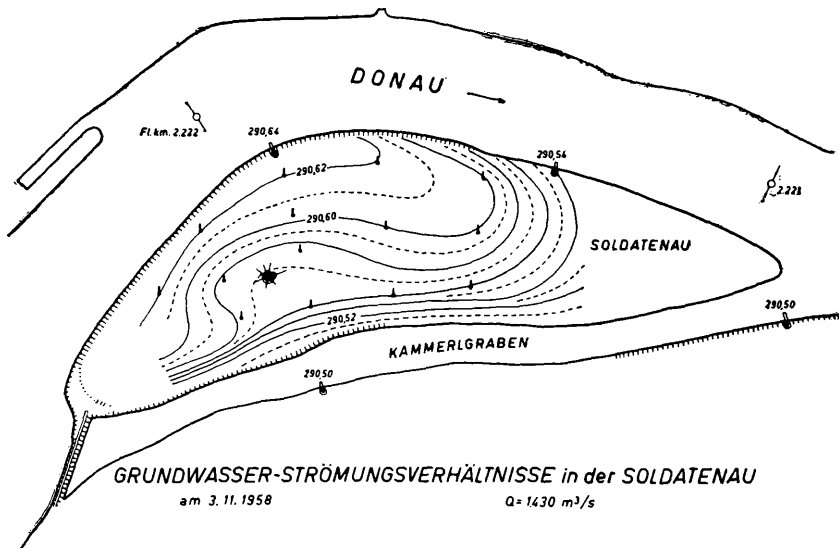


Abb. 10. Strömungsverhältnisse bei einem Donauabfluß von  $1430 \text{ m}^3/\text{sec.}$ ; die Ausbildung der Schaufelmulde nach E. P. Nemecek.

liefert hatten. Die folgenden drei Abbildungen 9, 10 und 11 wurden unter Weglassung vieler Details nach den von Dipl.-Ing. Krisch gezeichneten Grundwasserschichtenplänen angefertigt.

Bei einer Wasserführung der Donau von nur  $900 \text{ m}^3/\text{sec}$  (Abb. 9) kann aus den Schichtenlinien abgelesen werden, daß es zu einer geschlossenen Absenkmulde um den HFB kommt, das heißt, daß auch die oberen Schichten des Grundwassers in den Brunnen eingezogen werden. Mit steigender Wasserführung bildet sich die erwähnte „Schaufelmulde“ besonders schön aus (Abb. 10), womit die Richtigkeit der Überlegungen unter Beweis gestellt wurde. Der Umstand, daß sich tatsächlich eine Zuströmung zum HFB einstellen kann, bei der die oberste Grundwasserschicht abströmt, machte sich auch in einer Verbesserung der Wasserqualität gegenüber jener bei Betrieb der alten Vertikalbrunnenreihe geltend.

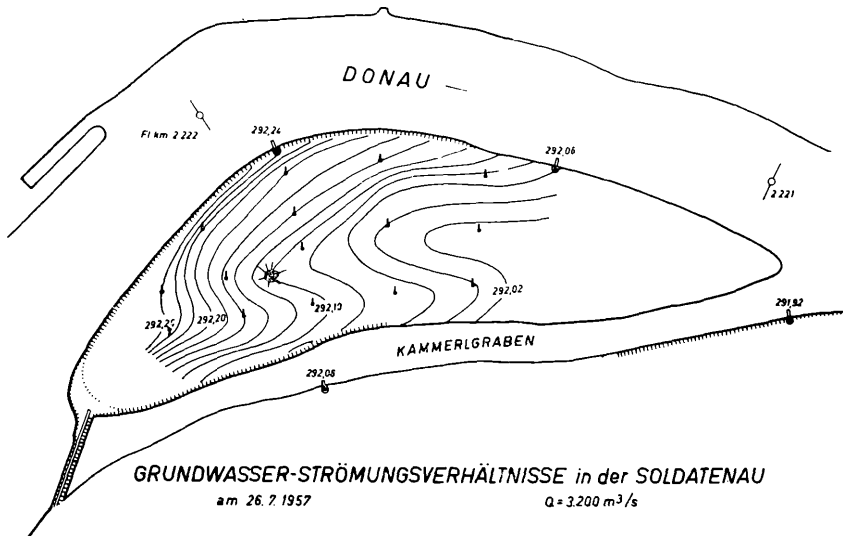


Abb. 11. Zuströmung zum HFB Passau bei einem HW der Donau von  $3200 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Die Abbildung 11 zeigt die Verhältnisse bei einer Hochwasserführung der Donau und der Ausbildung der Schaufelmulde bei dem HFB. Gerade hier wird der große Vorteil des HFB augen-

fällig, der nur Wasser einzieht, welches den längsten Filterweg zurückgelegt hat. Der HFB ist ca. 150 m vom Ufer der Insel entfernt. Wie die Praxis zeigt, reicht der Sickerweg infolge der geringen Einströmgeschwindigkeit in die Horizontalrohre und die vertikale Durchsickerung bis auf die Tiefe der Horizontalrohre voll aus, um das Donauwasser nahezu keimfrei zu filtern, welches durch Abwasser aus 40 Kanaleinmündungen der knapp oberhalb der Insel gelegenen Stadt stark verunreinigt wird.

In vorliegender Arbeit wurde versucht, die Strömungsverhältnisse in Oberflächengewässern, insbesondere in Staugewässern und natürlichen Seen, zu beschreiben. Es kann daraus der Schluß gezogen werden, daß jederzeit der Einbruch hygienisch bedenklichen Wassers in die Entnahmeleitung eines Wasserwerkes möglich ist. Es wurde daher besonders betont, daß es kaum verantwortet werden kann, mangelhaft oder gar nicht aufbereitetes Seewasser dem Verbrauch zuzuführen. Es wurde weiters die große Filterfähigkeit des gewachsenen Bodens vor Augen geführt und darauf hingewiesen, daß nur dann Oberflächenwasser aus Staugewässern und Seen zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden sollte, wenn in wirtschaftlich vertretbarer Entfernung die erforderliche Grundwassermenge nicht erschöpft werden kann. Schließlich wurde dargelegt, wie verschieden die Zuströmverhältnisse zu Grundwasserwerken in Staunähe sein können und an einem speziellen Beispiel, dem Wasserwerk Passau, die Vorteile aufgezeigt, die sich bei der Entnahme durch einen HFB ergeben, wobei unter Beweis gestellt werden konnte, daß — günstige Bodenverhältnisse vorausgesetzt — schon ca. 150 m genügen können, um bei nicht zu großer Entnahme ständig gesundheitlich einwandfreies Wasser zu erhalten.

Das hier Dargelegte kann sohin in der Formel zusammengefaßt werden: „Für Trinkwasser besser ausreichend uferfiltriertes Wasser, als Seewasser!“ Eine Formel, die sicherlich in der Regel ihre Richtigkeit haben wird.

#### L i t e r a t u r

1. R. Liepolt, Zur limnologischen Erforschung des Zeller Sees in Salzburg. Wasser und Abwasser, Band 1958, Verlag Winkler & Co., Wien.
2. E. Nemecek „Horizontalfilterrohrbrunnen, die moderne Grundwassergewinnung für Industrie und Großstadt“ GAS-WASSER-WÄRME, 11 und 12/1959, 1/1960 und „Horizontalfilterbrunnen zur Grundwassergewinnung“ Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT) 11. Jg. (1961) H. 3.

3. G. Faly „Verfahren und Vorrichtung zur Grundwasserhaltung und Gewinnung (Meleorationen)“; Patentschrift (in Österreich 27. Dezember 1955).

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst P. Nemecek, Sektionsrat im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien I, Stubenring 1.

#### DISKUSSION

Liepolt

Sind bei diesen Schichten, die Sie gezeigt haben, durch die Trinkwasserentnahme für die Stadt Passau eine Änderung der hydrologischen Gegebenheiten eingetreten?

Nemecek

Die Entnahme ist nicht sehr groß, 60 bis 80 l/sec und wird hauptsächlich aus den unteren Schichten herausgenommen.

Liepolt

Der Ausdruck Sperrschicht erscheint mir nicht richtig, denn sie ist praktisch keine. Spezifisch schwerere Schwebstoffe sinken auch ab, wenn eine Sprungschicht sich ausgebildet hat.

Nemecek

Auch ich bin der Meinung, daß dieser Ausdruck gerade bei Technikern einen unrichtigen Eindruck hervorruft.

Lanser

Da bei punktförmiger Entnahme aus einem See die Geschwindigkeit in größerer Entfernung von diesem Punkt rasch abnimmt, könnte man sich eine sperrende Wirkung der Sprungschicht sehr wohl vorstellen.

Nemecek

In hydrologischer Hinsicht mag das stimmen, wenn man aber die Wassergüte ins Auge faßt, kann man das nicht als besonderen Schutz auffassen. Spezifisch schwerere Stoffe, wie etwa Plankton, durchbrechen auf jeden Fall die Sperrschicht und werden dann sicher auch in die Strömungsbahnen gelangen. Mit diesen Partikelchen können natürlich auch Krankheitserreger zum Entnahmepunkt kommen. Wenn man schon Oberflächenwasser für Trinkzwecke entnehmen muß, dann muß man es jedenfalls sorgfältig aufbereiten. Um eine Entkeimung kommt man nicht herum.

Drennig

Ich bin mir vollkommen der Vorteile des Horizontalbrunnens bewußt. Doch zur Ehrenrettung der Vertikalbrunnen wäre folgendes zu bemerken. Es kommt auf jeden Fall darauf an, wie groß Wasserentnahme und Grundwasserstrom sind. Voraussetzung ist, daß der Vertikalbrunnen entsprechend tief und abgedichtet ist, dann wird er auch von den oberen Wasserschichten nicht beeinflusst.

Nemecek

Bei kleinen Entnahmen baut man sowieso keinen Horizontalbrunnen.

### Weber

Eine bakteriologische Untersuchung von Gewässerproben, die aus der Donau und dem Inn im Bereich der Stadt Passau und weiter donauabwärts bis zum Stauwerk Jochenstein entnommen wurden, ergab einen ziemlich erhöhten Keim- und Coligehalt. Die höheren Werte wurden in der Donaumitte unterhalb der Stadt Passau, und zwar in Flußgrundnähe festgestellt. Durch den Zusammenfluß von Donau und Inn werden die Hauptabwassermengen, die dem Anschein nach linksufrig dem Inn zugeführt werden, in die Mitte der Donau gedrängt. Im rechten Viertel des Donauprofils, etwa auf der Höhe der „Soldateninsel“ waren pro Milliliter Probe rund 20 *Escherichia coli* und 18.000 psychophile Keime nachweisbar.

Es erscheint sehr bemerkenswert, daß auf dieser von verschmutztem Wasser um- und durchflossenen Donauinsel einwandfreies Trinkwasser gefördert werden kann, das weder aufbereitet noch entkeimt werden soll.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1961

Band/Volume: [1961](#)

Autor(en)/Author(s): Nemecek Ernst P.

Artikel/Article: [Die Hydrologie der Trinkwasserversorgung aus Staugewässern und staunahem Grundwasser 245-266](#)