

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 63 (1970)
Heft: 2

Artikel: Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen
Autor: Jäckli, Heinrich
Kapitel: III: Physikalische Kriterien
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-163850>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

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

III. PHYSIKALISCHE KRITERIEN

Zu den physikalischen Kriterien, die zur Klassifizierung der Grundwasservorkommen dienen können, sind die Druckverhältnisse, die Druckschwankungen und die Beziehungen zur Vorflut zu zählen.

A. Druckverhältnisse

Die Klassifikation der Grundwasservorkommen nach ihren hydrostatischen Druckverhältnissen ist naheliegend und in den meisten Fällen ohne grosse Mühe durchzuführen.

1. Sickerwasser

(franz. eau d'infiltration, engl. infiltration water)

Von der Oberfläche gegen den Grundwasserspiegel mehr oder weniger senkrecht abwärts perkolierendes Wasser heisst «Sickerwasser». Ein Druckniveau fehlt. Eine Druckübertragung in ihm ist nicht möglich. Das Wasser zirkuliert in Poren, Klüften oder Karsthohlräumen, die teilweise mit Luft, teilweise mit Wasser gefüllt sind, also in der sog. «Bodenluftzone». Es bildet aber keinen zusammenhängenden Wasserkörper, der wesentlich grösser wäre als die Gesteinsporen oder die Breite der Gesteinsklüfte.

In Stollen und Tunnels erscheint das Sickerwasser als Tropfwasser oder als Stollenquellen im First, an der Brust oder an den Seitenwänden, nicht aber in der Sohle.

2. Schichtwasser

(franz. eau de ruissellement souterrain, engl. gravitational water)

Wo das Sickerwasser auf seinem vertikalen Weg nach unten auf eine weniger durchlässige, somit wasserstauende Schicht von schräger Lage auftrifft, folgt es deren Oberfläche als relativ dünne, unruhig geformte, nicht lückenlose, aber ungespannte Grundwasserschicht mit relativ grossem Gefälle und relativ grosser Fliessgeschwindigkeit. Wir nennen es Schichtwasser. Dessen Form und Gefälle werden durch Form und Gefälle der Sohlschicht bedingt; die Vorflut hat darauf keinen Einfluss. Wo solches Schichtwasser an die Oberfläche oder in einen Stollen oder eine Kaverne austritt, bildet es Schichtquellen.

3. Grundwasser s. str.

(franz. la nappe, engl. groundwater)

Das Grundwasser s. str. weist ein piezometrisches Niveau auf, das durch die Vorflut wesentlich beeinflusst wird, dessen Form relativ ausgeglichen und weitgehend unabhängig von der Form der Grundwassersohle ist, und dessen Gefälle darum meist bescheidener als jenes des benachbarten Schichtwassers ist. Es besitzt eine nennenswerte Mächtigkeit und eine relativ geringe Fliessgeschwindigkeit.

a) Ungespanntes Grundwasser (franz. nappe libre, engl. unconfined groundwater)

Liegt das piezometrische Niveau des Grundwassers noch im durchlässigen Grundwasserleiter und grenzt es nach oben an die Bodenluftzone, so wird das Grundwasser als «ungespannt» bezeichnet.

b) Gespanntes Grundwasser (franz. nappe captive, engl. confined groundwater)

Wo das piezometrische Niveau des Grundwassers (die sog. «Grundwasserdruckfläche») höher liegt als die Obergrenze eines bedeckten Grundwasserleiters (die sog. «Grundwasserdeckfläche»), wird von «gespanntem» Grundwasser gesprochen. Ein freier, ungespannter Grundwasserspiegel fehlt. Wir unterscheiden zwischen

- subartesisch gespanntem Grundwasser, wo das Druckniveau die Erdoberfläche nicht erreicht, und
- artesisch gespanntem Grundwasser, wo das Druckniveau des Grundwassers höher liegt als die Erdoberfläche. Wird in einem solchen Gebiet die undurchlässige Deckschicht durchstossen, z. B. mittels einer Bohrung oder eines Brunnens, so tritt das gespannte Grundwasser in diesem Loch ohne Pumpen an die Oberfläche und fließt dort als artesischer Brunnen aus.

Auf Figur 6 sind diese verschiedenen Druckzonen in ein und demselben Grundwasserleiter mit Synklinalstruktur, auf Figur 7 mit Isoklinalstruktur dargestellt. Auf Figur 7 wurden zudem noch die für Karstwassergebiete häufig verwendeten speziellen Bezeichnungen angegeben. Es handelt sich um folgende Zonen:

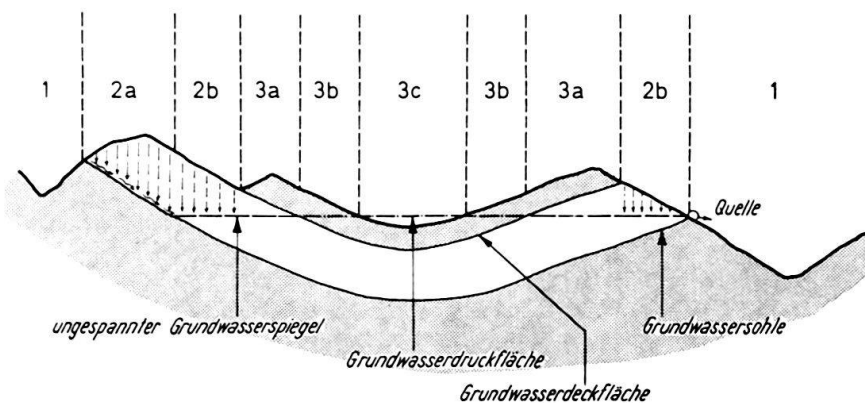


Fig. 6. Querschnitt durch einen Grundwasserleiter mit Synklinalstruktur.

- 1 Undurchlässiger Untergrund, Grundwasserstauer. Das Niederschlagswasser fließt oberirdisch ab, ohne zu versickern.
- 2 Unbedeckter Grundwasserleiter. Einzugsgebiet für Sickerwasser.
 - 2a Schichtwasser über Grundwasserstauer («seichter» Karst ohne Karstwasserspiegel).
 - 2b Unbedecktes Grundwasser s. str. (unbedeckter «seichter» Karst, über «tiefem» Karst mit ungespanntem Karstwasserspiegel).
- 3 Bedeckter Grundwasserleiter.
 - 3a Bedecktes ungespanntes Grundwasser (bedeckter «seichter» Karst, über «tiefem» Karst mit ungespanntem Karstwasserspiegel).
 - 3b Subartesisch gespanntes Grundwasser (subartesisch gespannter «tiefer» Karst).
 - 3c Artesisch gespanntes Grundwasser (artesisch gespannter «tiefer» Karst).

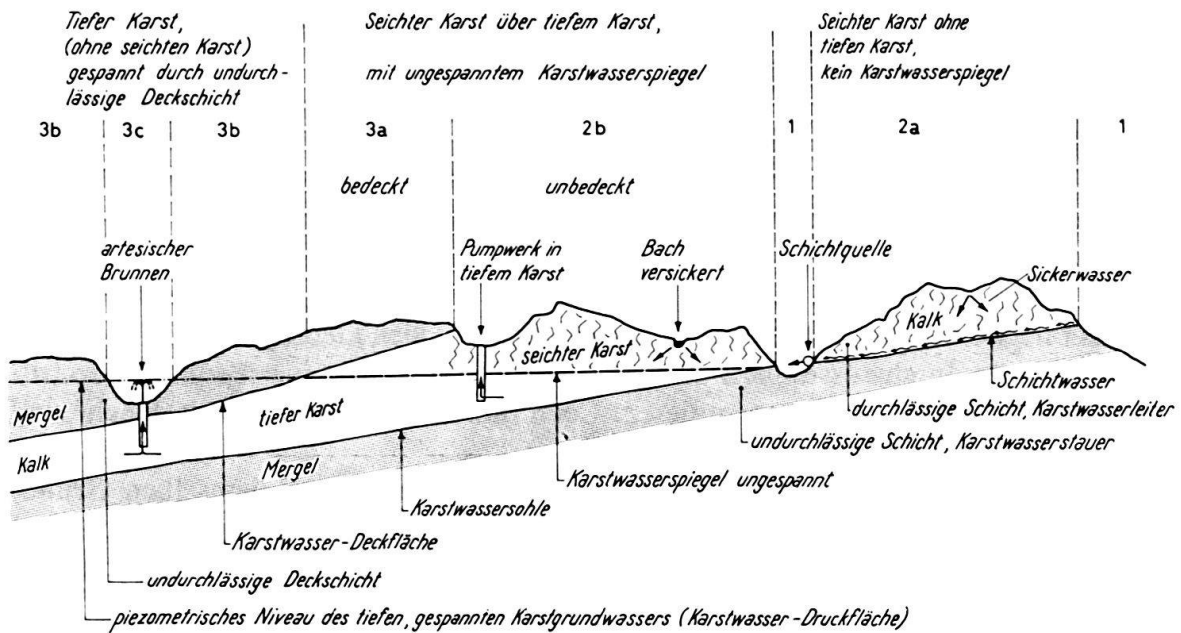


Fig. 7. Querschnitt durch einen Karstgrundwasserleiter mit Isoklinalstruktur.

4. Stockwerkbau

Bei zwei übereinanderliegenden Grundwasserstockwerken müssen bezüglich der Druckverhältnisse folgende vier Fälle unterschieden werden, wobei p_1 der Druck des höheren Stockwerkes G 1, p_2 jener des tieferen Stockwerkes G 2 bedeute (vgl. Fig. 8).

a) Isopiezometrischer, druckgleicher Fall $p_1 = p_2$

Beide Stockwerke besitzen denselben Druck, wie kommunizierende Röhren. Werden solche Verhältnisse in einer Bohrung angetroffen, so ist zu vermuten, dass in der Nähe eine Druckkommunikation vorhanden und folglich der Stockwerkbau unvollkommen ist.

b) Hyperpiezometrischer Fall $p_1 < p_2$

Das tiefere Stockwerk G 2 hat einen höheren Druck als das höhere Stockwerk G 1; das tiefere ist somit unbedingt immer gespannt! In solchen Fällen von Druckungleichheit kann durch aufsteigende Zirkulation das obere Stockwerk G 1 vom unteren Stockwerk G 2 eingespeist werden.

Als Beispiel seien etwa der oberkretazische «Continental intercalaire» unter der nördlichen Sahara genannt, der an Verwerfungen in den Deckschichten höhere Stockwerke speist, wodurch dort Oasen ermöglicht werden; oder der Muschelkalk unter Jura und Molasse des südlichen Faltenjuras, aus welchem die Mineralthermen von Baden und Schinznach-Bad gespeist werden.

c) Hypopiezometrischer Fall $p_1 > p_2$

Das tiefere Stockwerk G 2 hat einen geringeren Druck als das höhere G 1, obwohl es üblicherweise gespannt ist. Es kann somit durch absteigende Zirkulation vom oberen Stockwerk gespeist werden.

Als Beispiel kann die Molasse über verkarstem Malm des schweizerischen und süddeutschen Molassebeckens (LEMCKE) genannt werden.

- d) «Schwebendes» Grundwasser $p_1 \gg p_2$
 (franz. nappe perchée, engl. perched groundwater)

Liegt bei hypopiezometrischem Stockwerkbau zwischen höherem und tieferem Stockwerk noch eine Bodenluftzone, so dass das tiefere Stockwerk ungespannt ist, so bezeichnet man das höhere Stockwerk als «schwebend». Oft ist es von nur bescheidener Ausdehnung und geringer wasserwirtschaftlicher Bedeutung; dann wird das tiefere Stockwerk als «Hauptstockwerk» bezeichnet.

Ein instruktives Beispiel beschrieb R. V. CUSHMAN (1968) aus dem Karstgebiet von Kentucky.

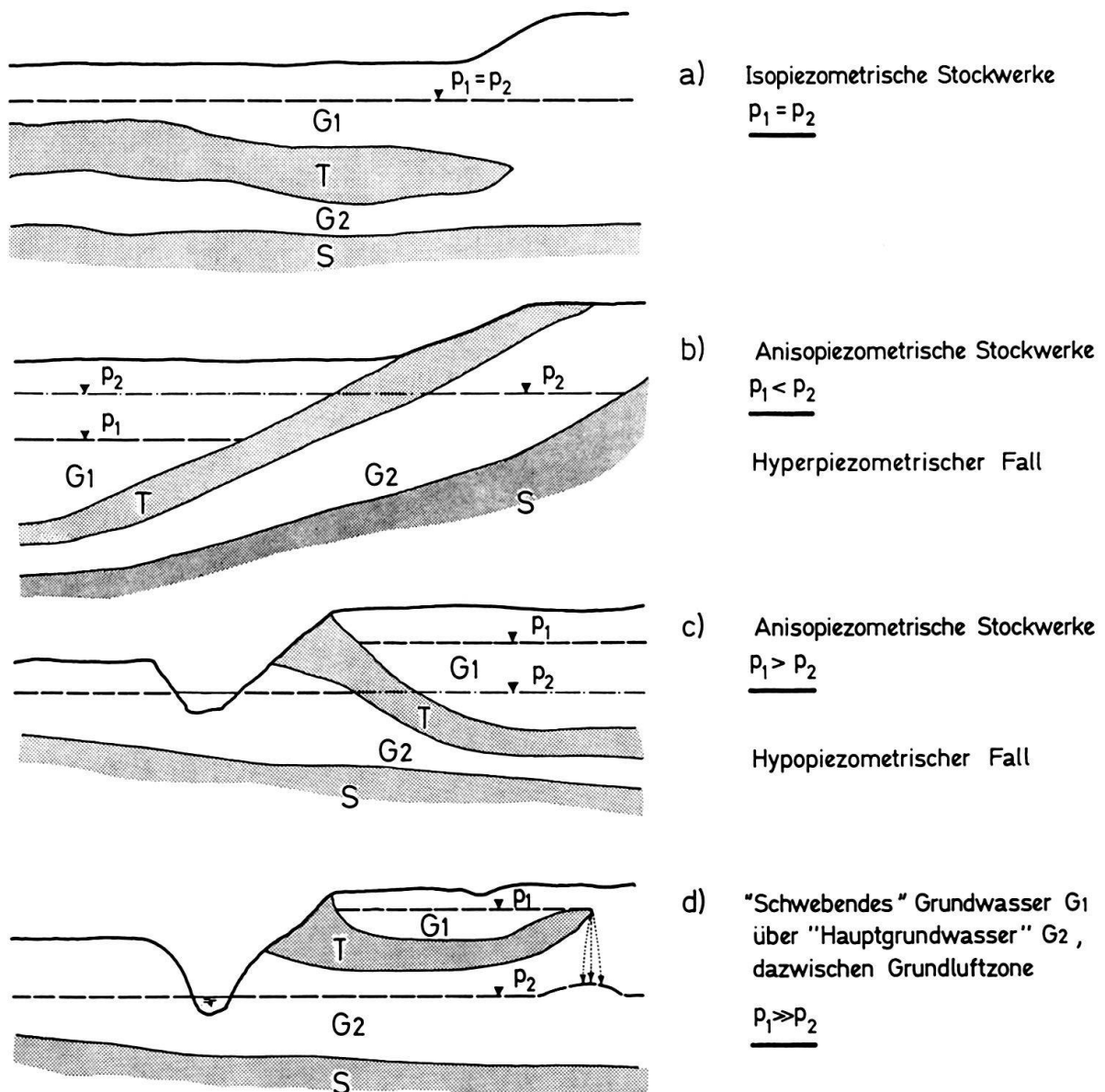


Fig. 8. Grundwasserstockwerke unter verschiedenen Druckverhältnissen. G1 = Oberes Grundwasserstockwerk mit Druckniveau p_1 ; G2 = Unteres Grundwasserstockwerk mit Druckniveau p_2 ; T = Undurchlässige Trennschicht; S = Undurchlässige Sohle unter G2.

Ein Stockwerkbau ist oft auch in der Mineralisation zu erkennen, indem üblicherweise das tiefere Stockwerk höher mineralisiert ist als das höhere, am ausgeprägtesten bei den hochmineralisierten Tiefenwässern. Ausnahmsweise kann das tiefere Stockwerk geringer mineralisiert sein, beispielsweise in einem karbonatfreien unter einem karbonathaltigen Grundwasserleiter, vorausgesetzt allerdings, dass es am Wasserkreislauf überhaupt nennenswert beteiligt ist.

B. Druckschwankungen

Das piezometrische Druckniveau eines Grundwasservorkommens ist kaum jemals konstant, sondern unterliegt charakteristischen Schwankungen, wobei folgende Schwankungstypen unterschieden werden können:

1. Periodische Schwankungen

Als Beispiele periodischer Schwankungen seien genannt:

- Halbtägige Gezeitenperioden in Grundwasservorkommen längs Meeresküsten mit Gezeiten.
- Tagesperioden in Grundwasservorkommen im Gebirge, verursacht durch tägliche Schnee- und Eisschmelze in den Sommermonaten.
- Jahresperioden als häufigste der periodischen Spiegelschwankungen, verursacht durch jahreszeitliche Niederschlagsschwankungen oder durch die Schneeschmelze.

2. Aperiodische Schwankungen

Aperiodische Schwankungen sind naturgemäss viel häufiger. Dazu gehören:

- Kurzfristige Schwankungen mit einer Dauer von Tagen bis Wochen, charakteristisch als Folge aperiodischer Niederschläge bei Grundwasservorkommen mit geringem Flurabstand, oder bei sehr enger Beziehung zu Oberflächengewässern mit aperiodischen Schwankungen in der Wasserführung.
- Mittelfristige Schwankungen mit einer Dauer von Monaten bis einigen Jahren, als Folge aperiodischer meteorologischer Schwankungen.
- Langfristige Schwankungen von der Dauer von Jahren bis Jahrzehnten, durch Klima- oder Vegetationsschwankungen, seltene Überflutungen oder andere seltene meteorologische Ereignisse ausgelöst.

3. Trend

Als Trend bezeichnen wir eine steigende oder fallende, jedenfalls aber gleichsinnige Veränderung des piezometrischen Niveaus während längerer Zeit, die in überblickbarer Zeit nicht rückläufig wird.

Sinkender Trend kann beispielsweise bedingt sein durch kontinuierliche Tieferlegung der Vorflut infolge Tiefenerosion oder durch eine Verringerung der Grundwasserneubildung infolge natürlicher Abdichtung infiltrierender Oberflächengewässer.

Steigender Trend kann verursacht werden durch Erhöhung der Vorflut infolge Aufschotterung.

Sinkender wie steigender Trend können nicht beliebig lang andauern. Wir empfinden oft als Trend, was tatsächlich nur eine gleichsinnige Flanke einer sehr langfristigen, aperiodischen Schwankung ist oder eine einmalige, endliche, zeitlich begrenzte Niveauveränderung darstellt. Unter natürlichen, vom Menschen nicht beeinflussten Verhältnissen ist deshalb der Begriff Trend nur mit Vorsicht anzuwenden.

4. Überlagerungen

In praktisch allen Fällen überlagern sich Schwankungen verschiedenster Art und Ursache, periodische und aperiodische, zu vergleichen etwa mit den Schwankungen des Meeresspiegels an der Küste.

Eine eingehende Analyse der Ganglinien von Grundwasserspiegeln oder von Quellenerträgen kann oft wichtige Zusammenhänge mit dem Einzugsgebiet und mit Ort und Art der Neubildung aufdecken und damit eine einwandfreie Klassifikation des Grundwasservorkommens erleichtern.

Auf Figur 9 sind für das Jahr 1967 je drei Beispiele von Grundwasserganglinien und von Ertragskurven von Moränenquellen aus Zürich dargestellt; die Messungen wurden uns freundlicherweise vom kantonalen Amt für Gewässerschutz bzw. von der Wasserversorgung Zürich zur Verfügung gestellt.

Die Ganglinien von P7 und P «Fürer» zeigen einen zur Limmat analogen Verlauf, wie das für ein Infiltrationsgrundwasser charakteristisch ist; das stärkere Absinken im Spätherbst ist auf intensive Nutzung in den benachbarten Fassungen zurückzuführen. Die Schwankungen im nur durch Niederschläge gespeisten Grundwasser im Beobachtungsrohr 503, abseits der Flussinfiltration, am Hangfuss des Üetlibergs in der Allmend Brunau, zeigen eine deutliche Abhängigkeit zu den Niederschlägen im Frühling und Herbst; die Wirkung der Sommerniederschläge wird durch die Verdunstung weitgehend aufgehoben; die zeitliche Verzögerung beträgt rund 2 Wochen.

Die Ertragskurven der drei Moränenquellen am Üetliberg zeigen in ähnlicher Weise den Einfluss der Niederschläge, wobei wegen der bloss einmonatlichen Messungen die Kurven etwas «eckig» wirken. Die Quelle «Sack» weist starke und kurzfristige, die tiefgründigere Quelle «Hueb J» sehr ausgeglichene Schwankungen auf.

Charakteristisch für 1967 ist die langfristig fallende Tendenz der Quellenerträge.

C. Beziehungen zur Vorflut

Bezüglich des Verhältnisses zur Vorflut lassen sich folgende drei Grundwassertypen unterscheiden (siehe Fig. 10):

1. Indirekte Verbindung

Die Grundwassersohle liegt oberhalb der Vorflut. Die Verbindung zwischen Grundwasser und Vorflut ist eine indirekte, da sich dazwischen ein Abschnitt undurchlässigen Untergrundes, ein Grundwasserstauer einschaltet. Eine Druckübertragung von der Vorflut zum Grundwasser ist nicht möglich, ebensowenig ein Rückstau von der Vorflut ins Grundwasser.

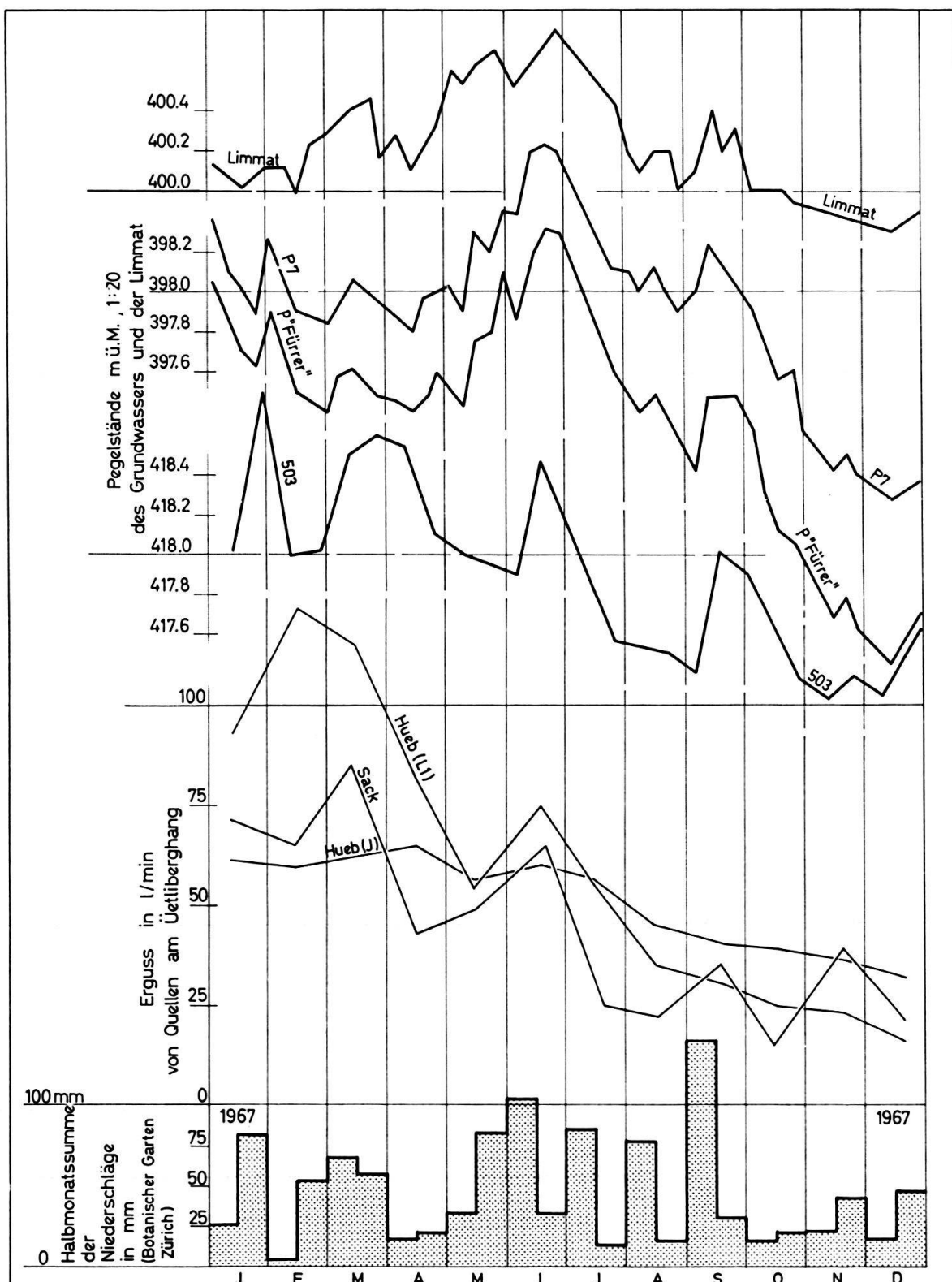


Fig. 9. Ganglinien 1967. Von oben nach unten: Pegelstände der Limmat beim Escher-Wyss-Platz Zürich. P7: Piezometerrohr im Grundwasser beim Escher-Wyss-Platz. P «Fürer»: Piezometerrohr im Geschäftshaus Rud. Fürer Söhne AG, Hardturmstrasse 76. 503: Piezometerrohr in der Allmend Brunau, Hangfuss Üetliberg. Hueb L1, Hueb J und Sack: Erträge von Moränenquellen der Wasserversorgung Zürich am Üetliberg. Daten WVZ. Halbmonatssummen der Niederschläge beim Botanischen Garten Zürich. Daten MZA.

2. Direkte Verbindung

Die Grundwassersohle liegt unter, das piezometrische Niveau des Grundwassers jedoch über der Vorflut. Die Verbindung ist eine direkte. Das Grundwasservorkommen berührt direkt den Vorfluter, so dass vom Vorfluter aus eine Druckübertragung und ein Rückstau auf das Grundwasser möglich ist. Spiegelschwankungen der Vorflut sind im Grundwasser zu verspüren.

3. Bedeckte Verbindung

Grundwassersohle und Grundwasserdeckfläche liegen tiefer als die Vorflut. Das Grundwasser ist gespannt. Die Verbindung mit der Vorflut liegt weit entfernt, beispielsweise wenn für ein Grundwasservorkommen im Binnenland das Meer die Vorflut darstellt. Die Zirkulation des Grundwassers erfolgt meist sehr langsam; man spricht von «Tiefengrundwasser». Die auf Figur 10 dargestellte Skizze vereinfacht die Verhältnisse sehr stark und will lediglich als Schema verstanden sein. Viel kompliziertere Zusammenhänge zwischen «Tiefenwasser» und Vorflut sind die Regel.

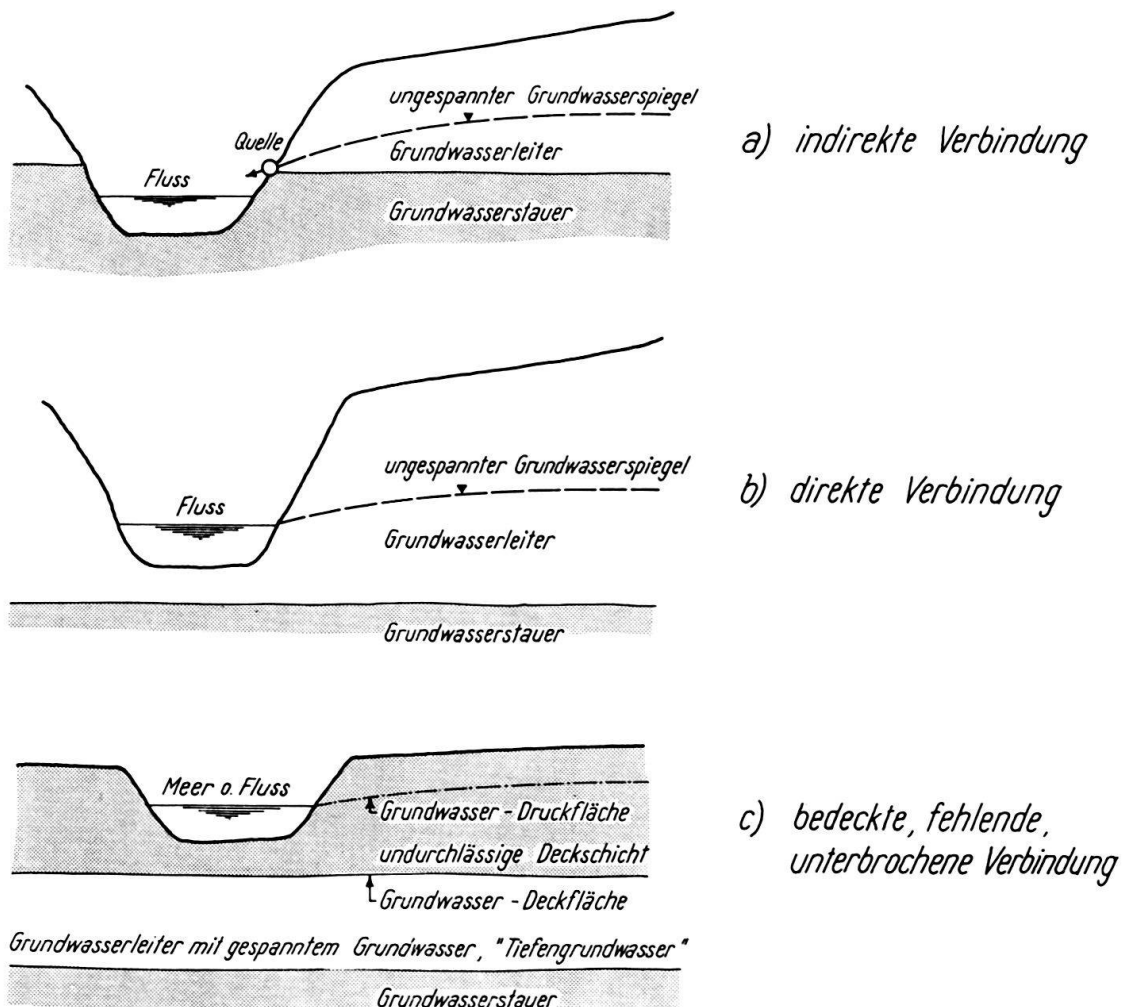


Fig. 10. Beziehungen des Grundwassers zur Vorflut. a) Indirekte Verbindung; die Grundwassersohle liegt oberhalb der Vorflut. b) Direkte Verbindung; die Grundwassersohle liegt unterhalb, das piezometrische Niveau jedoch oberhalb des Spiegels der Vorflut. c) Bedeckte Verbindung; die Grundwassersohle wie auch die Grundwasserdeckfläche liegen tiefer als die Vorflut.