

## Die Versickerung von Abwasser und die Abgrenzung von Wasserversorgungsschutzgebieten

*Min. Oberkommissär Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Nemeček*

Seit alters her ist der Mensch bestrebt, seine Wohnstätte frei von Abfallstoffen und Unrat zu halten. Man dürfte kaum fehlgehen, wenn man annimmt, daß er schon früh Bäche und Flüsse dafür sorgen ließ, daß sie das Unnütze oder gar Übelriechende aus den Siedlungen trugen. Sicherlich wird man auch Schmutzwasser einfach vor die Hütte geschüttet haben, wo es versickerte.

Damals half aber die Natur noch gerne dem Menschen, denn all dieser rein häusliche Abfall geringer Konzentration war Nahrung für die Kleintiere in Wasser und Boden. In den Flüssen fand sohin ein sehr rascher Abbau der eingebrachten Schmutzstoffe statt. Durch diese Selbstreinigung der Flüsse war bald unterhalb der noch kleinen Siedlungen das Wasser wieder klar und sauber. Aber auch die Abbaufähigkeit des Bodens, die vor allem in der obersten Humusschicht sehr groß ist, bewirkte eine rasche Reinigung der Schmutzwässer, da diese in der Regel oberflächlich und nicht zu konzentriert und pausenlos zur Versickerung kamen. Damit blieb die Durchlüftung des Bodens und ein reges Leben in ihm erhalten.

Heute ist oft über weite Landstriche das Leben in Wasser und Boden erstarben. Und gerade überall da, wo die Bevölkerungsdichte immer mehr ansteigt, große Städte und Industrien entstehen, steigt auch der Bedarf an Trink- und Brauchwasser. Die Bereitstellung dieser ungeheuren Mengen reinen Wassers wäre an sich in den meisten Ländern Europas und auch Amerikas kaum schwierig, wenn wir nicht selbst die dafür notwendigen natürlichen Reserven, die Flüsse, Seen und Grundwasserströme weit über das der Natur zumutbare Maß hinaus verunreinigen würden.

Nahezu die gleiche riesige Menge, die als Trink- und Brauchwasser an die Wohn- und Industriezentren herangeschafft werden muß, fällt als Abwasser wieder an, meist örtlich konzentriert und zum Großteil mit biologisch schwer abbaufähigen, ja vielfach toxisch wirkenden Stoffen angereichert.

Der größte Teil dieses Abwassers wird in Flüsse und Seen eingeleitet, das andere im Boden versickert. Das Grundwasser — unser wertvollstes Trink- und Brauchwasser — wird so auf weite Strecken verunreinigt. Bei Hochwasser dringen vom Fluß her Stoffe mit widerlichem Geschmack, Gifte und Keime in den Grundwasserleiter ein. Unsachgemäße Lagerung

von Rohstoffen, von Industrieprodukten, insbesondere Ole, Benzine und Teerprodukte, aber auch im Boden verlegte undichte Rohrleitungen, vor allem der chemischen Industrie, der Gaswerke u. ä. gefährden im höchsten Maße unser Grundwasser.

Die Wohnungsnot zwingt heute zum raschen Bau großer Siedlungen, die meist in den breiten Talböden entstehen, in denen unsere ergiebigsten Grundwasserströme ziehen. Dabei kann für Erschließungsarbeiten — im besonderen der Kanalisation — oft noch kein Geld bereitgestellt werden. Die Folge davon ist, daß jedes Haus sein Senkgrubenüberlaufwasser in eigenen Sickerbrunnen zur Versickerung bringen muß oder — wenn die Behörde eine Versickerung verbietet — gar oft die vorschriftsmäßig dicht ausgeführte Senkgrube durchstoßen wird, um sich das lästige häufige Entleeren zu ersparen. Nicht selten kommt es dann zum „kleinen Kreislauf“ wenn der Hausbrunnen im Bereich jenes Verschmutzungstreifens liegt. Die Beachtung der geübten Regel, daß der Brunnen 10 m von der Abwasserversickerungsstelle entfernt sein soll, reicht eben auch bei diesen Kleinanlagen meist nicht aus. Hier müßte mindestens die Grundwasserstromrichtung beachtet werden.

Wir erkennen daraus, daß bei der Entnahme von Grundwasser darauf zu achten ist, ob nicht in der Umgebung der Entnahmestelle Stoffe in das Grundwasser eingebracht werden, die dann häufig nicht nur die Güte des erschroteten Grundwassers herabsetzen können, sondern auch in gesundheitlicher Hinsicht eine Gefahr darstellen. Besonders bei Großanlagen, die der Versorgung eines weiten Kreises dienen, besteht so die ständige Gefahr der Ausbreitung von Krankheiten, epidemischen Charakters und zwingt zur Anlage von Grundwasserschutzgebieten. In diesen Fällen gibt uns auch das Wasserrechtsgesetz die Möglichkeit, durch Wahrung der öffentlichen Interessen auf Bau und Betrieb Einfluß zu nehmen und so letztlich auch auf die Abgrenzung des Schutzgebietes.

In noch unverbauten Gebieten wird die Abgrenzung eines solchen Schutzgebietes kaum Schwierigkeiten verursachen, setzt aber in jedem Falle die Kenntnis der Bodenstruktur, die hydrotechnischen Daten des Grundwasserstromes und die Abbaufähigkeit des Bodens im Bereich des Schutzgebietes voraus. Eine Zusammenarbeit von Geologen, Wasserbauingenieuren und Hygienikern ist sohin unumgänglich notwendig. Nicht oft genug kann betont werden, daß eine solche Arbeitsgemeinschaft nur dann Befriedigendes leisten kann, wenn Gelder für ausreichende Vorarbeiten bereitgestellt werden. Es ist sinnlos, wenn man vom Hydrotekten die Frage nach der Richtung des Grundwasserstromes beantwortet haben will, aber nicht einsehen möchte, daß dazu wenigstens einige einfache Gasrohre zur Grundwasserbeobachtung geschlagen werden müssen. Bei den Vorarbeiten sparen zu wollen, deren Kosten oft nur einen verschwindenden Betrag des Gesamten ausmachen, hat sich schon bitter gerächt. Dies gilt

vor allem in bereits verbautem Gelände, wo als erstes festgestellt werden muß, ob ein Brunnen hier überhaupt errichtet werden kann. Die Lage des Brunnens wird dabei von der Möglichkeit bestimmt werden, ob zwischen der bestehenden Verbauung ein „Mindestschutzgebiet“ — dessen Bestimmung noch besprochen werden soll — noch einzufügen ist.

Wie notwendig dies alles ist, wurde dem Verfasser erst kürzlich mit aller Deutlichkeit vor Augen geführt. Eine bestehende Molkerei einer Stadt hatte einen Brunnen errichtet. Bei der Besichtigung zeigte es sich nun, daß außer einem unzureichenden Dauerpumpversuch und einer Gütebestimmung keine hydrotechnischen Untersuchungen durchgeführt worden waren. Die Angabe über die Richtung des Grundwasserstromes war dementsprechend reichlich unsicher und eine Begehung des unmittelbar stromaufwärts des Brunnens gelegenen Gebietes zeigte uns Garagen, Clo-Anlagen in kaum 15 m seitlicher Entfernung und bei jedem der Wohnhäuser, die in aufgelockerter Bauweise standen, war ein Sickerbrunnen, der im Maximum bis zu 10 m tief abgeteuft war und sicherlich bis in den Grobschotter und in das Grundwasser reichen mußte. Dabei waren alle Häuser an die zentrale Trinkwasserversorgung der Stadt angeschlossen und mit Bädern ausgestattet.

Auch in diesem Falle sprach man, so wie in fast allen anderen Fällen, die dem Verfasser im Laufe der Zeit zur Kenntnis gelangten, von einem „Umkreis“ als Schutzgebiet und hatte fein säuberlich in einem Plan einen Kreis um den Brunnen geschlagen. Es störte dabei kaum, daß Garagen mit Waschplätzen, die Clos und Kanäle innerhalb dieses Kreises lagen. Für die Kommission hingegen erhob sich die peinliche Frage, für welchen Zweck dieses erschrotete Wasser noch verwendet werden könne.

Dieses eine drastische Beispiel dürfte genügen, um zu zeigen, wie notwendig es ist, bei Anlage eines Brunnens einmal festzustellen, ob hier überhaupt ein Schutzgebiet geschaffen werden kann, welches sicher eine Verunreinigung des erschroteten Grundwassers hintanhält.

Leider sind weite Kreise auch heute noch der Ansicht, daß die Bestimmung eines Schutzgebietes mehr eine Sache des Gefühles sei und deshalb am besten so abgetan werde, daß man — entsprechend der alten HDV — einen Umkreis von so und soviel Meter um den Brunnen festlege. Verfasser betrachtet eine solche Art des Vorgehens als einen Akt der Willkür, denn einerseits werden sehr oft Baulichkeiten durch diesen Kreis mit in das Schutzgebiet einbezogen, ohne tatsächlich noch im Einzugsbereich des Brunnens zu liegen, andererseits finden sich grundwasserstromaufwärts außerhalb des gezogenen Kreises Verschmutzungsherde, denen man ganz zu unrecht keinerlei Beachtung mehr schenkt.

Zugegeben, die Abgrenzung eines Schutzgebietes — soll sie auf wissenschaftlich einwandfreie Art erfolgen — stellt kein einfaches Problem dar. Der Techniker aber ist gewohnt, schwierigen Problemen dadurch beizukommen, daß er eine Aufspaltung des Gesamtfragenkomplexes in einzelne Faktoren vornimmt. Oft ist man schon dadurch, daß es gelingt, eine Aufspaltung durchzuführen, der Lösung einen großen Schritt näher gekommen.

Das Problem der Abgrenzung eines Schutzgebietes kann nun aber zweifellos in einen *biologisch-chemischen* Komplex und einen *hydrotechnisch-*

*hydraulischen* aufgespaltet werden. Bei diesem Problem tritt der Vorteil einer Trennung der Fragen besonders deutlich zutage, da es dadurch gelingt, die Aufgaben zwei vollkommen verschiedenen Fachgebieten zuzuteilen, dem des Arztes und Biologen und dem des Ingenieurs und Geologen.

Bislang wurde das Schutzgebiet einer Wasserversorgungsanlage — soweit ein solches durch das Wasserrechtsgesetz vorgeschrieben wird — in der Regel vom ärztlichen Sachverständigen abgegrenzt. Der technische Amtssachverständige, der als Hydrotekt den Hauptanteil zur Lösung dieser Frage beitragen müßte, war — infolge Fehlens der erforderlichen hydrotechnischen Unterlagen — nicht einmal in der Lage, einen kleinen Beitrag zu leisten. Aus lauter Sparsamkeit am falschen Platze beschränken sich nämlich in der Regel die hydrotechnischen Vorarbeiten auf einen Pumpversuch und eine Wassergüteuntersuchung. Man erwartet aber auch gar nicht, daß der Ingenieur in die Sache besonders eingreift, weil man der Ansicht ist, daß ja ohnehin nichts Bestimmtes über die Einstromverhältnisse zu einem Brunnenfeld ausgesagt werden könne. Wie unzutreffend dies ist, soll nun an Hand einiger Erläuterungen aus der Theorie der Grundwasserströmung und Potentialtheorie sowie einiger Versuche am Potentialisch und deren Übertragbarkeit in die Natur bewiesen werden.

Sie werden dadurch aber die Überzeugung gewinnen, daß der Wasserbauingenieur heute wohl in der Lage ist, über Form und Größe eines Brunneneinzugsgebietes Auskunft zu geben, wenn nur die dafür erforderlichen Voruntersuchungen durchgeführt werden.

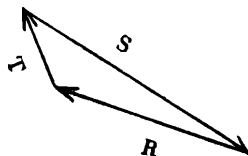
Das Fachgebiet der *Hydraulik* befaßt sich u. a. mit der Theorie der Grundwasserströmung. Das Grundwasser durchströmt als zähe Flüssigkeit die Poren des Grundwasserleiters (häufig auch Grundwasserträger genannt). Die Strömung einer zähen Flüssigkeit wird durch die Navier-Stokes'sche Gleichung beschrieben. Dieser Grundgleichung gehorcht somit auch die Grundwasserströmung und es muß möglich sein, über Navier-Stokes die aus Versuchen abgeleitete Gleichung von Darcy — die als Grundgleichung der Grundwassertheorie bezeichnet werden muß — abzuleiten. Dies wird uns einen Einblick in die tieferen Zusammenhänge vermitteln und vor allem eine Abschätzung des Gültigkeitsbereiches der Gleichung von Darcy ermöglichen.

Schneiden wir aus einem Porenschlauch, der in Richtung  $s$  der Strömung liegen soll, ein Flüssigkeitselement heraus, so können wir pro Masseneinheit flüssige Phase die genannte Gleichung in der Form

$$\underbrace{\frac{\partial v_s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v_s^2}{2} \right)}_T = \underbrace{\mathfrak{F}_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s}}_S + \underbrace{\nu \Delta v_s}_R$$

ansetzen.

Es bedeuten	T	das Trägheits-
	S	das Schwere-
	R	das Reibungsglied.



Diese Grundgleichung sagt aus, daß die Aktionskraft S die Reaktionskräfte (Trägheit und Reibung) auslöst und daß sich diese Kräfte gegenseitig das Gleichgewicht halten; sie bilden somit ein geschlossenes Kräfteck.

Wir wollen im Folgenden eine stationäre, also zeitunveränderliche Strömung betrachten. Die Änderung der Geschwindigkeit nach der Zeit  $\frac{\partial v_s}{\partial t}$  sei daher Null.

Der zweite noch verbleibende Teil des Trägheitsgliedes T, nämlich  $\frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v_s^2}{2} \right)$  zeigt uns durch seinen Aufbau (denken wir nur an  $\frac{mv^2}{2}$ ), daß der linke Teil der Gleichung tatsächlich das Trägheitsglied sein muß. Es ist nun einleuchtend, daß dieses Glied bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten kaum merkbar in Erscheinung treten kann. Dann aber degeneriert das Kräfteck zu einem doppelt durchlaufenen Linienzug und die beiden Kräfte S und R sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet.

Durch Versuche konnte Prof. R. Dachler feststellen, daß bei einer Filtergeschwindigkeit bis zu  $4 \text{ mm s}$  der Einfluß der Trägheitskräfte in einer Grundwasserströmung tatsächlich verschwindet.

Unsere Navier-Stokes'sche Gleichung erhält dann bei Wegfall der Trägheitsglieder die Form:

$$0 = \mathfrak{P}_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \nu \Delta v_s$$

setzen wir für  $\mathfrak{P}_s = - \frac{\partial}{\partial s} (gz)$ , wobei  $gz$  eine skalare Ortsfunktion

darstellt, da sie nur von  $z$  abhängig ist; erweitern mit  $\rho$ , so erhalten wir Kräfte pro Volumseinheit. Es ist dann

$$0 = - \rho \frac{\partial}{\partial s} (gz) - \frac{\partial p}{\partial s} + \gamma \Delta v_s \quad \gamma = \rho \cdot g$$

$$0 = - \underbrace{\frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{p}{\gamma} + z \right)}_h + \underbrace{\gamma \Delta v_s}_R$$

Wird aber das Trägheitsglied vernachlässigt, so muß das Reibungsglied proportional der Porenströmungsgeschwindigkeit  $v_s$  sein, wie

wir am deutlichsten aus dem allgemeinen Widerstandsgesetz von Forchheimer erkennen können.

$$\begin{aligned} J &= a v + b v^2 && \text{oder in obiger Schreibweise:} \\ S &= R + T && \text{wird } T \text{ vernachlässigt, bleibt:} \\ R &= a v \end{aligned}$$

d. h., das Reibungsglied ist proportional der Geschwindigkeit. In der Navier-Stokes'schen Gleichung muß somit an Stelle von  $\Delta v_s$  ein Proportionalitätsfaktor  $C$  treten.

Es ist dann:

$$R = C \gamma v_s$$

und unsere Gleichung erhält dann die Form:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial s} &= C \gamma v_s \text{ oder} \\ v_s &= \frac{\gamma}{C \gamma} \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{g}{C \nu} \frac{\partial h}{\partial s} \end{aligned}$$

Gehen wir auf die Filtergeschwindigkeit über, so gilt dort  $v = n v_s$  und damit

$$v = \frac{n g}{C \nu} \frac{\partial h}{\partial s} \text{ und mit } k = \frac{n g}{C \nu} \text{ nach Kozeny}$$

$$v = k J \quad \text{das Darcy-Gesetz}$$

Durch diese mathematische Ableitung wurde gezeigt, daß das Darcy-Gesetz nur bei Vernachlässigung der Trägheitskräfte Giltigkeit haben kann, denn nur so kamen wir zu

$$v = k \cdot J$$

Alle Grundwasserströmungen, die diesem Gesetz gehorchen, bezeichnet man als Strömungen im Darcy-Bereich. Die obere Grenze der Filtergeschwindigkeit im Darcy-Bereich wurde schon mit 4 mm/s erwähnt, d. h., daß bei allen Grundwasserströmungen unterhalb einer Filtergeschwindigkeit von 4 mm/s eine Ablenkung der Stromlinien durch Trägheitskräfte nicht erfolgt und somit die Stromlinien in Richtung des größten Gefälles oder was dasselbe ist, in Richtung der treibenden Kraft weisen. Damit ist eigentlich schon der formale Zusammenhang mit einer Potentialströmung gegeben, denn bei dieser stehen die Stromlinien senkrecht auf den Linien konstanten Potentials.

Die hier dargelegten Erkenntnisse würden uns aber in der Behandlung der Grundwasserprobleme nicht viel weiterhelfen, wenn wir nicht zur

Theorie der idealen Flüssigkeiten die schon oben angedeutete Brücke schlagen könnten. Diese ermöglicht uns erst, die in der Hydromechanik schon für die Strömung idealer oder reibungsfreier Flüssigkeiten (Potentialströmungen) ausgearbeiteten Lösungsmethoden auch auf das Grundwasser, als zähe Flüssigkeitsströmung, anzuwenden.

Nachstehend soll dieser *Zusammenhang zwischen der Strömung idealer Flüssigkeiten und der Grundwasserströmung* noch näher erläutert werden.

Bekanntlich ist ein Geschwindigkeitspotential  $\Phi$  eine skalare, d. h. richtungsunabhängige Ortsfunktion, die die Eigenschaft besitzt, daß ihre Änderung nach einem Weg gleich ist der Geschwindigkeit in dieser Richtung. Es gilt somit

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s} = v_s$$

und weiters, daß die Absolutgeschwindigkeit in einem Punkt gleich ist der Änderung des Potentials nach der Hauptgefällsrichtung

$$v = \text{grad } \Phi$$

Offensichtlich liegt dann ein Zusammenhang zwischen Grundwasserströmung und Potentialströmung vor, wenn die Richtung des Kraftangriffes im Grundwasser mit der Strömungsrichtung  $s$  zusammenfällt, da die Kraftrichtung in die Richtung des Hauptgefälles weist. Wir haben, als wir die Möglichkeit der Vernachlässigung der Trägheitskräfte besprochen, schon erkannt, daß obige Bedingung tatsächlich im Darcy-Bereich erfüllt sein muß.

Für Darcy gilt

$$v = k \quad J$$

$$v = k \quad \frac{dh}{ds} \quad \text{ist } s \text{ die}$$

Hauptgefällsrichtung, so ist

$$v = k \quad \text{grad } h \quad \text{oder}$$

$$v = \text{grad } (kh).$$

Es stellt  $kh$  ebenfalls nur eine skalare Ortsfunktion dar. Wenn zwischen Potentialströmung und Darcy-Strömung tatsächlich ein formaler Zusammenhang besteht, dann muß  $kh$  dieselbe Bedeutung haben wie  $\Phi$  der Potentialströmung. Wir können dann formal setzen:

$$\Phi = kh \quad \text{oder für}$$

$$\Phi = \text{const.} = kh.$$

Das heißt, es sind die Linien konstanter Standrohrspiegelhöhe als Potentiallinien anzusehen. In der Tat stehen die Stromlinien einer

Grundwasserströmung senkrecht auf den Linien konstanter Standrohrspiegelhöhe  $kh = \text{const.}$

Wir können zusammenfassen und sagen, daß die Grundwasserströmung, aber auch jede andere, einem *linearen Widerstandsgesetz* gehorchende Strömung formal als Potentialströmung aufgefaßt werden kann. Als solche gelten u. a.: die Strömung in Kapillarrohren, in dünner ebener Schicht, zwischen planparallelen Platten und schließlich auch der Elektronenstrom in einem Elektrolyt.

Als Beweis für die zuletzt angeführte Strömung mag hier nur die Gegenüberstellung des Darcy- und des Ohm'schen Gesetzes dienen.

$J = \frac{E}{R}$	Ohm	$J$	Stromstärke
		$E$	Potentialdifferenz
		$R$	Widerstand der Leitung
$J = \frac{1}{w} F \frac{\Phi_0 - \Phi_u}{l}$	Darcy	$R = w \frac{l}{F}$	$w$ Materialkonstante
			$l$ Leitungslänge
			$F$ Leitungsquerschnitt
$q = k \cdot F J$			

Wir haben gesehen, daß  $\Phi = kh$  gesetzt werden kann und wissen, daß die Stromlinien in die Richtung des größten Gefälles zeigen, somit auch bei der Grundwasserströmung wie schon angedeutet senkrecht auf die Linien gleicher Standrohrspiegelhöhe stehen müssen, was im Versuch bestätigt wird. Strom- und Potentiallinien bilden daher auch bei der Grundwasserströmung ein Orthogonalnetz. Es muß somit auch hier die Laplace-Gleichung gelten.

Es muß  $\text{div } v = 0$  (Kontinuitätsgleichung) erfüllt sein, womit sich  $\text{div grad } (kh) = 0$  Laplace ergibt.

Damit ist, wie in der Potentialtheorie, bei Kenntnis der *Berandungen* eines Strömungsfeldes die Lage der Strom- und Potentiallinien im Inneren bestimmt und so auch die Möglichkeit gegeben, die in der Mathematik entwickelte Methode der konformen Abbildung mit heranzuziehen.

Wir erkennen nun, daß eine Grundwasserströmung durch z. B. eine Strömung zwischen planparallelen Platten oder einer dünnen zähen Flüssigkeitsschicht sehr genau im Modell nachgebildet werden kann; daß aber auch die auf diese Art erhaltenen Stromlinien als Berandungen einer Potentialströmung aufgefaßt werden dürfen und mit Hilfe der graphischen Methode zu einem Orthogonalnetz (Strom- und Potentialliniennetz) vervollständigt werden können.



Bei gleicher Teilung des Gesamtdurchflusses  $\Psi = Q$  und der Gesamtpotentialdifferenz  $\Psi = k \cdot H$  ergibt sich ein quadratähnliches Netz, dessen Seitenlängen verkehrt proportional der herrschenden Geschwindigkeit  $v$  sind.

Ebenso kann im elektrolytischen Trog ein Feld durch Strom- und Potentiallinien begrenzt eingebaut werden, um mittels Sonde die Linien gleichen elektrischen Potentials abzutasten. Diese Potentiallinien entsprechen dann ebenfalls den Linien gleicher Standrohrspiegelhöhe im ähnlichen Grundwasserfeld. Ja, es besteht sogar die Möglichkeit, Strom- und Potentiallinien zu vertauschen, da sie nichts anderes als zwei gleichwertige Kurvenscharen darstellen. Diese Arten der Netzbestimmung können als „Kombinierte Methoden“ bezeichnet werden.

Dank dem Entgegenkommen von Prof. Dr. J. Kozeny, Ordinarius am Institut für Hydraulik der Technischen Hochschule Wien, konnte Verfasser erst kürzlich eine Reihe von Strömungsversuchen an diesem Institut durchführen. Die dabei gemachten Aufnahmen dürften geeignet sein, das Problem der Bestimmung eines Schutzgebietes gut zu veranschaulichen.

Bei der Nachbildung einer Brunnenzuströmung kommt es für die Abgrenzung eines Schutzgebietes in erster Linie auf die Grundrißprojektion der Strömung an. Deshalb wurde als Modellströmung die zähe Flüssigkeitsströmung in dünner Schicht über einer fast horizontal liegenden Platte gewählt. Das Versuchsgerät — eine ca. 80 cm lange Marmorglasplatte (Potentialtisch) — wurde in dankenswerter Weise vom Institut für Fluß-, Wehr- und Talsperrenbau der T.H. Wien (Prof. Dr. Grzywiński) zur Verfügung gestellt. Als Flüssigkeit wurde normales Leitungswasser, etwa 6 mm hoch, verwendet. Die Färbung der Stromlinien erfolgte mit Kaliumpermanganatkristallen.

Den wohl häufigsten und damit wichtigsten Fall stellt der Einzelbrunnen im Grundwasserstrom dar. In Abb. 1 sehen wir die Zuströmung zu einem Einzelbrunnen. Es ist dies potentialtheoretisch eine Überlagerung einer Senkenströmung mit einer Parallelströmung. Mit Hilfe der Funktionentheorie läßt sich eine solche Strömung auch analytisch behandeln.

Wesentlich für die Bestimmung des Schutzgebietes ist die Einzugs Grenze und im Zusammenhang damit der untere Scheitelungspunkt, der hier durch Färbung genau festgelegt werden konnte (zwei Farbkristalle liegen unmittelbar nebeneinander. Während der eine Kristall die Strömung zum Brunnen färbt, zeigt der zweite schon die Strömung vom Brunnen an). Auch die Einzugs Grenze ist in Abb. 1 gut abzulesen. Die graphische Auswertung dieses Versuches zeigt uns Fig. 1. Dazu wurde die 9×12-Aufnahme der Abb. 1 auf 18×24 vergrößert und darüber unter Benützung der somit gegebenen Stromlinien das Quadratnetz gezeichnet. Der Umstand, daß die vorhandenen Stromlinien keiner Korrektur bei der Zeichnung des Netzes bedurften, ist ein guter Beweis dafür, daß das photographische Strom-

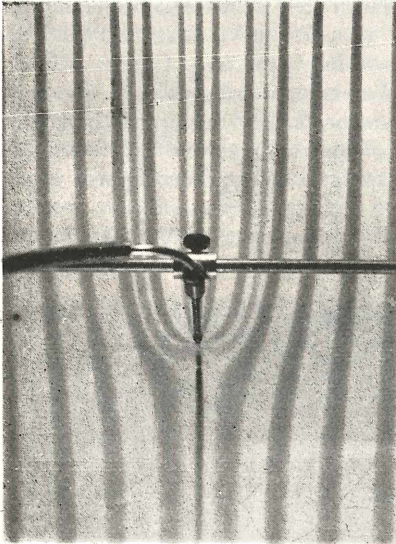


Abb. 1. Darstellung am Potentialtisch: Strömungsbild eines Einzelbrunnens im Grundwasserstrom

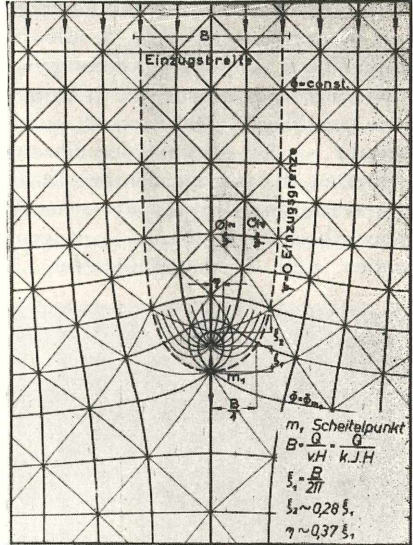


Fig. 1. Strom- und Potentialliniennetz dieses Einzelbrunnens im Grundwasserstrom

linienbild tatsächlich eine Potentialströmung darstellt. Weiters sieht man, daß bei Kenntnis der Einzugsbreite  $B$  die Form der Grenzstromlinie genau genug festgelegt werden kann.

Die Einzugsbreite  $B$  selbst kann aus der Kontinuitätsgleichung berechnet werden.

Es gilt

Entnahme = Zufluß

$$Q = v \cdot B \cdot H$$

wobei  $H$  die Mächtigkeit des Grundwasserstromes bezeichnet.

$$B = \frac{Q}{v \cdot H}$$

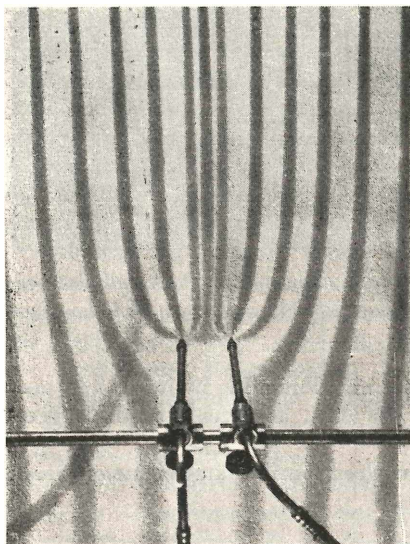
Ist  $B$  berechnet, kennt man auch  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  und  $\eta$  (s. Fig. 1) und kann damit genau genug die Einzugsbreite zeichnen. Dies alles ist aber nur möglich, wenn durch hydrotechnische Untersuchungen die Filtergeschwindigkeit  $v$  und die Mächtigkeit des Grundwasserstromes  $H$  ermittelt wurden. Dabei kann  $v$  über  $k$  und  $J$  bestimmt werden oder aber auch über die Porenströmungsgeschwindigkeit  $v_w$  und  $n$ , denn es ist

$$v = n \cdot v_w$$

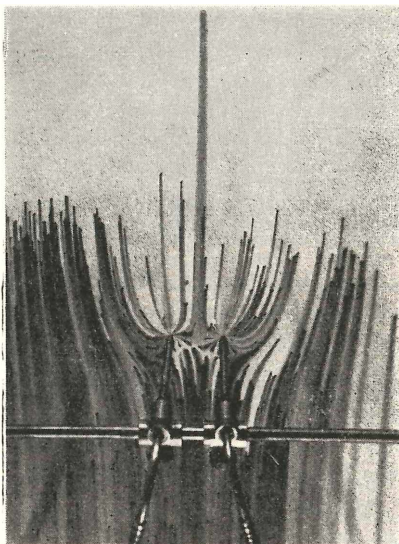
Der Hydrotekt kann somit über die Form der Randstromlinie nur dann etwas aussagen, wenn  $H$ ,  $k$ ,  $J$ , allenfalls auch  $n$  und  $v_w$  bestimmt sind und die maximale Entnahme  $Q$  festgelegt wurde.

Sehr häufig werden bei größeren Wasserversorgungsanlagen Brunnenreihen geschlagen. Dabei wird — entsprechend den Fehlern in der alten Literatur — der Abstand der einzelnen Brunnen so gewählt, daß die Einzugsbreiten  $B$ , wie sie sich bei Einzelbetrieb einstellen würden, sich gegenseitig berühren oder gar überschneiden.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen zwei zu nahe beisammen liegende Brunnen. Eine Trennung in zwei Einzugsgebiete erfolgt hier nicht mehr.



*Abb. 2. Zwei Brunnen im Grundwasserstrom, die sich gegenseitig stark beeinflussen; Strömungsbild durch am Rand aufgelegte Einzelkristalle sichtbar gemacht (Streifenfärbung)*



*Abb. 5. Versuchsanordnung wie bei Abb. 2; Sichtbarmachung der Strömung durch Aufstreuen von Kristallen (Streuungsmethode)*

Wir sehen deutlich, daß der Mittelfaden zwischen den Brunnen nicht durchströmen kann. Es bildet sich eine gemeinsame äußere Einzugsgränze. Deutlich sieht man aber auch die gegenseitige Beeinflussung der Brunnen. Die Ergiebigkeit einer solchen Anlage muß sohin weit unter  $2Q$  liegen. Die Abb. 3 zeigt die „Streuungsmethode der Kristallfärbung“. Damit können Feinheiten bezüglich der Zuströmung studiert werden, die an Hand der Streifenfärbung, wie z. B. in Abb. 2, nicht sichtbar gemacht werden kön-

nen. Durch geschicktes Gegenüberlegen von Kristallen können so B. Grenzstromlinien ermittelt werden.

Die Abb. 4 zeigt uns zwei Brunnen, deren Abstand so weit vergrößert wurde, daß der Mittelstromfaden gerade noch durchziehen kann. Die Farbauflösung im Schatten der beiden Brunnen deutet auf sehr geringe Geschwindigkeiten in diesem Bereich hin. Auch bei diesem Versuch ist noch die gegenseitige Beeinflussung der beiden Brunnen an dem Zusammenziehen der Stromlinienbüschel deutlich zu erkennen. Die Fig. 2 zeigt das Netzbild zu Abb. 4. Obwohl schon getrennte Einzugsbereiche aufscheinen, ist die Zwischenströmung noch ganz unbedeutend.

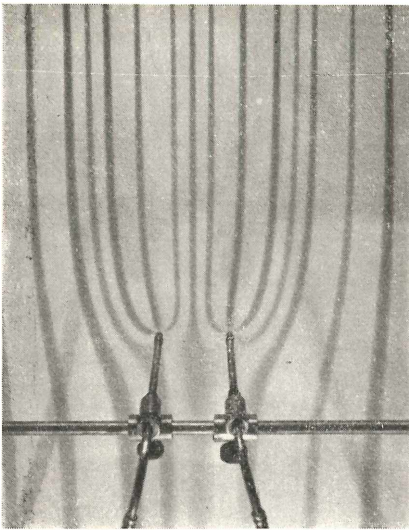


Abb. 4 Zwei Brunnen im Grundwasserstrom, die sich gegenseitig nur schwach beeinflussen

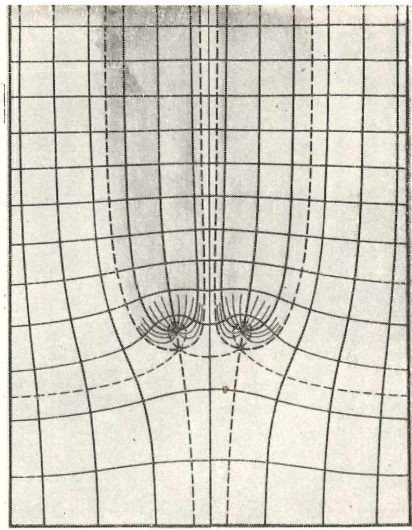
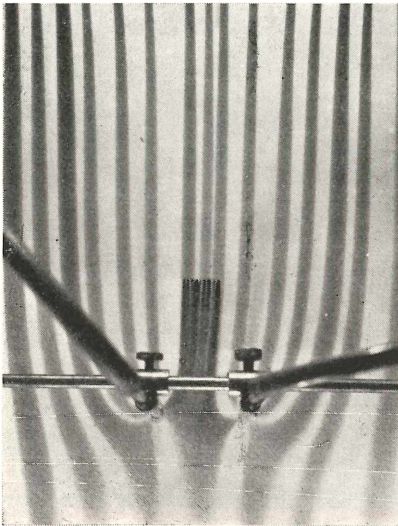


Fig. 2. Strom- und Potentialliniennetz zu Abb. 4

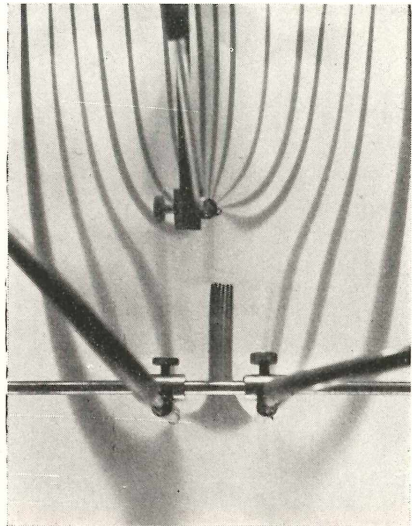
Der Sinn vorliegender Ausführungen wäre verfehlt, würde man in Hinblick bei jedem Einzelbrunnen im Grundwasserstrom ohne viel Überlegung an Stelle eines Kreises als Schutzgebiet die Einzugsparabel wählen. Es besteht immer die Möglichkeit, daß in dem zu behandelnden Falle Faktoren berücksichtigt werden müssen, die geologischer oder hydrologischer Natur sein können und die geeignet sind, das Strömungsbild vollkommen zu verändern. Auch dazu ein Beispiel.

Die Abb. 5 entspricht im wesentlichen der Abb. 4 und soll das Einzugsgebiet zweier bestehender Brunnen in einem Grundwasserstrom zeigen.

Der Abstand dieser beiden Brunnen ist so groß, daß noch eine Trennung in zwei Einzugsgebiete erfolgt, so wie dies bei Abb. 4 auch der Fall war. Die gegenseitige Beeinflussung ist hier aber geringer. Wir stellen uns vor, daß es sich um zwei große Brunnen in einem Industriegelände handelt und daß außerhalb der Einzugs Grenzen private Hausbrunnen liegen mögen, die somit kaum beeinträchtigt werden. Nun denken wir uns einen dritten Brunnen im Industriegelände niedergebracht (s. Abb. 6 oben). Aus allen drei Brunnen soll für den Industriebetrieb gleichzeitig Wasser entnommen werden. Da nur der dritte Brunnen neu hergestellt wurde, wird nur dieser wasserrechtlich verhandelt. Die alten zwei Brunnen sind somit nicht Gegenstand der Verhandlung.



*Abb. 5. Die beiden Brunnen beeinflussen sich gegenseitig nur sehr schwach*



*Abb. 6. Dieselben zwei Brunnen beeinflussen sich gegenseitig sehr stark durch Inbetriebnahme eines grundwasserstromaufwärts liegenden dritten Brunnens, wobei eine starke Verbreitung des Gesamteinzugsbereiches eintritt*

Nehmen wir an, es wäre der seltene Fall eingetreten, daß beim Bau dieses dritten Brunnens genügende Voruntersuchungen durchgeführt worden waren und die hydrotechnischen Daten somit bekannt sind. Würde man nun entsprechend der Entnahme  $Q$  des dritten Brunnens, dessen Ein-

zugsbreite  $B$  und damit die weiteren Konstruktionsgrößen für die Grenzstromlinie des Einzugsgebietes bestimmen und diesen Linienzug fein säuberlich in einen Plan eintragen, so lägen die obgenannten Hausbrunnen selbstverständlich auch hier wieder außerhalb des neu ermittelten Einzugsgebietes. Wie die Verhältnisse aber tatsächlich sind, dadurch daß aus allen drei Brunnen *gleichzeitig* Wasser entnommen wird, zeigt uns Abb. 6 sehr deutlich. Hier muß eben die Überlagerung des dritten Brunnens berücksichtigt werden. Wir sehen die starke Ausweitung des Einzugsbereiches und es ist einleuchtend, daß auf diese Weise die erwähnten Hausbrunnen in das neue Einzugsbereich hineinkommen und somit tatsächlich beeinflußt werden.

Wie notwendig es ist, sich in jedem Fall klar zu werden, wie das Strömungsbild aussehen wird, soll mit dem Hinweis auf zwei bekannte Strömungsformen unterstrichen werden. Als erstes, der Brunnen in Nähe eines offenen Gewässers, z. B. eines Flusses (Fig. 3).

Die Einsickerung des Flußwassers in den Boden erfolgt senkrecht zur Uferlinie. Diese muß somit im Strömungsbild zu einer Potentiallinie werden. Die im vorliegenden Falle sich ausbildende Zuströmungsform kann

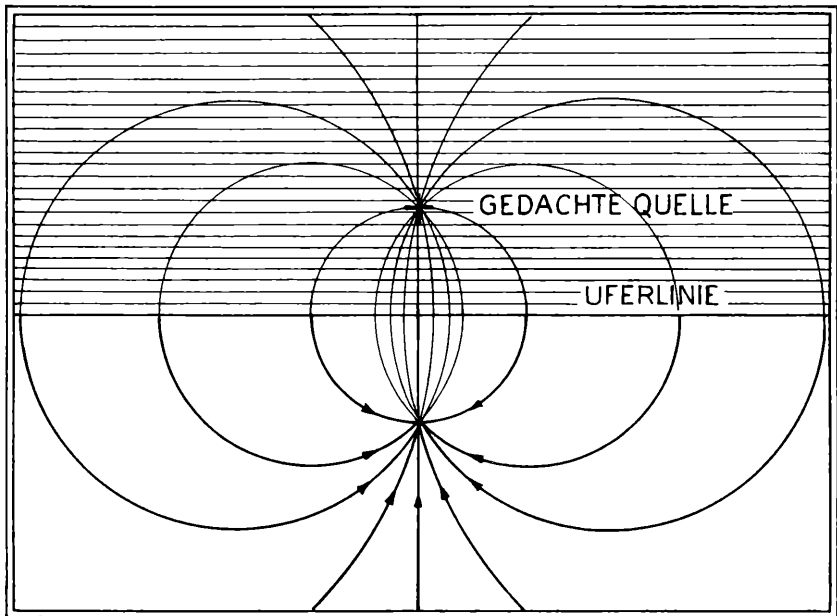


Fig. 3. Zuströmung zu einem Einzelbrunnen  
in Flußnähe

als Quell-Senkenströmung nachgebildet werden, wenn wir in Gedanken die Quelle in den Fluß verlegen. Das Flußufer bildet dann die Symmetrale zur Quelle und Senke und ist somit, wie erforderlich, eine Potentiallinie. Da sowohl die Strom- wie auch Potentiallinien hier je ein Kreisbüschel bilden, ist die Uferlinie jener Kreis, dessen Radius unendlich ist.

Ebenfalls von geometrisch einfacher Form sind die Strom- und Potentiallinien bei einem Brunnen im Grundwassersee. Die Stromlinien bilden hier ein Strahlenbüschel, die Potentiallinien konzentrische Kreise.

Sie dürften aus all diesen Beispielen und den theoretischen Ausführungen erkannt haben, daß der Ingenieur wohl in der Lage ist, recht gute Aufschlüsse über Form und Größe von Brunneneinzugsgebieten zu machen. Schwierige Fälle, z. B. ganze Brunnensysteme oder auch das Vorhandensein undurchlässiger Bodeneinschlüsse, können mittels Potentialtisch oder eines anderen Modells sehr gut studiert und so einer Lösung zugeführt werden. Alle diese Untersuchungen sind aber ohne hydrotechnische Vorarbeiten, d. h. ohne Kenntnis von  $k$ ,  $J$ ,  $H$ ,  $n$  nicht möglich.

Zum Schluß wollen wir uns wieder dem Hauptgedanken, der Bestimmung des Schutzgebietes, zuwenden. In der Regel wird die Form eines Schutzgebietes nicht das Einzugsbereich des Brunnens oder der Brunnenreihe widerspiegeln, sondern vielfach vom Verlauf der Grundstücksgrenzen mehr oder weniger bestimmt sein. In allen Fällen muß aber getrachtet werden, daß das „Minimalschutzgebiet“ innerhalb dieser Grenzen liegt.

Wie dieses „Minimalschutzgebiet“ in gemeinsamer Arbeit von Ingenieur, Arzt und Geologen bestimmt werden soll, mag noch abschließend am Beispiel des Einzelbrunnens im Grundwasserstrom erläutert werden. Dabei soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die zu bestimmende Berandung nicht nur vom Stromlinienbild, sondern auch davon abhängt, welche Stoffe in den Brunnen nicht eingeschwemmt oder nur stark verändert eingeschwemmt werden dürfen. Damit ist der Zweck eines Schutzgebietes schon zum Ausdruck gebracht. Es muß eine „Mindestverweildauer“ der Abbaustoffe und Krankheitserreger garantiert werden, ehe sie den Brunnen erreichen dürfen. Dies ist wohl die Hauptfrage an den Hygieniker, der die Zeit so bemessen wird, daß die Schmutzstoffe abgebaut und die Krankheitserreger mindestens so geschwächt werden, daß sie keine Gefahr mehr für Mensch und Tier darstellen.

Abgesehen von Fällen der Uferfiltration wird die Zusickerung zu einem Brunnen zwei Phasen durchlaufen. Die erste Phase wird ein mehr lotrechtes Absickern zum Grundwasserspiegel, die zweite ein Zuströmen im Grundwasserstrom zum Brunnen hin sein.

Bezüglich der ersten Phase kann gesagt werden, daß der für den Abbau günstigste Fall jener ist, wo die Schmutzstoffe von der freien Oberfläche her durch die besonders aktive Humusschicht hindurch absickern müssen,

um das Grundwasser zu erreichen. Die Zeit, die das Abwasser benötigt, um zum Grundwasserspiegel zu gelangen (erste Phase) wollen wir mit  $t_L$  bezeichnen. Diese Zeit wäre vom Ingenieur zu bestimmen und dem Hygieniker mitzuteilen, der dann seinerseits durch eine Begutachtung des Bodens und dessen Abbaufähigkeit festlegen müßte, welche Zeit z. B. der ihm maßgebende Krankheitserreger oder Schmutzstoff dann noch im Grundwasser, d. h. in der mehr horizontalen Strömung zubringen muß, bis er in den Brunnen gelangen darf (zweite Phase). Diese zweite, vom Hygieniker anzugebende Horizontalströmungszeit  $t_H$  setzt den Ingenieur in die Lage, die Mindeststromfadenlänge  $s_H$  zu berechnen, denn es ist

$$s_H = v_w \cdot t_H$$

wobei das Ansteigen der Porenströmungsgeschwindigkeit  $v_w$  gegen den Brunnen zu mit zu berücksichtigen wäre.

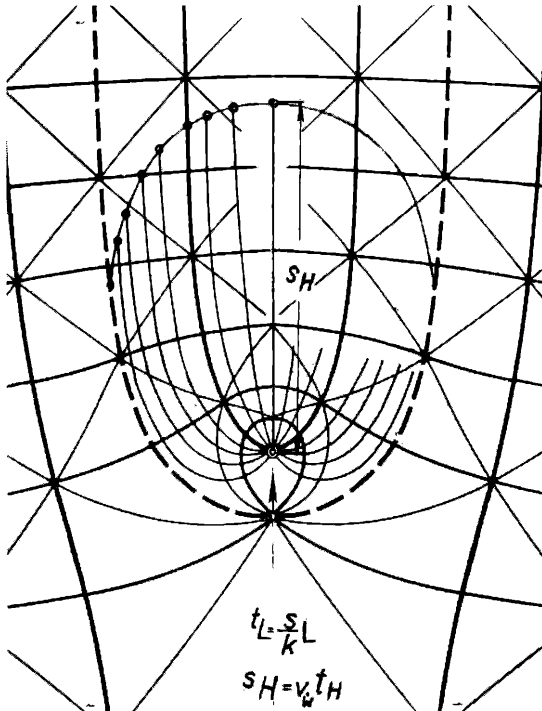


Fig. 4. Ermittlung des „Minimalschutzgebietes“ für einen Einzelbrunnen in einem Grundwasserstrom



Das „Minimalschutzgebiet“ erhalten wir nun, wenn wir  $s_H$  längs aller Stromlinien vom Brunnen aus abwickeln. Für den Brunnen im Grundwasserstrom ergibt sich so, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist, eine etwa elliptische Fläche und nur für den Brunnen im Grundwassersee entsteht ein Kreis mit dem Halbmesser  $s_H$ . Da dieses  $s_H$  für verschiedene Stoffe andere Werte besitzt, ist man nun auch in der Lage, *Sondervorschriften* zu erlassen. So wird man z. B. den Bau von Tankstellen oder sonstigen Betrieben, bei welchen die Gefahr der Versickerung von Ölen, Benzinen oder sonstigen nahezu nicht abbaufähigen Stoffen besteht, im „Einzugsstreifen“ verhindern, dadurch daß man mit Recht für  $s_H$  bezüglich dieser Stoffe nahezu *unendlich* setzt.

Umschließt das „engere Schutzgebiet“ knapp das jetzt dargelegte „Minimalschutzgebiet“ und ist dieses unter Beachtung der erläuterten Grundsätze ermittelt, dann kann es als unbedingt notwendig auch gegen jedermann mit der nötigen Schärfe vertreten werden.

Am Schluß der Ausführungen mag eine Bitte stehen. Eine Bitte an all jene, die mit der Abgrenzung von Grundwasserschutzgebieten befaßt sind. Als Arzt oder Hygieniker bestehen Sie in Hinkunft darauf, daß Ihnen der Ingenieur gemeinsam mit dem Geologen ein Bild über das Brunneinzugsgebiet vermittelt. Als Wasserbauingenieur behandeln Sie die Frage des Schutzgebietes nie nach einer Schablone. Verlangen Sie die Beibringung der hydrotechnischen Unterlagen und beachten Sie, daß ein Einzugsgebiet schon durch die Veränderung von  $v_w$  allein, z. B. durch einen Grundwasserrückstau, wesentlich verändert werden kann. Auch hier sind, wie überall in der Projektierung, die ungünstigsten Fälle besonders zu berücksichtigen. Nur so wird es möglich sein, endlich vom „Umkreis“ als Schutzgebiet abzukommen.

# 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: 1956

Band/Volume: [1956](#)

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

Artikel/Article: [Die Versickerung von Abwasser und die Abgrenzung von Wasserversorgungsschutzgebieten 142-158](#)