

Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen: Einfluss der Tiefe eines Grundwasserträgers auf den Sickerströmungsverlauf bei Stauspiegelschwankungen

Autor(en): **Zeller, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79 (1961)**

Heft 4

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-65456>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen

Hierzu Tafeln 9/10 DK 624.131.6

Einfluss der Tiefe eines Grundwasserträgers auf den Sickerströmungsverlauf bei Stauspiegelschwankungen

Von J. Zeller, dipl. Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH (VAWE), Zürich

In einem kürzlich in der SBZ [1] erschienenen Versuchsbericht wurde der zeitliche Verlauf der Sickerlinie in trapezförmigen Grundwasserträgern beschrieben (zweidimensionale Sickerströmung). Insbesondere wurde der Einfluss der Grundwasserträgerlänge bei unveränderter Lage der undurchlässigen Schicht untersucht. Da sich die Wiedergabe der Sickerlinie vorläufig einer für den Praktiker brauchbaren mathematischen Formulierung entzieht, wurden die Resultate graphisch in Form von Diagrammen wiedergegeben. Diese Arbeit wäre unvollständig, wenn nicht auch Anhaltspunkte über den Einfluss der *Mächtigkeit* des Grundwasserträgers auf den Sickerströmungsverlauf vorlägen. Wir wollen deshalb nachfolgend dieser Frage unsere weitere Aufmerksamkeit schenken.

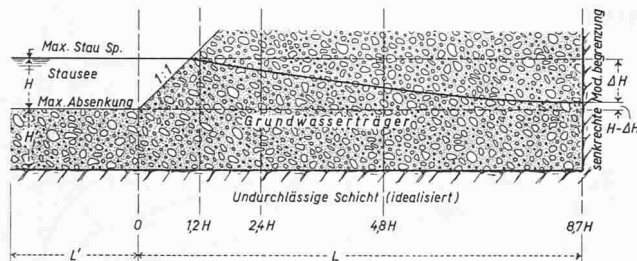


Bild 1. Schematische Darstellung des Grundwasserträgers: links Vorfluter mit variablem Wasserspiegel, unten «undurchlässige Schicht», rechts senkrechte undurchlässige Modellbegrenzung. Eingezeichnet sind die Schnitte $1,2H$; $2,4H$; $4,8H$ und $8,7H$, in denen der Grundwasserspiegel speziell untersucht wurde. Dargestellt ist ein Füllvorgang. $L = 8,7H$; $L' = 5,0H$.

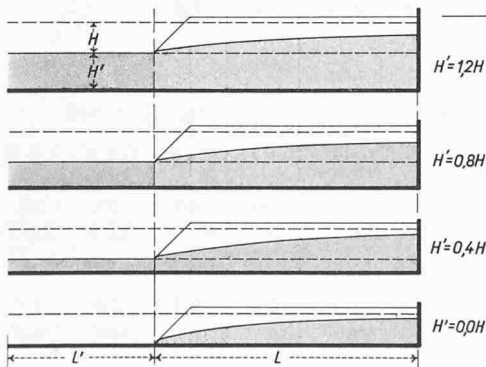


Bild 2. Untersuchte Grundwasserträger - Typen mit den Grundwasserträger-Höhen $H' = 0,0$; $0,4$; $0,8$; $1,2H$ und eingetragener Sickerlinie für $k/(n_s \cdot v) = 0,70$ und den Zeitpunkt $32T$.

Der untersuchte Grundwasserträger hat Trapezform mit verschieden tief liegender undurchlässiger Schicht, eine Böschungeneigung 1:1 und eine konstante Länge von $L = 8,7H^1$ (Bilder 1 und 2). Die Länge L' des Grundwasserträgers im Bereich des Staubeckens (Vorfluter) wurde so gross gewählt, dass durch diesen Teil des Grundwasserträgers keine spürbare Beeinflussung der Sickerströmung zu befürchten ist. Auf eine Wiedergabe der Versuchsanordnung und Durchfüh-

rung wollen wir verzichten, da diese schon in der früheren Arbeit [1] enthalten ist.

1. Lage der Sickerlinie beim Ein- und Ausströmen in Abhängigkeit der Zeit

Wie erwähnt, variierte man die Grundwasserträgereiefe H' entsprechend der in Bild 2 angedeuteten Form. Sie betrug $H' = 0,0H$, $0,4H$, $0,8H$ und $1,2H$. Leider war aus apparativen Gründen eine weitere Vergrößerung von H' nicht gut möglich, sodass man darauf verzichtete. Die Sickerlinien wurden wiederum in Abhängigkeit der Zeit für einen «stark und einen wenig durchlässigen Boden» wiedergegeben (Bilder 3 und 5). Der untere Teil des Grundwasserträgers wurde in den Abbildungen aus Platzmangel weggelassen. Die Lage der Sickerlinie in den einzelnen Vertikalschnitten findet sich in den Bildern 4 und 6. Diese Abbildungen sollen ermöglichen, bei gegebenen Bodenkennziffern und Geschwindigkeit der Spiegeländerung im Vorfluter die zeitliche Veränderung der Sickerlinie zu bestimmen. Wir verweisen auf das in [1] angegebene Beispiel. Die Diagramme beschränken sich auf $H' = 0,0H$ und $1,2H$. Zwischenlagen der undurchlässigen Schicht, d. h. $0,0H < H' < 1,2H$, wurden wohl untersucht, aber nur teilweise ausgewertet, da sich nichts grundsätzlich Neues ergab (Bild 7).

2. Einige Messergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus den Messungen lassen sich eine Vielzahl von Beobachtungen und Hinweise über den Mechanismus dieser nicht-stationären Sickerströmung herauslesen, die aber, weil entweder sehr speziell oder wenig eindeutig, vorläufig von geringer praktischer Bedeutung sind. Wir wollen deshalb auf deren Wiedergabe verzichten und nur solche Ergebnisse erwähnen, die für die Berechnung der *Böschungstabilität* und den *Wasserhaushalt* des Bodens von Interesse sind.

Die Versuche umfassen hinsichtlich Bodenkennziffern und Wasserspiegelvariation im Vorfluter den Bereich von

$$5 \cdot 10^{-2} < \frac{k}{n_s \cdot v} < 5 \cdot 10^{+2} \quad 2).$$

Die Ergebnisse, insbesondere die nachfolgend besprochenen, sind streng genommen nur gültig für die in Bild 2 wiedergegebenen Grundwasserträgertypen, können jedoch sinngemäss auch auf Grundwasserträger $L < 8,7H$ übertragen werden.

Der Einfluss von H' auf den zeitlichen Verlauf der Sickerströmung während des *Absenkens* kann für den *böschungsnahen* Bereich charakterisiert werden gemäss Tabelle 1.

Die in Tabelle 1 wiedergegebenen Grenzwerte für $k/(n_s \cdot v)$ lassen erkennen, dass bei einer Berechnung der *Böschungstabilität* (Erddämme usw.) der Einfluss von H' in den meisten Fällen berücksichtigt werden sollte. Dies trifft vor allem dann zu, wenn die zu untersuchende Gleitfläche nicht die Böschung allein, sondern auch Dammfuss und Untergrund einbezieht. Vernachlässigt man den Einfluss von H' , d. h. setzt man bei einer derartigen Berechnung $H' = 0$, so ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass mit $H' = 0$ der Ausströmvorgang immer mehr Zeit benötigt als für $H' \neq 0$. Dies hat zur Folge, dass bei einer derartigen Vereinfachung die Stabilitätsberechnung häufig zu ungünstigen Resultate liefert.

¹⁾ $H =$ Wassertiefe im Vorfluter.

²⁾ Diese Fussnote finden Sie auf Seite 48 (unter Tabelle 2).

Tabelle 1

k	$n_s \cdot v$	Einfluss von H' auf den zeitlichen Verlauf der Sickerströmung im Bereich der Böschung ist...
$> 10^{+2}$		vernachlässigbar
$< 10^{+2}$		nicht vernachlässigbar, insbesondere für Absenkzeiten $> 0,8 T$
10^{+2} bis 10^0		wirksam etwa für Werte $H' < 0,8 H$
$< 10^0$		wirksam etwa für Werte $H' < 1,0 H$
$<< 10^0$		wirksam etwa für Werte $H' \gg 1,0 H$, d. h. weit über den untersuchten Bereich hinaus

In einer früher erschienenen Untersuchung [2] über die Sickerströmung in dreieckförmigen Grundwasserträgern (z. B. wasserseitiger Stützkörper eines Erddammes mit zentralem Dichtungskern) beim Absenken des Vorfluters wurde festgestellt, dass für eine Stabilitätsbetrachtung:

$k/(n_s \cdot v) < 10^{-1}$ der Stützkörper praktisch mit Wasser gesättigt anzunehmen sei,
 $k/(n_s \cdot v) > 10^{+1}$ eine praktisch volle Absenkung im Stützkörper stattfinde (bzw. bei sehr flachen Böschungen wird $k/(n_s \cdot v) > 10^{+2}$)
 $10^{-1} < k/(n_s \cdot v) < 10^{+1}$ die Berechnung hinsichtlich Sickerströmung mit besonderer Sorgfalt durchzuführen sei («kritischer Bereich»).

Diese Feststellungen können dahingehend erweitert werden, dass bei trapezförmigen Grundwasserträgern mit L gleich einem Mehrfachen von H und $H' = 1,2$ obgenannter kritischer Bereich etwa die Werte annimmt:

$10^{-1} < k/(n_s \cdot v) < 10^{+2}$ wobei zu bemerken ist, dass in extremen Fällen (L sehr gross, Böschungsneigung klein) anstelle von 10^{+2} der Wert 10^{+3} treten kann.

Im Hinblick auf eine Verwertung der Messungen für Probleme des Grundwasserhaushaltes, betreffe dies nun das Wasserspeichervermögen eines Grundwasserträgers zum Zwecke der Kraftnutzung, Wasserversorgung usw., oder Probleme der Kulturtechnik, so wollen wir festhalten, dass grundsätzlich mit einer Zunahme der Wasseraustauschgeschwindigkeit zwischen Vorfluter und Grundwasserträger zu rechnen ist, je tiefer die undurchlässige Schicht liegt,

Tabelle 2

H'	$k/(n_s \cdot v) = 0,70$				$k/(n_s \cdot v) = 100$			
	0,0 H	0,4 H	0,8 H	1,2 H	0,0 H	0,4 H	0,8 H	1,2 H
Zeitbedarf ⁵⁾ für vollständige Entleerung	rd. 1000 T	rd. 500 T	rd. 370 T	rd. 280 T	rd. 11 T	rd. 6 T	rd. 3,5 T	rd. 2,6 T
Füllung	320 T	200 T	200 T	200 T	4 T	2,5 T	1,8 T	1,6 T
Erforderl. Mehrzeit für die Entleerung gegenüber der Füllung	3,1 mal	2,5 mal	1,8 mal	1,4 mal	2,8 mal	2,4 mal	1,9 mal	1,6 mal

2) $k/(n_s \cdot v)$ = Faktor;

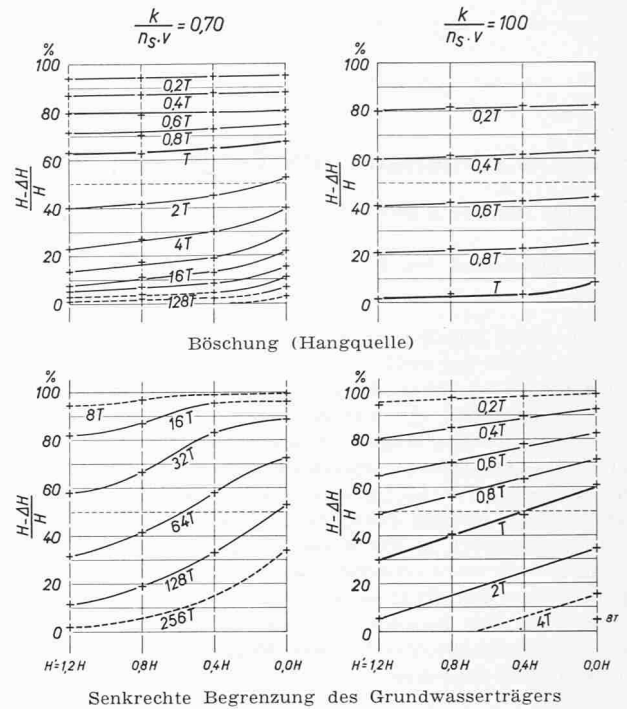
k = Durchlässigkeitskoeffizient in cm/s;

n_s = Porosität, die an der Sickerströmung beteiligt ist (als Absolutwert angegeben); n_s ist ein Mittelwert über die ganze Zeit des Absenk-, bzw. Füllvorganges. Die Abweichungen von diesem Mittelwert sind bei stark durchlässigen Materialien gering, wohingegen bei weniger durchlässigen ($k \leq 10^{-2}$ cm/s) infolge kapillarer Vorgänge (z. B. Kapillarsaum) n_s mit der Zeit stark variieren kann.

v = mittlere Geschwindigkeit der Wasserspiegeländerung im Vorfluter (Stauspiegeländerung) in cm/s.

T = Zeit, die benötigt wird, um den Wasserspiegel im Vorfluter auf die max. Höhe zu heben (Stauziel), bzw. vollständig zu senken. T wird im übrigen ganz allgemein als Bezugsgrösse verwendet.

ABSENKEN



FÜLLEN

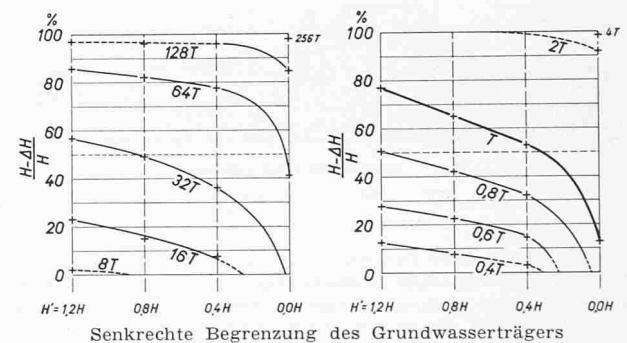


Bild 7. Darstellung der Grundwasserspiegellage (Sickerlinie) für die $k/(n_s \cdot v)$ -Werte 0,70 und 100,0 in den Messquerschnitten: «Böschung» und $8,7 H$ (= Modellbegrenzung) für die vier untersuchten Grundwasserträgertiefen: $H' = 0,0/0,4/0,8$ und $1,2 H$.

3) Die in der Tabelle wiedergegebenen $k/(n_s \cdot v)$ -Werte beruhen auf Schätzungen, die aus einer detaillierten Auswertung der Versuchsergebnisse hervorgegangen sind. Eine physikalische Bedeutung darf diesen Grenzwerten nicht beigemessen werden.

4) Für folgende Fälle kann dieser «kritische Bereich» exakt angegeben werden:

- $L = 8,7 H$; $H' = 0$; $L' \geq 5,0 H$; Böschungsneigung 1:1; Bereich: $10^{-1} < k/(n_s \cdot v) < 10^{+2}$.
- $L = 8,7 H$; $H' = 1,2 H$; $L' \geq 5,0 H$; Böschungsneigung 1:1; Bereich: $10^{-1} < k/(n_s \cdot v) < 2 \cdot 10^{+1}$.
- $L = 1,2 H$; $H' = 0$; $L' = 0$; Böschungsneigung 1:1; Bereich: $8 \cdot 10^{-2} < k/(n_s \cdot v) < 10^{+1}$.

5) Gemessen an der senkrechten Begrenzung des Grundwasserträgers und gültig für die in Bild 2 wiedergegebenen Grundwasserträgertypen ($L = 8,7 H$; $L' = 5,0 H$; Böschungsneigung 1:1).

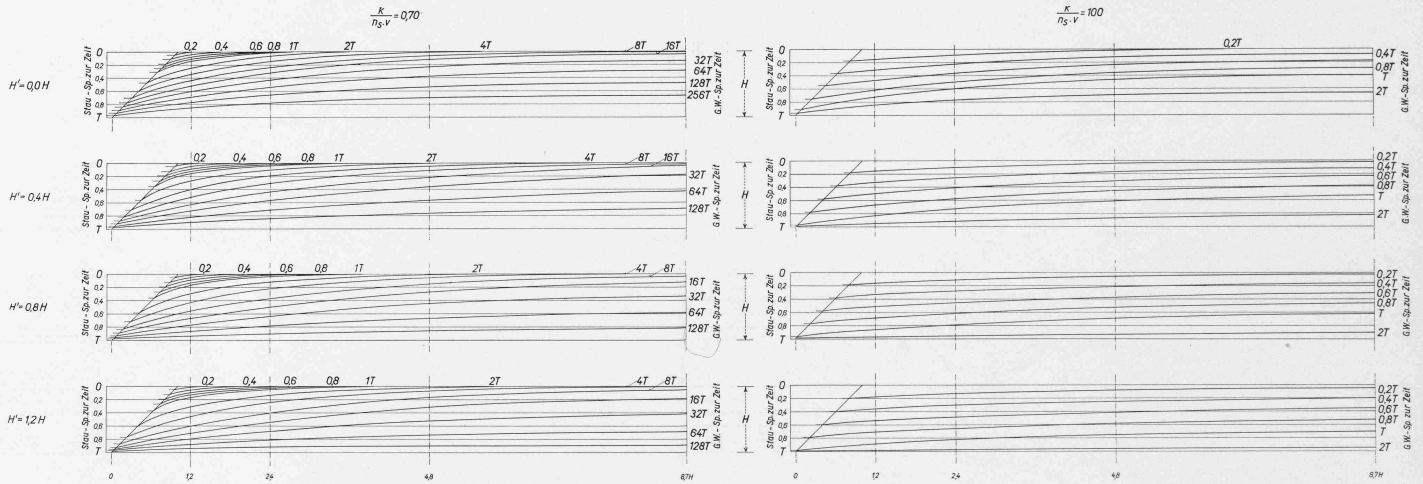


Bild 3. Absenkungsvorgang; Sickerlinien für verschieden tiefe Grundwasserträger ($H' = 0.0H; 0.4H; 0.8H; 1.2H$) mit der Zeit T als Parameter. Linke Reihe: schnelles Absenken, $k/(n_s \cdot v) = 0.70$. Rechte Reihe: langsames Absenken, $k/(n_s \cdot v) = 100.0$. Der Berührungspunkt der Sickerlinie mit der Böschung ist mit einem kurzen horizontalen Strich markiert ($L' = 5.0H; L = 8.7H$, Böschungseigung 1:1).

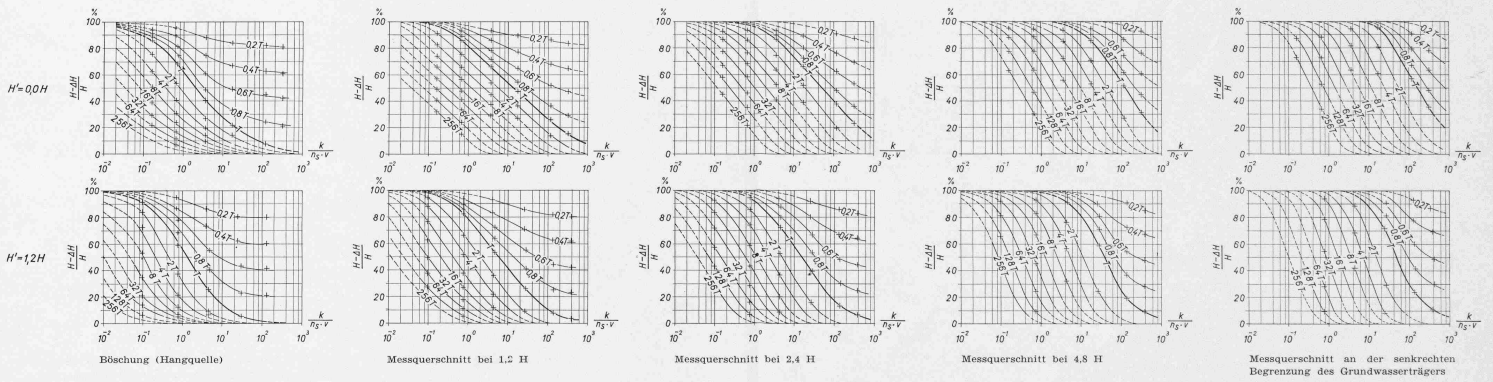


Bild 4. Absenkungsvorgang; Darstellung der Grundwasserspiegellage (Sickerlinie) für beliebige $k/(n_s \cdot v)$ -Werte in den Messquerschnitten (siehe senkrechte Reihen): «Böschung»: 1.2 H; 2.4 H; 4.8 H und 8.7 H (= Modellbegrenzung). Die berücksichtigten Grundwassertriertiefen sind $H' = 0.0H$ und 1.2 H. Die Kurven 0.2 bis 1.0 T nähern sich für Werte $k/(n_s \cdot v) > 10^3$ asymptotisch den entsprechenden Vorfluterwasserspiegeln.

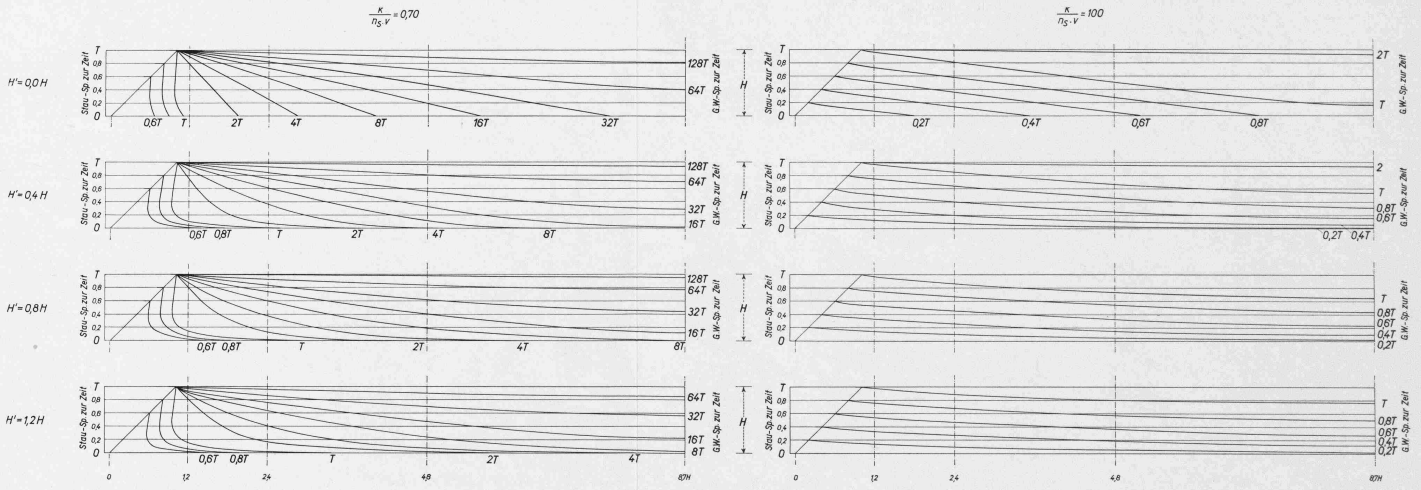


Bild 5. Füllvorgang: Sickerlinien für verschieden tiefe Grundwasserträger ($H' = 0.0 H; 0.4 H; 0.8 H; 1.2 H$) mit der Zeit T als Parameter. Linke Reihe: schnelles Füllen, $k/(n_s \cdot v) = 0.70$. Rechte Reihe: langsames Füllen, $k/(n_s \cdot v) = 100.0$.

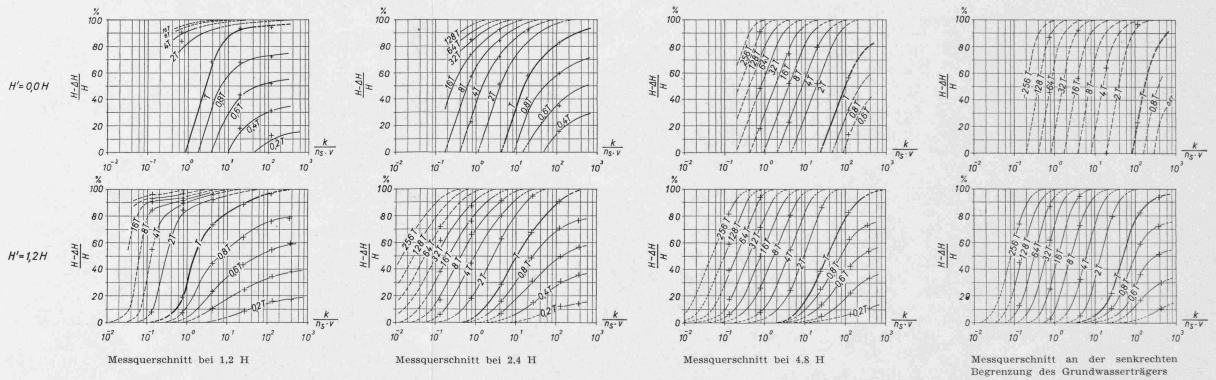


Bild 6. Füllvorgang: Darstellung der Grundwasserpiegellage (Sickerlinie) für beliebige $k/(n_s \cdot v)$ -Werte in den Messquerschnitten (siehe senkrechte Reihen): $1.2 H; 2.4 H; 4.8 H$ und $8.7 H$ (= Modellbegrenzung). Die berücksichtigten Grundwassertrögertiefen sind $H' = 0.0 H$ und $H' = 1.2 H$.

d. h. je grösser H' ist. Wir hatten in der unter [1] erwähnten Arbeit festgestellt, dass bei hochliegender und undurchlässiger Schicht der Einströmvorgang rascher erfolgt als der Ausströmvorgang. Dies trifft auch für $H' \neq 0$ noch zu, doch ist der Unterschied umso kleiner, je grösser H' ist. Tabelle 2 diene als Beispiel.

Je nach der Grösse von $k/(n_s v)$ und H' betragen diese Unterschiede zwischen der Entleerungs- und der Füllzeit das 1,4- bis mehr als 3fache, ja sie sind noch erheblich grösser bei kleinen Grundwasserträger-Längen L (z. B. $L = 1,2 H$, $H' = 0$, Unterschied 9fach; siehe [1]). Man kann daraus unschwer den Schluss ziehen, dass Wasserentnahmen aus Grundwasserträgern zur Deckung von Leistungsspitzen von Kraftwerks-Anlagen oder Wasserversorgungen usw. nur dann erfolversprechend sind, wenn die «undurchlässige Schicht» tief liegt, d. h. H' gross ist.

Im übrigen ist es mit Hilfe der wiedergegebenen Diagramme ohne Schwierigkeiten möglich, für einen beliebigen Zeitpunkt die Sickerlinie bei gegebenen Bodenkennziffern und Stauspiegeländerungen zu skizzieren und wenn nötig mit einem dazu passenden Strömungsnetz die Sickerströmungsverhältnisse zu überblicken.

Nachwort

Der Absenkvorgang für $H' = 1,2 H$ wurde im Auftrag der Motor Columbus A.G. für das Ausgleichsbecken Sufers der Motor Columbus A.G. für das Ausgleichsbecken Sufers untersucht, siehe *N. Schnitter*: Aus der Projektierung für die Kraftwerkgruppe Hinterrhein, Stabilität der Ufer des Stausees Sufers; SBZ 77. Jahrg., Heft 41, S. 675/679. Wir danken der Motor Columbus A.G. für ihre Einwilligung zur Publikation dieser Versuchsergebnisse.

Prof. *G. Schnitter*, Direktor der Versuchsanstalt, hat in verdankenswerter Weise die Untersuchungsarbeiten lebhaft unterstützt und die Veröffentlichung der Messergebnisse ermöglicht. Der Dank gilt auch Herrn *O. Pletscher*, der wiederum die Versuche mit viel Sorgfalt ausführte und auswertete.

Literaturangaben:

- [1] *J. Zeller* (1960): Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen; Einfluss der Länge des Grundwasserträgers auf den Sickerströmungsverlauf. SBZ, 78. Jahrg., H. 34, S. 557 bis 559, Tafeln 41 und 42.
- [2] *G. Schnitter* und *J. Zeller* (1957): Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen in Erddämmen. SBZ, 75 Jahrg., H. 52, S. 808 bis 814.

Projektaufträge für eine Überbauung am Salzweg in Zürich-Altstetten

DK 711.58

Von einem heute noch unbebauten, rund 41 500 m² umfassenden Areal, welches nordöstlich des projektierten Friedhofes Altstetten ziemlich steil nach Norden gegen die zukünftige Rautistrasse abfällt, gehört die Hälfte der Stadt Zürich (Bild 1), die andere Hälfte vier privaten Grundeigentümern. Um für eine zukünftige Ueberbauung des Areals eine Gesamtkonzeption zu erhalten, entschloss sich der Stadtrat von Zürich, Projektaufträge für ein Richtplanprojekt zu erteilen. Dieses sollte zugleich die Funktion eines Quartierplanes haben, also durch Landumlegung zusammenhängende Grundstücke für den Wohnungsbau schaffen und die Erschliessung entsprechend den Normalien der Stadt Zürich für die Anlage von Quartierstrassen und Privatwegen festlegen. Das neue Projekt sollte die Grenzen der verschiedenen Liegenschaften generell bestimmen, wobei die Form der Grundstücke dem Neubauprojekt angepasst werden durfte, deren Grösse jedoch womöglich von der ursprünglichen nicht abweichen sollte. Als Lage der Grundstücke war ein genereller Vorschlag einzuhalten, den die Grundeigentümer genehmigt hatten (Bild 2), wobei für das Grundstück Nr. 2 gemäss Bild 2 zwei verschiedene Lagen gewählt werden durften. Für jedes Grundstück wurde eine max. Ausnutzungsziffer von 0,5 (+ 5 %

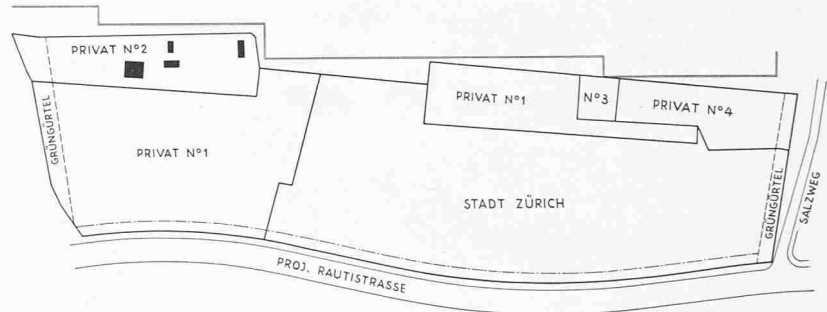


Bild 1. Heutige Grundbesitzverhältnisse des Ueberbauungsgeländes am Salzweg. Masstab 1:4000

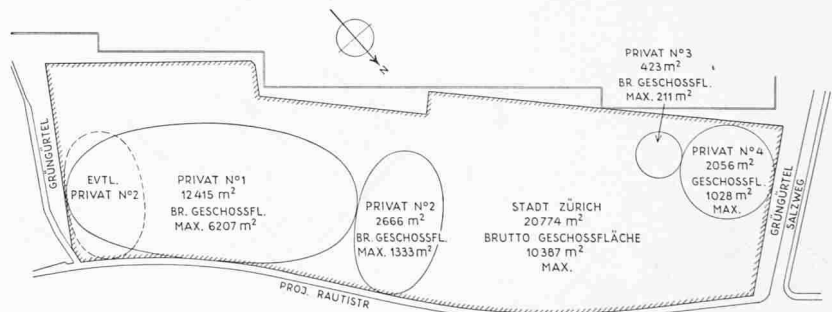


Bild 2. Genereller Vorschlag für die Neuverteilung der Grundstücke

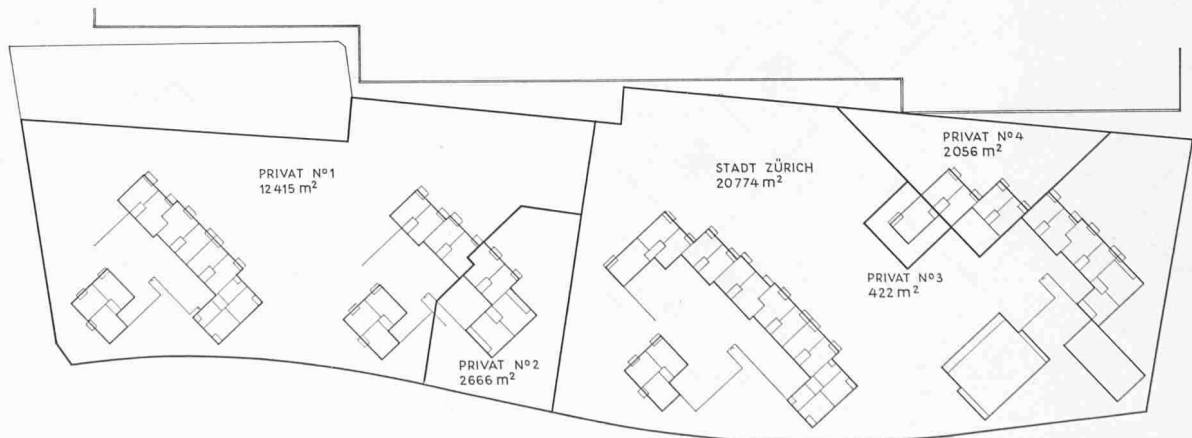


Bild 3. Grundstücke und Baublöcke gemäss Vorschlag Pauli & Volland. Masstab 1:2500