Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 79 (1961)

Heft: 4

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

Autor: Zeller, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-65456

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

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.

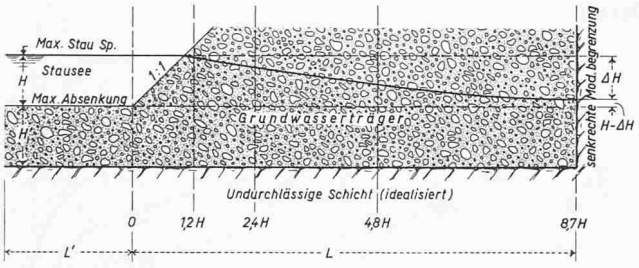


Bild 1. Schematische Darstellung des Grundwasserträgers: links Vorfluter mit variablem Wasserspiegel, unten «undurchlässige Schicht», rechts senkrechte undurchlässige Modellbegrenzung. Eingetragen sind die Schnitte 1,2 H; 2,4 H; 4,8 H und 8,7 H, in denen der Grundwasserspiegel speziell untersucht wurde.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

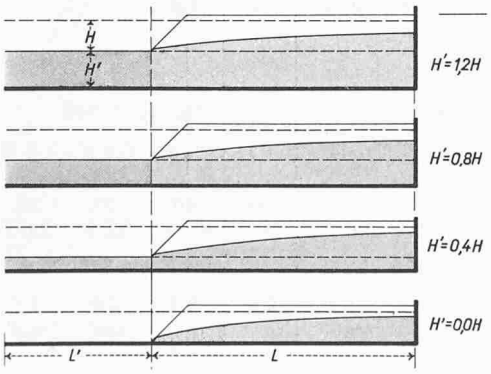


Bild 2. Untersuchte Grundwasserträger - Typen mit den Grundwasserträger-Höhen $H' = 0{,}0$; 0,4; 0,8; 1,2 H und eingetragener Sickerlinie für $k/(n_s \cdot v) = 0{,}70$ und den Zeitpunkt 32 T.

Der untersuchte Grundwasserträger hat Trapezform mit verschieden tief liegender undurchlässiger Schicht, eine Böschungsneigung 1:1 und eine konstante Länge von $L = 8{,}7\,H$[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 Durchführung 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 Grundwasserträgertiefe H' entsprechend der in Bild 2 angedeuteten Form. Sie betrug $H' = 0{,}0\,H$, 0,4 H, 0,8 H und 1,2 H. 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 $H' = 0{,}0\,H$ und 1,2 H. Zwischenlagen der undurchlässigen Schicht, d. h. $0{,}0\,H < H' < 1{,}2\,H$, 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 nichtstationären 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 *Böschungsstabilität* und den *Wasserhaushalt* des Bodens von Interesse sind.

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

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

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

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

Die in Tabelle 1 wiedergegebenen Grenzwerte für $k/(n_s\,v)$ lassen erkennen, dass bei einer Berechnung der *Böschungsstabilität* (Erddämme usw.) der Einfluss von H' in den meisten Fällen berücksicht 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 ungünstige Resultate liefert.

[1]) H = Wassertiefe im Vorfluter.

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

Tabelle 1

$\frac{k}{n_s \cdot v}$ [3]	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 $H' >> 1{,}0\ H$, 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 Sikkerströmung 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:

$10^{-1} < k/(n_s\, v) < 10^{+2}$ [4]

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 Wasseraustausch-Geschwindigkeit zwischen Vorfluter und Grundwasserträger zu rechnen ist, je tiefer die undurchlässige Schicht liegt,

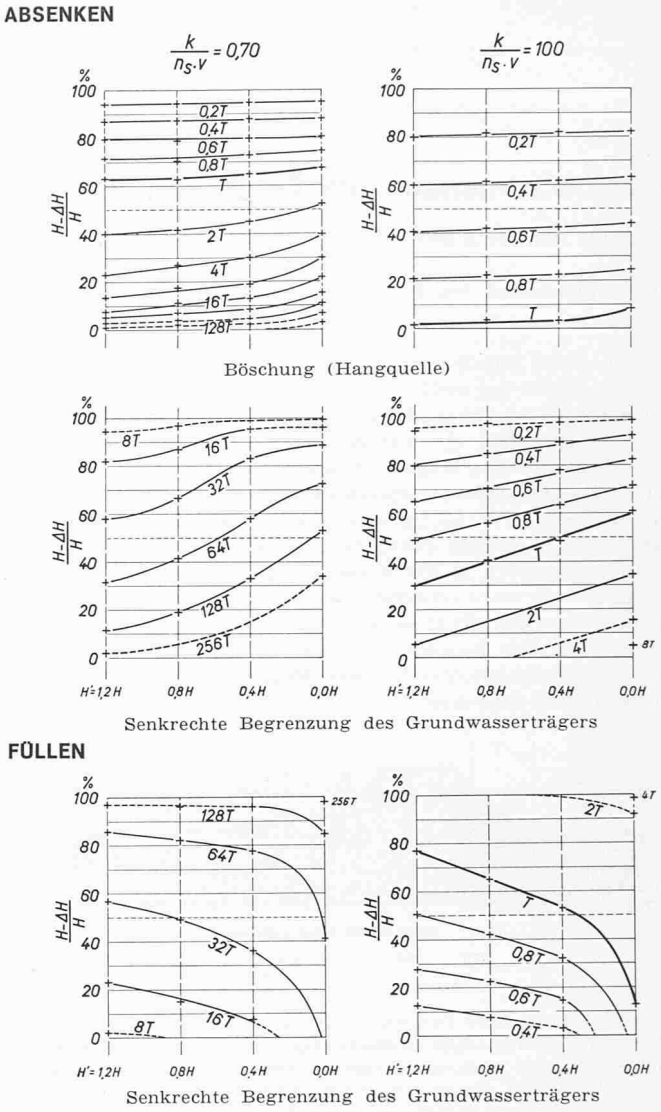


Bild 7. Darstellung der Grundwasserspiegellage (Sickerlinie) für die $k/(n_s \cdot v)$-Werte 0,70 und 100,0 in den Messquerschnitten: «Böschung» und 8,7 H (= Modellbegrenzung) für die vier untersuchten Grundwasserträgertiefen: $H' = 0{,}0/0{,}4/0{,}8$ und $1{,}2\ H$.

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 ($k \leqq 10^{-2}$ 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.

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

4) Für folgende Fälle kann dieser «kritische Bereich» exakt angegeben werden:
— $L = 8{,}7\ H$; $H' = 0$; $L' \geqq 5{,}0\ H$; Böschungsneigung 1:1; Bereich: $10^{-1} < k/(n_s \cdot v) < 10^{+2}$.
— $L = 8{,}7\ H$; $H' = 1{,}2\ H$; $L' \geqq 5{,}0\ H$; 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).

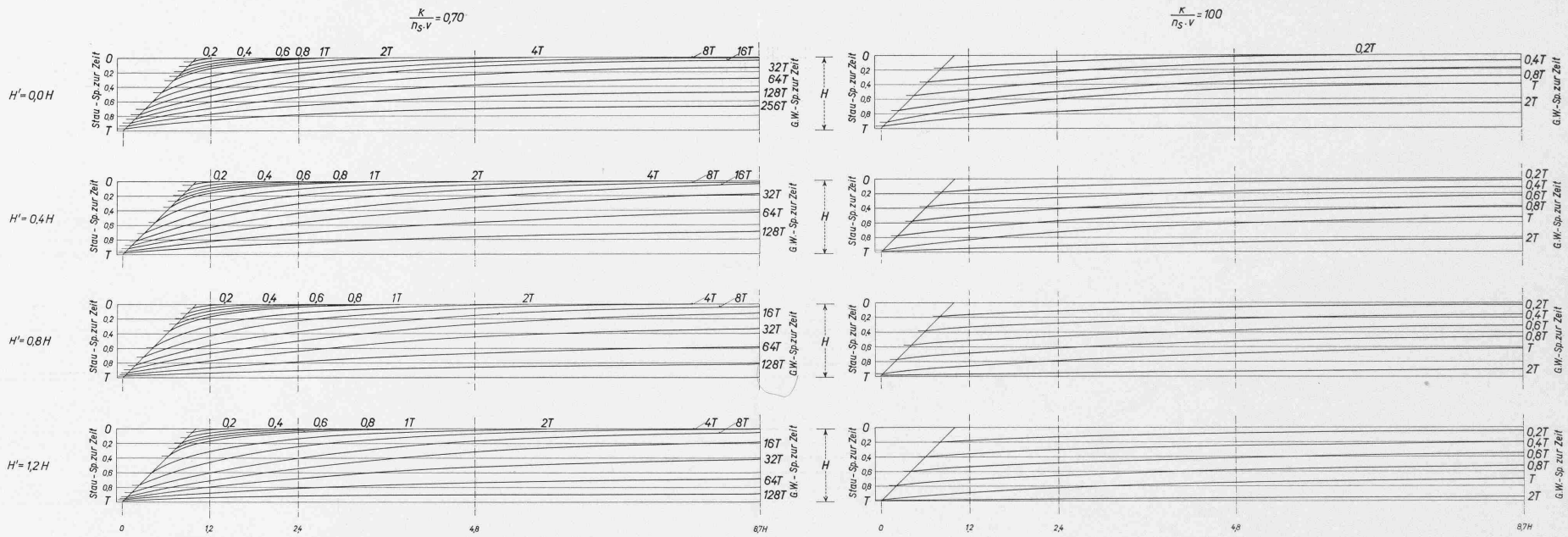
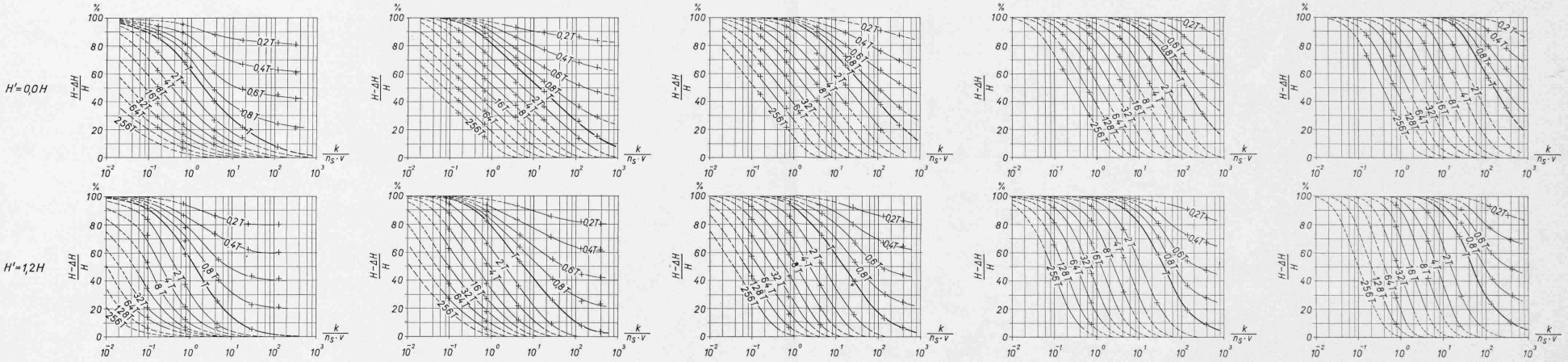


Bild 3. Absenkvorgang: Sickerlinien für verschieden tiefe Grundwasserträger ($H' = 0{,}0\,H$; $0{,}4\,H$; $0{,}8\,H$; $1{,}2\,H$) mit der Zeit T als Parameter. Linke Reihe: schnelles Absenken, $k/(n_s \cdot v) = 0{,}70$. Rechte Reihe: langsames Absenken, $k/(n_s \cdot v) = 100{,}0$. Der Berührungspunkt der Sickerlinie mit der Böschung ist mit einem kurzen horizontalen Strich markiert ($L' = 5{,}0\,H$; $L = 8{,}7\,H$, Böschungsneigung 1:1).



Böschung (Hangquelle) | Messquerschnitt bei 1,2 H | Messquerschnitt bei 2,4 H | Messquerschnitt bei 4,8 H | Messquerschnitt an der senkrechten Begrenzung des Grundwasserträgers

Bild 4. Absenkvorgang: 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 Grundwasserträgertiefen sind $H' = 0{,}0\,H$ 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.

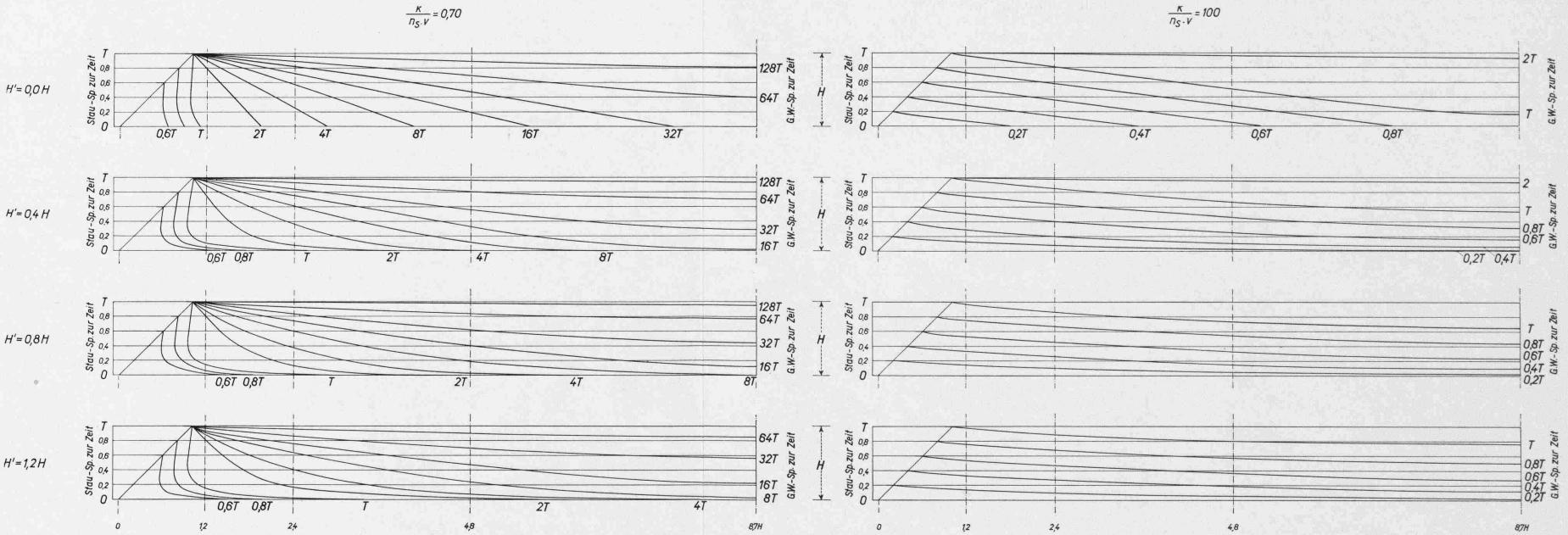
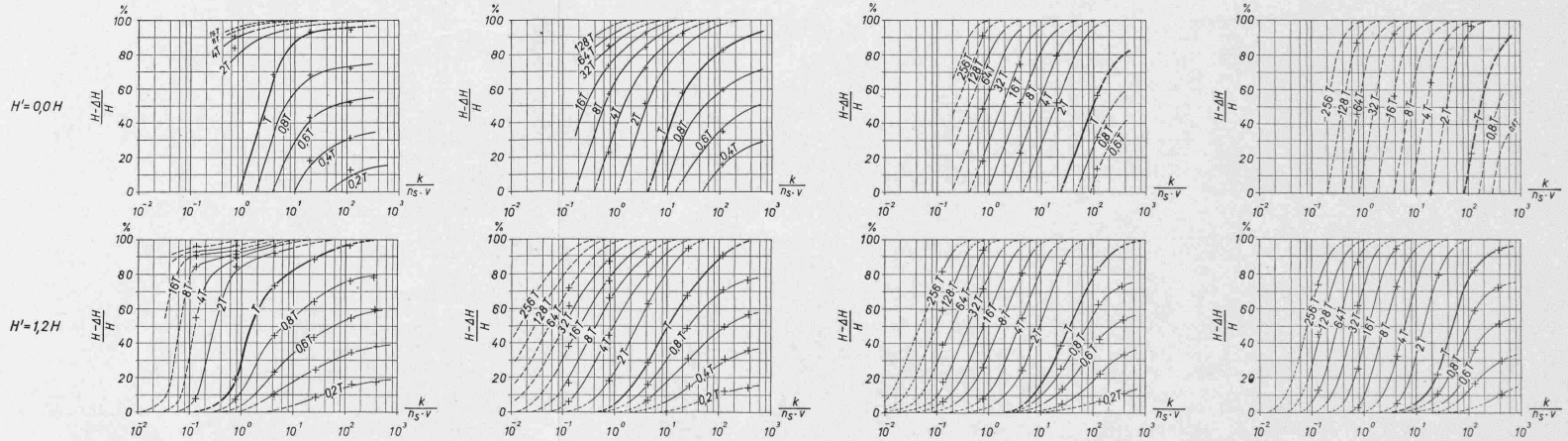


Bild 5. Füllvorgang: Sickerlinien für verschieden tiefe Grundwasserträger ($H' = 0{,}0\,H$; $0{,}4\,H$; $0{,}8\,H$; $1{,}2\,H$) mit der Zeit T als Parameter. Linke Reihe: schnelles Füllen, $k/(n_s \cdot v) = 0{,}70$. Rechte Reihe: langsames Füllen, $k/(n_s \cdot v) = 100{,}0$.



Messquerschnitt bei 1,2 H

Messquerschnitt bei 2,4 H

Messquerschnitt bei 4,8 H

Messquerschnitt an der senkrechten Begrenzung des Grundwasserträgers

Bild 6. Füllvorgang: Darstellung der Grundwasserspiegellage (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 Grundwasserträgertiefen 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 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 erfolgversprechend 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 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 Versuchsresultate.

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. Ausnützungsziffer von 0,5 (+ 5 %

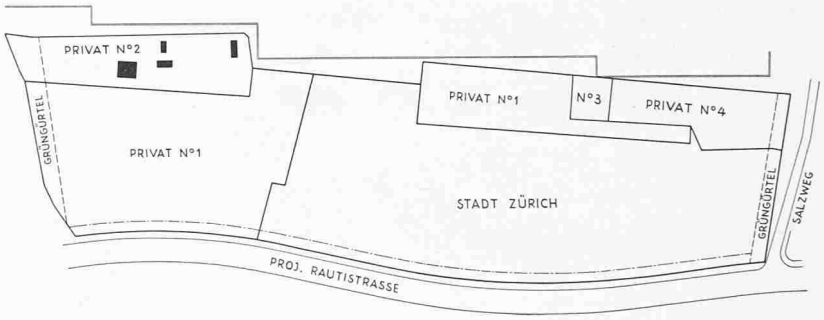


Bild 1. Heutige Grundbesitzverhältnisse des Ueberbauungsgeländes am Salzweg. Masstab 1:4000

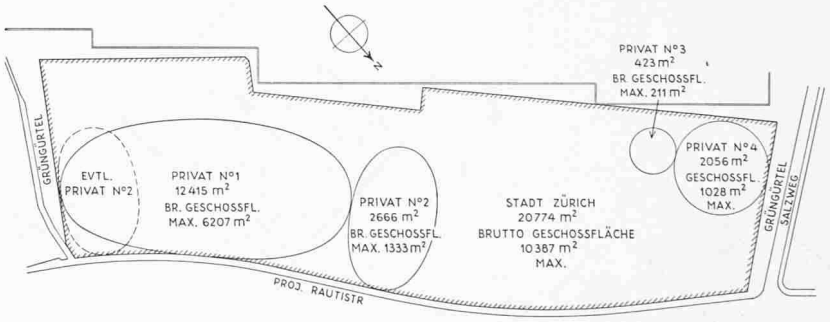


Bild 2. Genereller Vorschlag für die Neuverteilung der Grundstücke

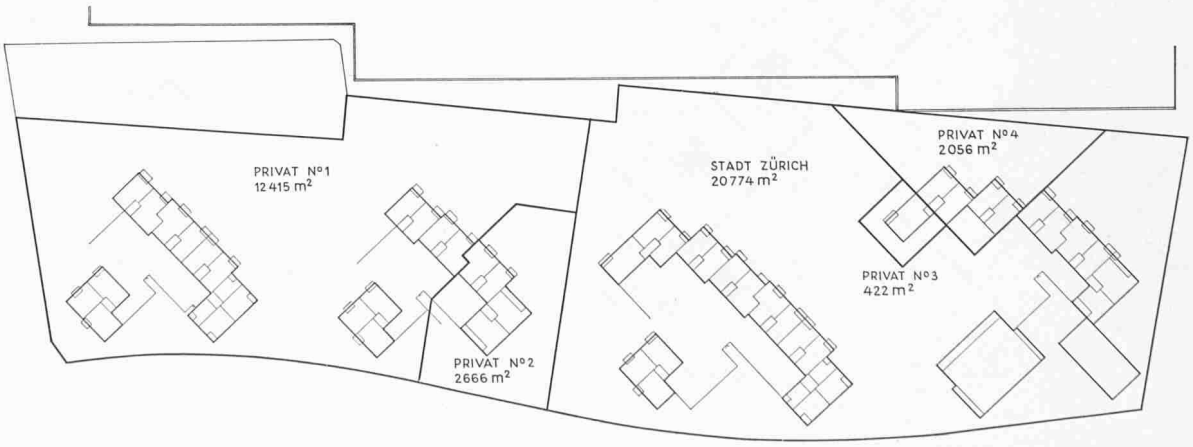


Bild 3. Grundstücke und Baublöcke gemäss Vorschlag Pauli & Volland. Masstab 1:2500