

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 39 (1972-1973)
Heft: 96

Artikel: Theorie und Praxis der Grundwasseranreicherung und
Untergrundspeicherung von Trinkwasser in der Schweiz
Autor: Trüeb, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-198501>

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: 06.10.2024

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

Theorie und Praxis der Grundwasseranreicherung und Untergrundspeicherung von Trinkwasser in der Schweiz

mit 7 Abbildungen und 5 Tabellen

VON ERNST TRÜEB*)

Überblick über die Grundwassernutzung in der Schweiz

In der Schweiz, dem Wasserschloss Europas, sollte die Gewinnung von Trinkwasser keine besonderen Schwierigkeiten bereiten. Wenn dem nicht so ist, sind dafür hauptsächlich die folgenden Ursachen massgeblich:

- die zeitlich und örtlich ungleiche Verteilung der Niederschläge
- die Ballung von Wohnbevölkerung und Industrie im schweizerischen Mittelland
- die intensive Nutzung des Alpenraumes als Erholungsgebiet
- ungünstige hydrogeologische Verhältnisse, vor allem im Jura und in gewissen Bereichen der Alpen.

Im Jahresmittel fallen in der Schweiz 1470 mm Niederschlag. Extremwerten von 4140 mm/a in den Alpen stehen Minimalwerte von 570 mm/a im Wallis gegenüber. Bei einer Gesamtfläche von 41 000 km² ergibt sich ein Wasserdargebot von rund 61 Mia m³ pro Jahr. Davon gehen nach den Erhebungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft allerdings etwa 30% infolge Verdunstung verloren, so dass ein nutzbares Wasserdargebot von rund 42 Mia m³ pro Jahr verbleibt.

Dem gegenüber variiert die Jahresniederschlagshöhe im schweizerischen Mittelland etwa zwischen 900 und 1100 mm/a, wobei in Trockenjahren Minimalwerte auftreten können, die in Extremfällen nur knapp 60% der Jahresmittelwerte erreichen. Auch ist zu beachten, dass die Verdunstung gebietsweise beträchtlich über 30% des Jahresniederschlages liegen kann. In Grundwassergebieten mit mächtiger Lössüberdeckung kann sie 800–900 mm/a betragen. Aber auch in ausgedehnten Schotterebenen mit Trockentiefen von 30–50 m, welche für die Neubildung von echtem Grundwasser von besonderer Bedeutung wären, kann die Jahresverdunstung bis etwa 700 mm erreichen.

Hinzu kommt eine beträchtliche Schmälerung der natürlichen Grundwasserneubildung durch zivilisatorische Eingriffe. Im Vordergrund stehen dabei die fortschreitende Ausdehnung urbaner Agglomerationen und die Begradigung von Bach- und Flussläufen sowie deren Abtiefung zwecks Beschaffung der für Regenauslässe erforderlichen Vorflut. Indessen hält es meist schwer, die verschiedenen Einflüsse getrennt zu erfassen.

*) Ordentlicher Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich

Auch kann der oft gut gemeinte Vorschlag, den bei Starkregen auf Dachflächen, Strassen und Vorplätzen anfallenden Niederschlag über dezentralisierte Anlagen zur Versickerung zu bringen, vor allem im Hinblick auf gütewirtschaftliche Aspekte nicht unwidersprochen hingenommen werden. Wenn man weiss, in welchem Masse Dachflächen, Vorplätze und Strassen durch Verbrennungsrückstände, Bleiverbindungen, Abrieb von Pneus und Fahrbahndecken, Tropföl u. dgl. verunreinigt sind, könnte die Versickerung solcher Abläufe nur nach eingehender Vorreinigung toleriert werden. Dafür sind dezentralisierte Anlagen jedoch nicht geeignet. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass bei der relativ geringen Leistungsfähigkeit von Sickeranlagen verhältnismässig grosse Stapelbecken erforderlich würden, wenn der bei Starkregen anfallende Niederschlag vollständig versickert werden sollte.

Am Beispiel des Winterthurer Beckens des Eulachgrundwasserstromes kann gezeigt werden, dass der Grundwasserspiegel im Zeitraum von 1936–1951 im Jahresmittel um 18–20 cm abgesunken ist. Neben den relativ geringen Niederschlagssummen der vierziger Jahre sind dafür hauptsächlich die Begradigung von Eulach und Mattenbach und ihre Führung in weitgehend dichten Gerinnen sowie die Überbauung früher für die Grundwasserneubildung wirksamer Flächen verantwortlich zu machen. Mit der fortschreitenden Verstädterung konnte es nicht mehr hingenommen werden, dass im Turnus von etwa fünf Jahren bei aussergewöhnlichem Hochwasser ein Gebiet mit einer Arealgrösse von nahezu einem Quadratkilometer überflutet wurde. Die Folge dieser Massnahmen wird mit der Abbildung 1 veranschaulicht.

In Kenntnis dieser Erfahrung wurde deshalb bei der zur Vorflutbeschaffung für Regenauslässe notwendigen Eintiefung des Riedbaches versucht, die damit verbundene Absenkung des Grundwasserspiegels zu kompensieren. Dazu wurde unter bzw. neben dem Korrektionsgerinne eine Sammelleitung verlegt und das anfallende Grundwasser zusammen mit dem Abfluss aus einem grösseren Drainagegebiet unterstromwärts in einem Gebiet mit geologisch bedingt tiefliegendem Grundwasserspiegel dem Grundwasserleiter über einen Schluckbrunnen wiederum zugeführt. Damit konnten im Mittel der letzten Jahre immerhin rund 1,2 Mio m³/a zur Versickerung gebracht werden. Indessen hat sich kürzlich gezeigt, dass auch dieses Verfahren nicht ganz ungefährlich ist, als bei stark ansteigendem Grundwasserspiegel Ölsuren im Schluckbrunnen festgestellt werden mussten. Die Ölführung war mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Flutung der Umgebung eines 16 Jahre zurückliegenden Ölunfalles durch intensive Herbstniederschläge zurückzuführen, bei dem von den 120 000 l Heizöl nur etwa 90 000 l zurückgewonnen werden konnten.

Die Bedeutung des Eulachgrundwasserstromes für die Eigenversorgung der Winterthurer Industrie wird mit den folgenden Angaben verdeutlicht. Gesamthaft wurden Nutzungsrechte von 36 595 l/min erteilt. Allerdings liegen die tatsächlichen Entnahmen beträchtlich tiefer, da die konzidierten Entnahmemengen hauptsächlich infolge der unterschiedlichen Verbrauchsstruktur der Industrie nicht voll ausgenützt werden können. Im Mittel der letzten Jahre betrug die entnommene Wassermenge 3 820 000 m³/a.

Vergegenwärtigt man sich der Tatsache, wie sehr die Bildung von echtem Grundwasser, d. h. von solchem, das durch direkte Versickerung des Niederschlages gebildet wird, in der Schweiz begrenzt ist, so wird offensichtlich, dass die Gewinnung grösserer Grundwassermengen in hohem Masse auf die natürliche Speisung des Grundwassers durch die Infiltration von Flusswasser angewiesen ist. Dies ist glücklicherweise vielerorts der Fall. Abbildung 2 vermittelt einen Überblick über die leistungsfähigeren Grundwasservorkommen der Schweiz.

Damit ist allerdings noch keine Aussage über die zur Verfügung stehenden Grundwassermengen möglich. Aufgrund der bei den kantonalen Wasserwirtschaftsbehörden

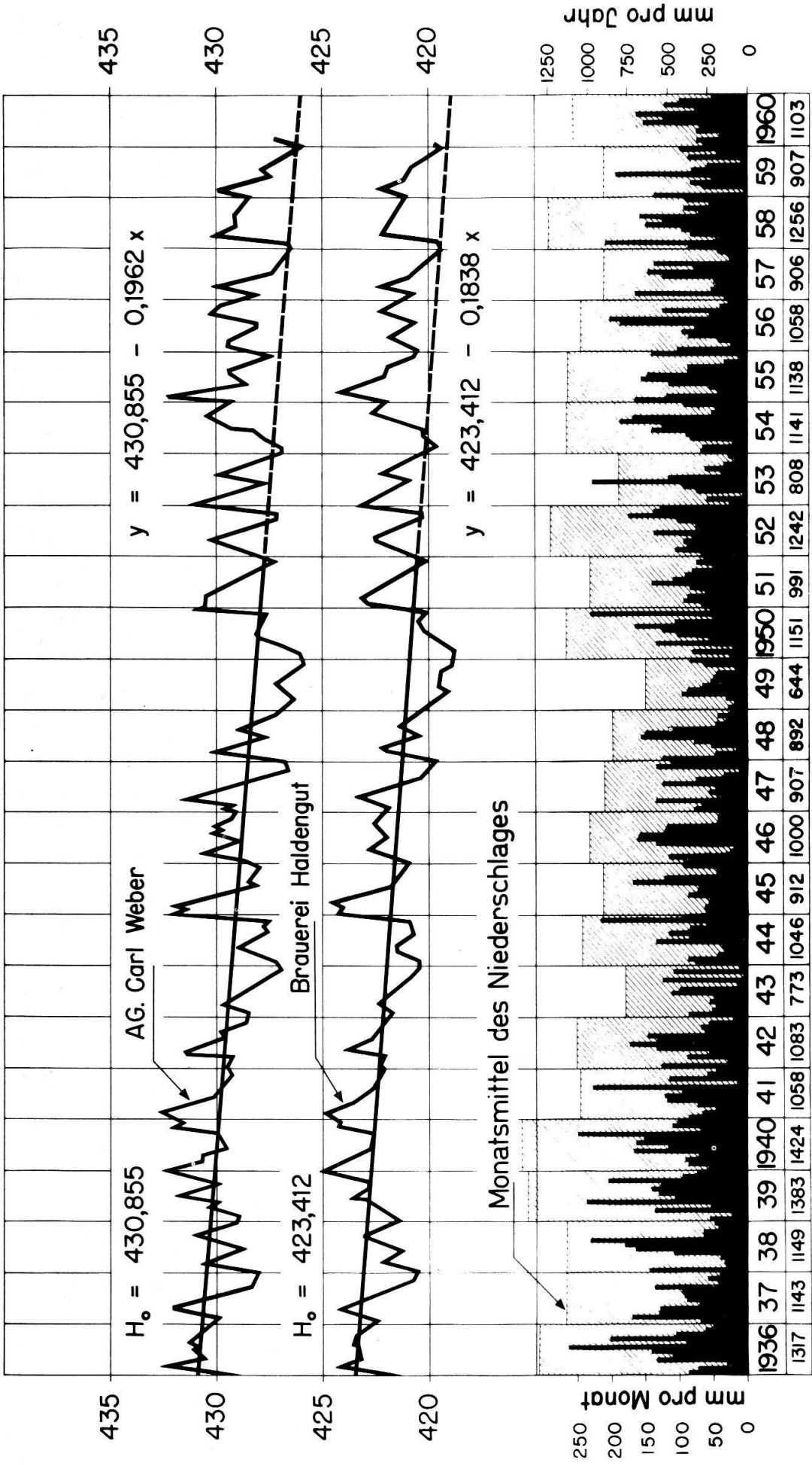


Abb. 1: Ganglinien des Eulachgrundwasserstromes von 1931-1960 mit den Ausgleichsgeraden für die Periode 1936-1951 und den monatlichen und jährlichen Niederschlagshöhen.

vorhandenen zum Teil recht lückenhaften hydrogeologischen Unterlagen wurde in (1) versucht, die nutzbare Grundwassermenge unter Berücksichtigung der potentiellen Anreicherungsmöglichkeiten abzuschätzen. Darnach beträgt die mögliche Spitzenentnahme im Zeitpunkt Z_2 , d. h. wenn die Schweiz eine Wohnbevölkerung von 10 Millionen aufweisen dürfte, rund $130 \text{ m}^3/\text{sec}$. Davon sind rund $46 \text{ m}^3/\text{sec}$ oder 35 % künstlich angereichertes Grundwasser. Demgegenüber betrug die Grundwassernutzung gemäss der Statistik des SVGW 1971 $306 \text{ Mio m}^3/\text{a}$. Allerdings werden mit dieser Statistik nur etwa 57 % der Bevölkerung und nur ein sehr geringer Anteil der industriellen Eigenförderung erfasst. Die tatsächliche Grundwassernutzung – einschliesslich des Quellwassers, das in hydrologischer Hinsicht zum Grundwasser zu zählen ist – dürfte zur Zeit insgesamt $1,4 \text{ Mia m}^3/\text{a}$ betragen. Aus Tabelle 1 ist der Trend der Wassernutzung hinsichtlich der Wassertypen Quellwasser, Grundwasser und aufbereitetes Seewasser zu erkennen.

Bei der überragenden Bedeutung, welche der Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserleiter für die Speisung der Grundwasserschätze der Schweiz zukommt, ist alles daranzusetzen, Veränderungen der hydrologischen Gegebenheiten abzuwehren. Bekanntlich bleibt die Speisung des Grundwassers durch Uferfiltration bei Flüssen mit voralpinem Regime solange erhalten, als bei Hochwasserführung infolge Geschiebetrieb eine selbsttätige Filterwäsche auftritt. Dies ist meist nicht mehr der Fall, wo Flußstrecken zwecks Gewinnung hydroelektrischer Energie aufgestaut werden. Jedenfalls musste bei mehreren Flußstauen eine merkliche Einbusse der Speisung des Grundwassers festgestellt werden. Dabei ist auch auf den Einfluss der Böschungspflasterungen hinzuweisen. Wegen der weitgehenden Konstanthaltung des Stauspiegels entfällt im Uferbereich die früher vorhandene Frost- und Windeinwirkung. Damit fallen die für die Uferfiltration sonst besonders wirksamen Böschungspartien dicht.

GRUNDWASSERVORKOMMEN IN DEN SCHOTTERN DER TALSOHLEN

NACH HCH. JÄCKLI
UND MITARBEITER

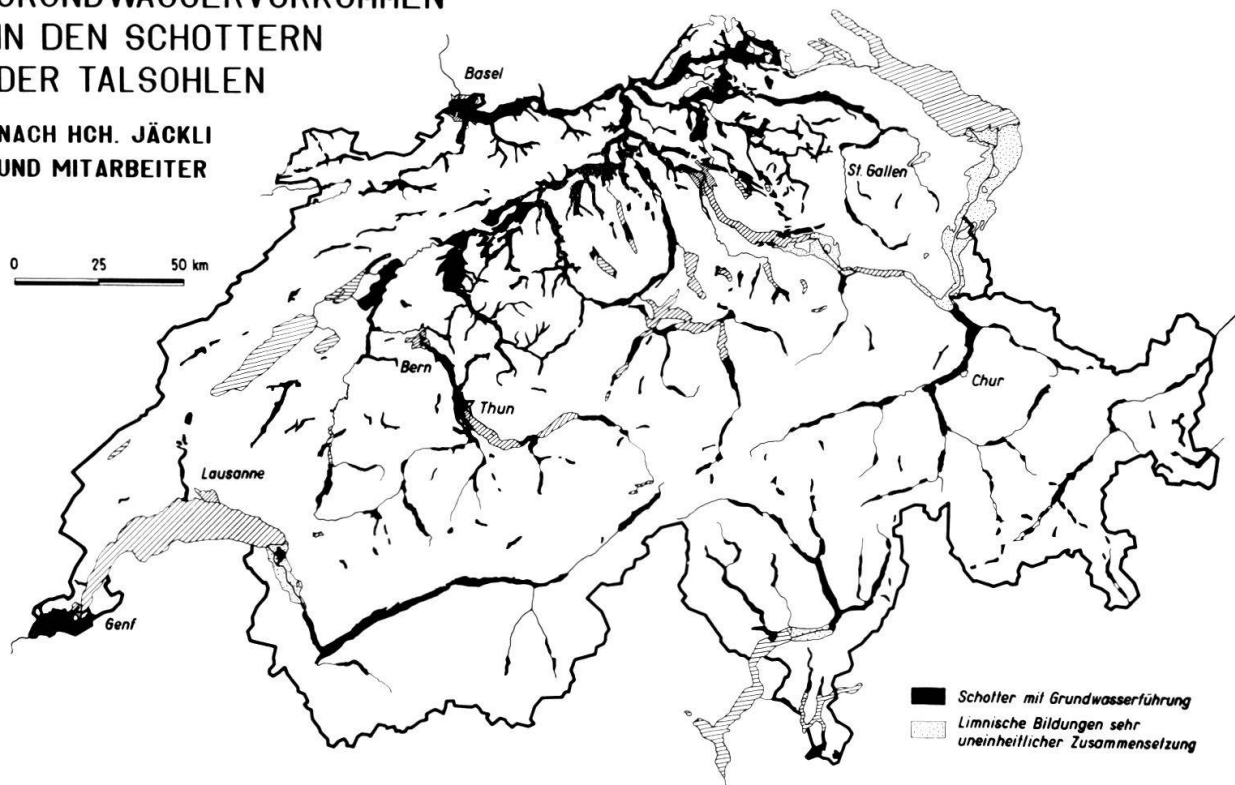


Abb. 2: Grundwasservorkommen in den Talsohlen der Schweiz, nach Prof. Dr. HCH. JÄCKLI.

	1948	1954	1961	1971
Wassergewinnung in Mio m ³ /a	318,5	381,7	481,5	672,6
Mittl. Kopfbedarf in l/K·d	418	448	474	506*)
Zahl der erfassten Einwohner in Mio	2,086	2,337	2,783	3,486
	%			
Quellwasser	40,5	35,9	30,9	24,6
Grundwasser	36,7	40,5	45,3	45,5
Aufbereitetes Seewasser	20,5	22,5	23,8	29,9
Aufbereitetes Flusswasser	2,3	1,1	–	–

*) Abgabe im eigenen Versorgungsgebiet.

Tabelle 1: Übersicht über die Wassernutzung gemäss der Jahresstatistik des SVGW.

Darüber hinaus sind für die Grundwassernutzung ungünstige Auswirkungen zu vermerken, welche durch die Bauwirtschaft verursacht werden. Deshalb hat das ORL-Institut der ETHZ (2) Richtlinien über Massnahmen zur quantitativen Erhaltung nutzbarer Grundwasservorkommen erlassen. Darnach ist Grundwasser, das durch Drainagen um Baugruben dauernd oder bei Wasserhaltungen vorübergehend abgeleitet wird, grundsätzlich dem Grundwasservorkommen unterstromwärts wieder zuzuleiten. Dabei ist der Schutz vor Verunreinigung durch geeignete Massnahmen zu gewährleisten. Bei Bauten im Grundwasser, besonders bei ausgedehnten unterirdischen Verkehrsbauten wie Bahnunterführungen, U-Bahntunneln usw., die quer zu seiner Fliessrichtung angelegt werden, sind die dem Grundwasser verloren gegangenen Fliessquerschnitte durch den zusätzlichen Aushub von schlecht durchlässigem Material und den Einbau von Material hoher Durchlässigkeit zu kompensieren. Auf Wasserhaltungen mit bleibenden Einbauten, wie Schlitzwände, Injektionen, Untergrundverdichtungen mittels Rüttelverfahren und dergleichen ist in nutzbaren Grundwasservorkommen grundsätzlich zu verzichten.

Überblick über die künstliche Anreicherung in der Schweiz

Wo auf beschränktem Raum grosse Grundwassermengen gewonnen werden müssen, drängte sich die künstliche Anreicherung des Grundwassers in der Schweiz seit Jahrzehnten auf. Es überrascht deshalb keineswegs, dass die Basler Wasserwerke bereits 1911 zur künstlichen Anreicherung übergegangen sind. Lange Zeit wurde Wasser aus der Wiese, einem Fluss, der im Schwarzwald entspringt, ohne Aufbereitung über offene Teiche, die 150–200 m von den Fassungsanlagen entfernt sind, zur Versickerung gebracht. Mit zunehmender Abwasserbelastung der Wiese traten indessen immer häufiger Geschmacks- und Geruchskontaminationen auf. Deshalb wurde 1964 das Verfahren in dem Sinne geändert, als seither über Schnellfilter aufbereitetes Rheinwasser versickert wird.

Die Bewirtschaftung der flachen Sickerteiche erfolgt derart, dass in jedem Fassungs-gelände nur etwa 40% der Teiche geflutet werden, während rund 60% der Teiche trocken liegen und sich selbsttätig regenerieren können. Die Überstauphase dauert rund 14 Tage, die Regenerierphase rund 3 Wochen. Die Teiche sind vorwiegend mit Weiden,

Pappeln und Erlen bestockt. Diese Betriebsweise erlaubt es, ohne Abschlämmung der Teiche auszukommen.

Die grösste Anreicherungsanlage der Schweiz stellt diejenige der Hardwasser AG, einer Gemeinschaftsunternehmung der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft, dar, welche 1957 den Betrieb aufnahm. Aus Gründen des Landschaftsschutzes durften in den ausgedehnten als Erholungsgebiet genutzten Waldungen der Muttenzer Hard keine grösseren Sickerbecken erstellt werden. Die Anreicherung erfolgt deshalb über ein Grabensystem von 3500 m Länge. Doch zeigte es sich bald, dass die wenigen vorhandenen Sickerteiche eine bessere Leistung aufweisen, nicht zuletzt, weil sie mit grösserem Überstau gefahren werden können. Während die mittlere Leistung der Gräben bei $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ liegt, beträgt diejenige der Sickerteiche rund $8 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$.

Die Aufbereitung des Rohwassers, das aus dem Rhein stammt, erfolgt nach Flockung in Accelatoren über Schnellfilter. Da bei zu tiefer Absenkung des Grundwasserspiegels durch die Entnahmebrunnen die Gefahr des Eindringens von kontaminiertem Rheinwasser aus dem Becken des Au-Hafens bei Birsfelden und dem zugehörigen Grosstanklager besteht, wird eine gezielte Exfiltration gefahren, d. h. es werden bewusst Verluste des versickerten Wassers in den Rhein in Kauf genommen, um dadurch Wasser minderer Güte abzudrängen. In Abbildung 3 sind die Temperaturganglinien des Rohwassers sowie der Brunnen 10, 28 und 29 nach CASATI (3) dargestellt, welche alle rund 700 m von den Sickergräben entfernt sind. Es zeigt sich somit, dass der Temperaturgang in weit stärkerem Masse durch die Fahrweise der Brunnen als durch die Entfernung von der Einspeisestelle beeinflusst wird.

Mit der Anreicherungsanlage von Tenero wird die Grundwasserneubildung, welche durch die Verzasca-Kraftwerke im Kanton Tessin geschmälert wurde, kompensiert.

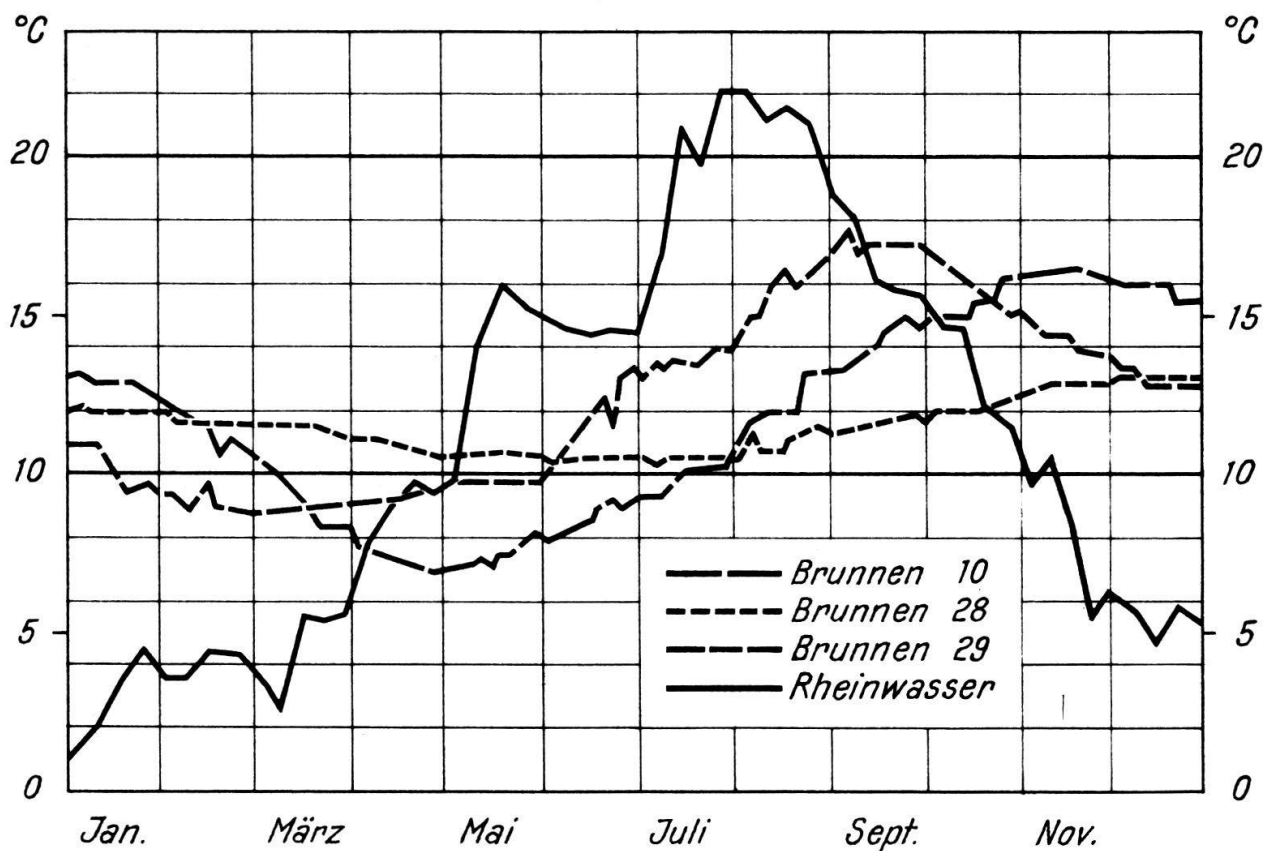


Abb. 3: Temperaturgang von Rohwasser und Brunnen 1971 nach CASATI (3).

Dazu wird unterhalb der Zentrale ein Teilstrom des turbinierten Wassers in Becken versickert. Diese wurden im weitgehend trockengelegten Flussbett der Verzasca angelegt.

Seit 1958 wird durch die Metallwerke Dornach bei Aesch der äusserst intensiv genutzte Grundwasserstrom des Birstales über Becken künstlich angereichert.

Einen Sonderfall hinsichtlich der Anreicherungstechnik stellt in der Schweiz die Anlage Les Moyats der Wasserversorgung von La Chaux-de-Fonds im Neuenburger Jura dar, wo im Wald das zur Anreicherung vorgesehene Wasser mittels Regnern versprüht wird.

Bei den Sickerbecken der Winterthurer Wasserwerke bei Oberwinterthur handelt es sich um eine Pilotanlage für die bei Rheinau geplante Anreicherung, welche im Vollausbau für eine Leistung von 300–400 000 m³/d vorgesehen ist. Die Pilotanlage wurde kürzlich erweitert und mit einem nach der Dortmunder-Methode arbeitenden Vorfilter versehen. Damit weist der mit Langsamfiltersand belegte Hauptfilter eine Fläche von 900 m² und der mit Rundkies der Körnung 6/16 mm belegte Vorfilter bei einer Schichthöhe von 1,20 m eine Fläche von 500 m² bzw. 600 m³ Kiesvolumen auf. Die Anlage ist für eine Leistung von rund 2200 m³/d bemessen. Damit beträgt die Beaufschlagung des als horizontal durchflossener Tropfkörper wirksamen Vorfilters rund 3,7 m³/m³·d. Bei zu starker Trübung des Rohwassers aus der Eulach wird der Zulauf über einen Trübungsmesser automatisch unterbrochen. Darüber hinaus müssen bei Niedrigwasser der Eulach zwecks Gewährleistung des für den Fischbestand erforderlichen Restwassers Betriebsunterbrüche in Kauf genommen werden. Ebenfalls im Hinblick auf die bei Rheinau geplanten Anlagen werden Versuche zur mechanischen Abschlämmung des Hauptfilters mit einem auf Schienen laufenden Räumwagen durchgeführt. Damit soll der «biologische Rasen» ohne Trockenlegen des Beckens abgesaugt werden.

Die jüngste der schweizerischen Anreicherungsanlagen stellt diejenige von Aarberg dar. Damit haben die Bernischen Kraftwerke (BKW) in Erfüllung der wasserrechtlichen Auflagen die durch die Abtiefung des Unterwassers des Laufkraftwerkes Aarberg verursachte Abminderung der Speisung des ausgedehnten Grundwasservorkommens zwischen dem Hagneckkanal und Worben auszugleichen. Das Rohwasser wird aus dem Oberwasser über eine Zementrohrleitung von 1,00 m Durchmesser und 2 km Länge im Freifall auf den Vorfilter geleitet und fliesst von dort über Belüftungskaskaden auf die Hauptfilter. Der Vorfilter ist nach der Dortmunder-Methode konzipiert und weist bei 1,40 m Tiefe eine Fläche von 920 m² bzw. ein Kiesvolumen von rund 1300 m³ der Körnung 8/15 mm auf. Die Hauptfilter weisen eine Fläche von 2x1190 m² auf und sind mit Langsamfiltersand belegt. Sie werden nach Möglichkeit ohne Überstau gefahren. Indessen führt die Eutrophierung des Rohwassers aus der Aare zu einem intensiven Algenwachstum, so dass trotzdem oft mit Rückstau gefahren werden muss. Das Konzept der Anlage wird mit der Abbildung 4 verdeutlicht. Die Anlage ist im langfristigen Mittel für eine Leistung von 200 l/sec oder im Tagesmittel von rund 17 000 m³/d ausgelegt. Dies hätte eine Leistung der Hauptfilter von rund 7 m³/m²·d und eine solche des Vorfilters von rund 13 m³/m³·d zur Voraussetzung. Infolge der erwähnten Eutrophierung des Rohwassers können diese Richtwerte offenbar nicht erreicht werden. Bei zu starker Trübung wird der Zulauf über einen Trübungsmesser automatisch unterbrochen. Die Abschlämmung der Hauptfilter erfolgt bei trocken gelegten Becken mittels einer auf Schienen laufenden Räumbrücke. Damit wird der «biologische Rasen» maschinell abgeschuppt und über Förderbänder selbsttätig auf einen Lastwagen befördert, um zur Sandwäscherei gefahren zu werden.

Nachdem SCHMASSMANN (5) kürzlich ausführlich über die künstliche Grundwasseranreicherung in der Schweiz berichtete, dürften sich an dieser Stelle eingehendere Aus-

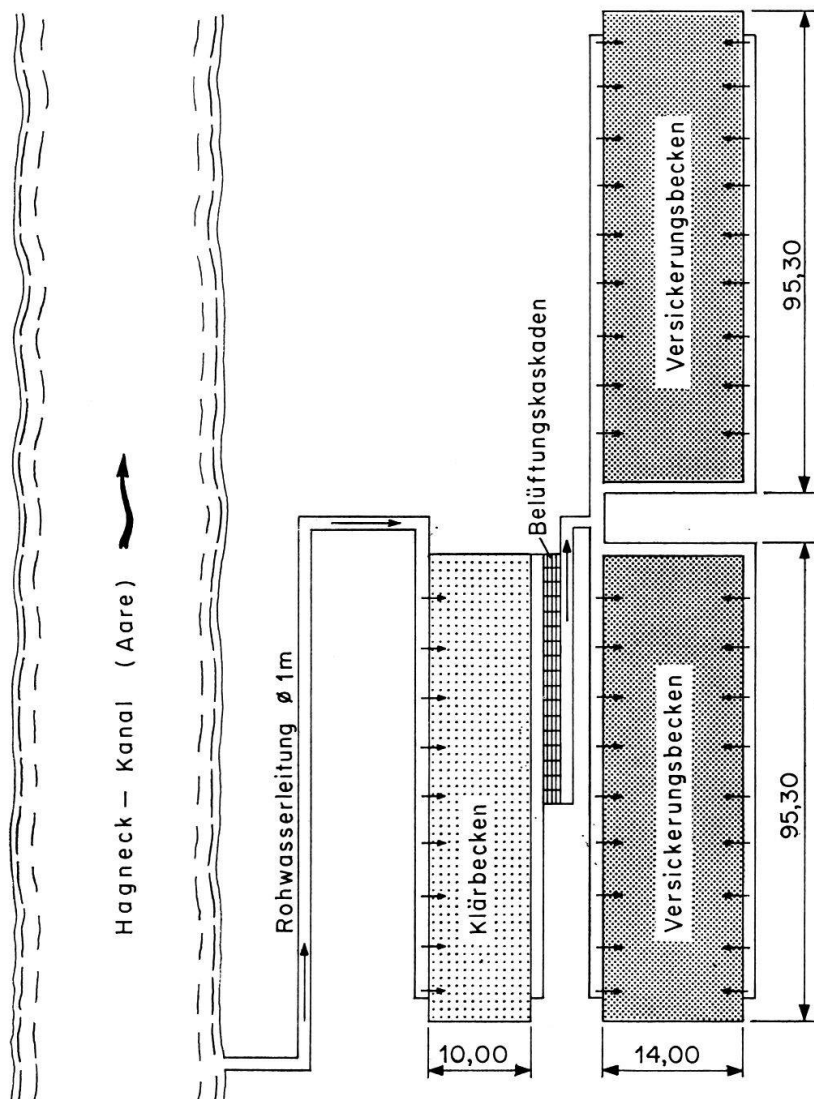
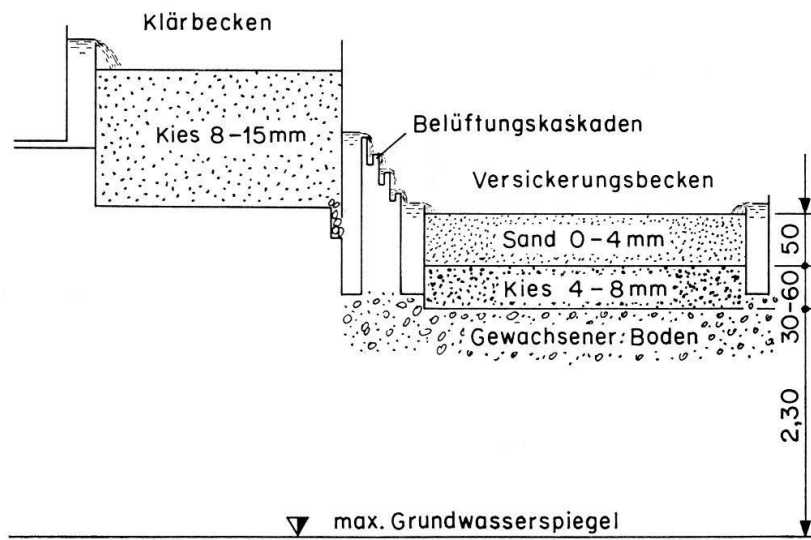


Abb. 4: Schemazeichnungen der Grundwasseranreicherungsanlage Aarberg, nach HARTMANN (4).

	Hard AG	WV Basel		Metallwerke Dornach	WV La Chaux de Fonds	WV Winterthur	BKW
	Muttenz	Lange Erlen 3)	Tenero 3)	Aesch 3)	Les Moyats 3)	Ob. W'thur	Aarberg
Sickerwassermenge	43,0	21	3	1,8	0,31	0,5	1,9 ⁵⁾
Grundwasserförderung	23,0	21 ¹⁾	-	0,5 ²⁾	0,25	-	-
Investitionen	20	14,5	-	-	-	0,6 ⁶⁾	2,2
Betriebskosten 4)	13	13	-	-	-	11	7
Rohwasser- aufbereitung	Acceleratoren und Schnellfiltern	Schnell- filter	keine	Absetz- becken	keine	Kiesfilter	Kiesfilter
Art der Versickerung	Gräben u. Weiher	Flächen- versicker.	Becken	Becken mit Filtersand	Beregnung	Vorfilter u. Hauptfilt.	Vorfilter u. Hauptfilt.
Ueberstauhöhe	Gräben: 0,8 Weiher: 3,0	0,2 ... 1,0	2	2	-	1,2	0 ... 0,3
Trockentiefe	18	8 ... 10	2 ... 10	12	2 ... 4	6 ... 16	2 ... 3
Mittl. Sickerleistung	Weiher 8	2 ... 3	3	5	0,72	2,4	2 ... 6
Unterhalt	Gräben: Abschälen Weiher: Kieswaschen	Trocken- legen 14 d	-	Abschälen	keiner	Kieswaschen Abschälen	Kieswaschen Abschälen
Unterhaltsintervall	16 Monate	14 d	> 3 Jahre	2 Jahre	6 Monate/a in Betrieb	3 Monate	1 Monat

Tabelle 2: Anlagen zur künstlichen Anreicherung in der Schweiz.

- 1) inkl. natürliches Grundwasser
- 2) ohne Pumpwerke Dritter, mit denen die volle Sickerwassermenge zurückgewonnen wird
- 3) nach International Survey of Existing Water Recharge Facilities 1970.
- 4) inkl. Investitionen
- 5) in Betrieb seit dem 20. 3. 1972
- 6) inkl. Abschlammmaschine

führungen erübrigen. In der Tabelle 2 sind dazu die wesentlichsten Vergleichsgrößen aufgeführt.

Neben der Beschreibung der permanent ausgebauten Anreicherungsanlagen der Schweiz ist auch ein Hinweis auf provisorische Anlagen am Platze. Solche stehen immer wieder zur Diskussion, wenn in einer Reihe von Trockenjahren mit geringen Winterniederschlägen der Grundwasserspiegel Tiefstwerte erreicht. Dabei steht die Überflutung von Wiesland und Waldpartien im Vordergrund. Das Rohwasser wird in der Regel mit Baupumpen aus Bächen gefördert und über Schnellkupplungsrohre zu den Behelfsanlagen geleitet. Methodisch ähnelt das Verfahren dem aus der Bewässerungstechnik bekannten Furchenstau, ein Verfahren, das anfangs der fünfziger Jahre neben der Versickerung über Becken bei den Dortmunder Stadtwerken noch angewendet wurde. Wo das Rohwasser von zweifelhafter Güte ist, wird die Versprühung des Wassers über Regner vorgezogen, weil damit eine bessere Belüftung des Rohwassers verbunden ist. Bei beiden Verfahren ist ein alternierender Betrieb unerlässlich, weil sonst Grasnarbe und Humus degenerieren. Deshalb können im Tagesmittel nur Anreicherungsleistungen von etwa 0,5–1,0 m³/m²·d erreicht werden. Wird die Reinigungsleistung des Humus nicht überfordert, sind die beiden Verfahren besonders für kleinere Grundwasserwerke zur Überbrückung von Niederwasserlücken durchaus geeignet und leiten in der Regel den Übergang zur eigentlichen Anreicherungsirtschaft ein.

Schliesslich sei noch auf die zur Diskussion stehenden Projekte von Anreicherungsanlagen hingewiesen. Im Vordergrund stehen die Anlagen gemäss Tabelle 3.

		ungefähre Leistung m ³ /d
WV St. Gallen (im Bau)	Breitfeld	20000
WV Zürich	Hardhof	Leistungssteigerung von 50000 auf 150000
WV Winterthur	Rheinau	60000 bzw. 360000
Zürcher Wasserverbund	Rafzerfeld	100000
Wasserverbund Aargau-Basel	Möhlin	240000
Wasserverbund Wiggertal	Zofingen	120000

Tabelle 3: Geplante Anreicherungsanlagen.

Bei den Anlagen der WV Zürich handelt es sich um die Leistungssteigerung eines bestehenden Grundwasserwerkes. Dabei soll Uferfiltrat minderer Güte über offene Becken versickert und nach Bodenpassage als Reinwasser gewonnen werden. Bei den Anlagen von Rheinau und im Rafzerfeld weist der Schotterkörper eine Trockentiefe von 30–50 m auf. Deshalb steht die Verwendung von offenen Becken unter Ausnützung der Tropfkörperwirkung des «trockenen» Schotters im Vordergrund. Bei Möhlin bestehen die obersten 10–20 m der Trockentiefe aus Löss, was zur Anreicherung mittels vorgeeignetem Rheinwasser über Schluckbrunnen zwingt.

Grundsätzliche Betrachtungen zur Grundwasseranreicherung in der Schweiz

Im Vordergrund der bei der künstlichen Anreicherung nur teilweise gelösten Probleme stehen die folgenden Fragen:

- Beurteilung der Rohwassergüte zwecks Gewinnung von Kriterien für die Beurteilung der erforderlichen Vorreinigung

- Reinigungsvorgänge bei der Bodenpassage
- Hydraulik im Grundwasserleiter
- Methoden der Schlammräumung

Beurteilung der Rohwassergüte zwecks Gewinnung von Kriterien für die Beurteilung der erforderlichen Vorreinigung

Glücklicherweise ist die Rohwassergüte in der Schweiz vielerorts noch derart, dass die Anreicherung über offene Becken ausreicht. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Tropfkörperwirkung des «trockenen» Schotters mit Mächtigkeiten von 30–50 m ausgenützt werden kann. Gelegentlich ist die Verwendung von Vorfiltern nach der Dortmunder-Methode gebräuchlich. Dafür hat KUNTSCHIK (6) Bemessungsgrundlagen erarbeitet und Kostenhinweise mitgeteilt. Insbesondere schlägt er eine Zonierung der Kiesfüllung, z. B. in Bereiche mit Korndurchmessern von 80/250 mm, 30/70 mm und 5/12 mm sowie eine Neigung der Sohlschicht nach Massgabe des Filterwiderstandes des Kiesel vor, um einen partiellen Überstau des Filters zu verhindern. Zur Vermeidung des Algenwachstums soll das Wasser im Filter dem Licht nicht ausgesetzt werden. Da in Kiesvorfiltern auch biologische Prozesse – vor allem der Abbau von Ammonium zu Nitrat – ablaufen, ist ihr Sauerstoffhaushalt zu optimieren.

Als Richtwert kann eine Belastung von 10 m³/m²·h betrachtet werden. Je nach Schwebstoffbelastung (5,0–11,3 pp m) variiert die optimale Filterlänge nach KUNTSCHIK (6) bei einer Mächtigkeit der Kiesschicht von 1,1–1,5 m zwischen 27 und 45 m. Daraus ergibt sich eine optimale Beaufschlagung von 3,5–8,0 m³/m²·d.

Nachdem FRANK (7), BAUER (8) und SCHMIDT (9) (10) zeigen konnten, dass als Langsandsandfilter wirkende Hauptfilter in der Lage sind, auch einen weitgehenden Abbau der meisten Pestizide zu gewährleisten, ist man in der Schweiz hinsichtlich der Verwendung offener Anreicherungsbecken wiederum zuversichtlicher. Dies um so mehr, als Hoffnung besteht, dass die schwerabbaubaren Pestizide aus dem Handel zurückgezogen werden, zu deren Elimination auch die sonst üblichen Verfahren wenig geeignet wären und somit den Einsatz von Aktivkohle erforderlich machen würden.

Zur Vermeidung des oft lästigen Algenwachstums auf den Hauptfiltern wird auch in der Schweiz gelegentlich versucht, die Hauptfilter nicht rückgestaut zu fahren. Aller-

	Jahresmittel 1971		Oktober 1972	
	DOC	COD	DOC	COD
	mg/l	mg O ₂ /l	mg/l	mg O ₂ /l
Rhein, Schaffhausen	1,3	5,9	1,9	5,1
Rhein, Basel	3,5	11,9	3,8	10,3
Limmat, Zürich-Letten	2,1	6,1	2,3	5,6
Vierwaldstättersee, Luzern	–	–	0,9	3,5
Bielersee, Ipsach	–	–	1,5	4,1
Neckar, Stuttgart	5,9	19,6	6,8	16,2
Donau, Leipheim	3,2	11,3	3,6	8,4

Tabelle 4.

dings hat die alternierende Beschickung der Filter oft eine Verringerung der Anreicherungsleistung zur Folge, weil die Durchlässigkeit des Filtersandes so lange reduziert bleibt, als die Luft nicht völlig ausgetrieben ist.

Leider erlauben die bisher gebräuchlichen Güteparameter nur einen unvollkommenen Einblick in den Gütezustand der Gewässer. In Tabelle 4 sind die DOC- und COD-Werte nach (11) für einige Meßstellen der Schweiz als Jahresmittel und während der Niederwasserperiode des Oktobers 1972 zusammengestellt. Zum Vergleich sind auch die Resultate der Meßstellen Neckar-Stuttgart und Donau-Leipheim aufgeführt.

Daraus geht die zunehmende Abwasserbelastung des Rheines zwischen Schaffhausen und Basel hervor. Damit wird verständlich, weshalb die Anreicherungsanlagen der Hardwasser AG in der Muttener Hard und der Basler Wasserwerke in den Langen Erlen mit Vorreinigung des Rohwassers gefahren werden, während man vor allem oberhalb der Thurmündung – abgesehen von der Verwendung von Kiesvorfiltern – glaubt, auf eine weitergehende Vorreinigung verzichten zu können.

Reinigungsvorgänge bei der Bodenpassage

Grundsätzlich wird darauf geachtet, dass im Untergrund keine Reduktionsprozesse mehr ablaufen. Deshalb kann das geförderte Grundwasser – abgesehen von einer allfälligen Desinfektion – ohne weitere Aufbereitung dem Verbrauch zugeführt werden. Versuche über die Güteveränderung mit zunehmendem Fließweg sind erst angelaufen. Es wäre verfrüht, an dieser Stelle darüber zu berichten.

Hydraulik im Grundwasserleiter

Die Hydraulik im Grundwasserleiter hat BAUMANN (12) eingehend beschrieben. In der Regel ist bei offenen Anreicherungsbecken der »biologische Rasen« auf den Hauptfiltern das begrenzende Element. Die Beckenform hat deshalb meist nicht den entscheidenden Einfluss wie ihn SUTER (13) beschrieben hat, denn seine Resultate, die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt sind, haben nur solange Gültigkeit, als der Grundwasserspiegel hoch liegt und das Rohwasser stark gechlort und damit die biologische Aktivität auf der Beckensohle weitgehendst unterbunden wird, was im Interesse der Verwendung der Biologie zur Verbesserung der Wassergüte unerwünscht ist.

Dass Anreicherungsbecken nach Möglichkeit quer zur Strömungsrichtung des Grundwassers angelegt werden sollten, versteht sich von selbst. Indessen richtet sich ihre Breite meist nach konstruktiven Gesichtspunkten, insbesondere nach der Art der mechanischen Abschlämmung.

Methoden der Schlammräumung

Trotz der hohen Arbeitslöhne ist die Abschuppung kleinerer Anreicherungsbecken von Hand auch in der Schweiz immer noch am wirtschaftlichsten. Anders liegen die Verhältnisse bei grösseren Anlagen. Deshalb haben die Bernischen Kraftwerke für ihre Anlage bei Aarberg von allem Anfang an die Abschlämmung mittels einer Räumerrücke vorgesehen. Um deren Spannweite knapp zu halten, wurde die Beckenbreite auf 14 m festgelegt.

Mit der Entschlammungsmaschine der Winterthurer Wasserwerke werden Versuche für die bei Rheinau geplanten Anlagen durchgeführt. Dem Konzept liegen die Ausführungen von LÖFFLER (14) zugrunde, der über entsprechende Versuche in Dresden berichtete. Die Versuche in Winterthur sind erst angelaufen, so dass noch keine Angaben über die Kosten mitgeteilt werden können.

Hinweise für Bau und Betrieb von Anreicherungsanlagen enthalten auch die ORL-Richtlinien, Blatt 516023, 1970, Richtlinien für die künstliche Anreicherung von Grundwasser (15).

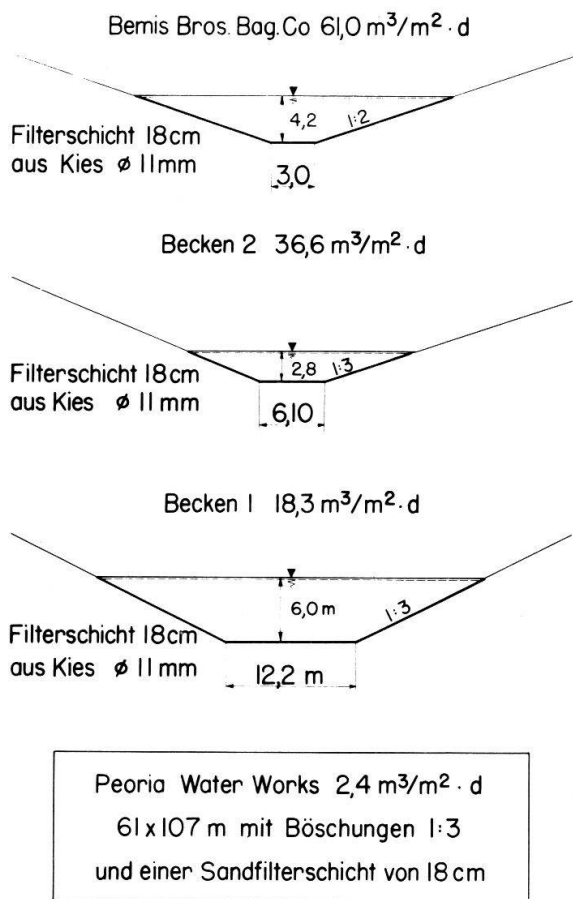


Abb. 5: Der Einfluss der Beckenform auf die Anreicherungsleistung nach SUTTER (13).

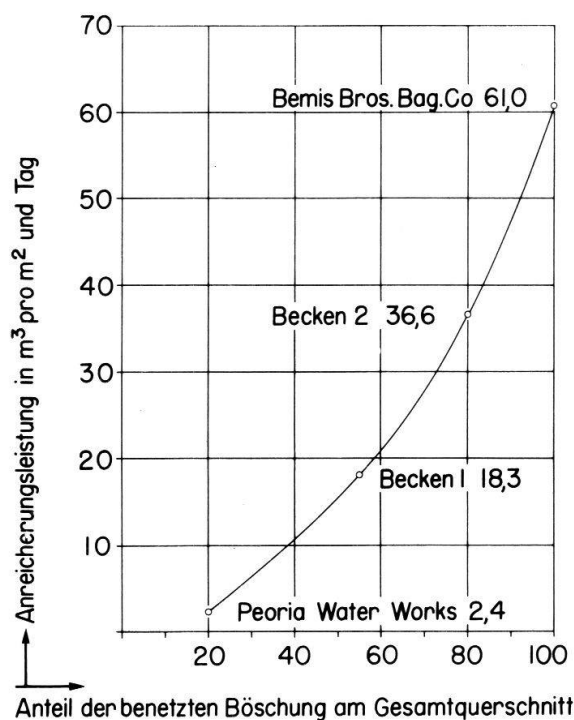


Abb. 6: Der Einfluss der benetzten Böschung auf die Anreicherungsleistung nach SUTTER (13).

Erfahrungen mit der Untergrundspeicherung in der Schweiz

Auf die Notwendigkeit, vermehrt von der Untergrundspeicherung von Trinkwasser Gebrauch zu machen, hat unseres Wissens erstmals KOEHNE (16) 1941 hingewiesen. Der Gedanke wurde von DENNER (17) wieder aufgenommen. Seither sind darüber wiederholt Arbeiten erschienen, von denen nur diejenige von FLEMMING (18) und MAROTZ (19) erwähnt werden sollen. Indessen liegen wenig Unterlagen über praktische Erfahrungen mit der Untergrundspeicherung von Trinkwasser vor. Deshalb soll kurz über die Erfahrungen der Winterthurer Wasserwerke berichtet werden. In Abschnitt 1 wurde auf die Ursachen der Mangellage im Winterthurer Becken des Eulachgrundwasserstromes, wie fortschreitende Verstädtung und Kanalisierung der Vorfluter, hingewiesen.

Als die Winterthurer Wasserwerke 1957 die Erweiterung eines Grundwasserwerkes am Unterlauf des Eulachgrundwasserstromes anstrebten, war die Zeit gekommen, die Bewirtschaftung des Grundwassers im Winterthurer Becken nach ganzheitlichen Gesichtspunkten aufzunehmen. Aus der Erledigung der Einsprachen der Winterthurer Industrie, welche über eine Vielzahl von Grundwasserwerken zur Eigenförderung verfügt, ging im Verleihungsverfahren der Eulachgrundwasserverband hervor, in dem seit her alle Grundwassernutzer im Tal der Eulach zusammengeschlossen sind. Die hauptsächliche Zielsetzung dieses Verbandes besteht in der Bewirtschaftung des Grundwassers. Nach längeren Verhandlungen erstellten die Winterthurer Wasserwerke oberhalb der Fassungen der Industrie einen Schluckbrunnen. Dieser ist als Vertikalbrunnen ausgebildet und weist bei einem Bohrdurchmesser von 1,00 m eine Gesamttiefe von 26 m auf. Im unbeeinflussten Zustand beträgt die Grundwassermächtigkeit rund 8 m, so dass ein theoretischer Überstau von rund 18 m möglich wäre. Tatsächlich wird mit einem solchen von rund 7 m gefahren, um 11000 m³/d einzuspeisen. Der Eulachgrundwasserverband bezieht das einzuspeichernde Trinkwasser damit in der Regel zu Schwachlastzeiten, d. h. über das Wochenende und an Feiertagen zum Selbstkostenpreis des Wasserwerkes, der ohne Einrechnung der Kapitaldienstkosten derzeit bei 4 R./m³ liegt.

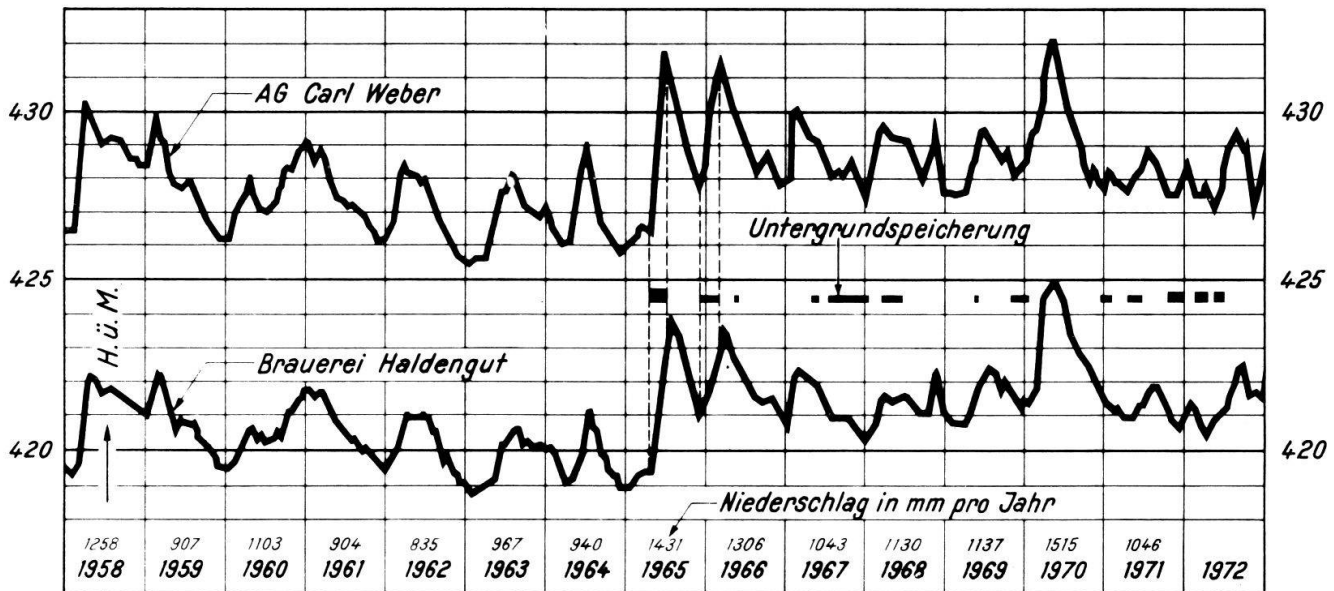


Abb. 7: Ganglinien des Grundwasserspiegels im Winterthurer Becken des Eulachgrundwasserstromes 1958–1972 mit eingetragener Untergrundspeicherung.

Einiges Fingerspitzengefühl erfordert die vorsorgliche Steuerung der Einspeisung in Funktion der Ganglinien des Grundwasserstandes, weil keine Vorhersage über den weiteren Witterungsverlauf und damit über die zwischenzeitliche natürliche Speisung möglich ist. Deshalb wurde die Betriebsführung den Winterthurer Wasserwerken übertragen. Aus der Abbildung 7 ist der Erfolg der getroffenen Massnahmen ersichtlich. Im Schnitt wurde der Grundwasserspiegel um 2 m angehoben, was der Industrie erlaubt, ihre eigenen Anlagen wieder voll auszufahren, was vorher nicht mehr der Fall war. Dabei stellt sich die Frage, welcher Anteil der eingespeicherten Wassermenge tatsächlich zurückgewonnen werden kann. Dies ist schwierig zu beantworten, weil sich verschiedene Einflüsse überlagern. Immerhin sind die hydrologischen Verhältnisse insofern günstig, als die mittlere wahre Fliessgeschwindigkeit nur 3–6m/d beträgt und der

Grundwasserstrom durch das Engnis bei Wülflingen auf etwa die Hälfte seiner Breite eingeschnürt wird. Dort bestände somit die Möglichkeit, Verluste durch Untergrundverpressungen herabzumindern. Davon wird indessen kaum Gebrauch gemacht werden, weil der natürliche Fliessquerschnitt für aussergewöhnliche Verhältnisse erhalten bleiben soll, um allfällige Haftungsansprüche auszuschliessen.

In der Tabelle 5 ist die Grundwassernutzung den künstlichen Massnahmen zur Grundwasseranreicherung gegenübergestellt.

Jahr	Nieder- schlag*	Förderung der Industrie	Künstliche Anreicherung		
			Untergrund- speicherung	Anreich.- becken	Total
	mm/a		Mio m ³ /a		
1963/64	944	2,367	–	0,019	0,019
1964/65	1 273	2,408	0,640	0,120	0,760
1965/66	1 296	2,937	0,387	0,152	0,539
1966/67	1 219	3,383	0,542	0,139	0,681
1967/68	1 190	3,344	0,772	0,155	0,927
1968/69	968	3,239	0,096	0,141	0,237
1969/70	1 521	2,822	0,392	0,130	0,522
1970/71	1 068	2,812	0,623	0,183	0,806
1971/72	1 053	2,948	1,194	0,315	1,509
Total		26,260	4,646	1,354	6,000

*) Mittel 1901–1941, 1130 mm/a.

Tabelle 5: Übersicht über die Grundwassernutzung der Winterthurer Industrie und die künstlichen Massnahmen zur Grundwasseranreicherung.

Geht man von einer ursprünglichen Nutzung von 2,367 Mio m³/a aus, so steht einer Mehrnutzung von 4,957 Mio m³/a insgesamt eine künstliche Anreicherung von 6,00 Mio m³/a gegenüber. Daraus lässt sich die Rückgewinnung auf rund 82% abschätzen. Allerdings wäre auch noch die Anreicherung mittels des früher beschriebenen Schluckbrunnens zu berücksichtigen, mit welchem der Verlust infolge der Absenkung des Riedbaches ausgeglichen wird. Würde die volle Einspeisung von insgesamt 3,094 Mio m³ in Rechnung gestellt, würde die Rückgewinnung noch rund 54% betragen. Dieser Wert ist aus den früher dargelegten Gründen jedoch sicher zu tief gegriffen. Der wahrscheinlichste Wert dürfte bei etwa 70% liegen.

Literaturverzeichnis

- (1) E. TRÜEB und A. WERNER, Teileitbild der Siedlungswasserwirtschaft, Sekundärteil 1971, Studie im Auftrag des ORL-Institutes der ETHZ.
- (2) Richtlinien über Massnahmen zur quantitativen Erhaltung nutzbarer Grundwasservorkommen, ORL Blatt 516024, 1970.
- (3) A. CASATI, Natürliche und künstliche Grundwasserspeisung, Monatsbulletin des SVGW, Nr. 11 und 12, 1961, sowie Geschäftsberichte der Hardwasser AG, Pratteln.
- (4) P. HARTMANN, Kraftwerk Aarberg, Grundwasseranreicherung, SBZ, Heft 2, 1973.

- (5) H. SCHMASSMANN, Künstliche Grundwasseranreicherung, GWA, Nr. 5, 1972.
- (6) O. KUNTSCHIK, Schwebestoffe im offenen Gewässer und ihre Entnahme in Kiesfiltern, Veröffentlichung des Institutes für Wasserforschung GmbH Dortmund, und der Hydrologischen Abteilung der Dortmunder Stadtwerke AG, Nr. 13, 1971.
- (7) W. H. FRANK, Fundamental Variations in the Water Quality with Percolation in Infiltration Basins, Berichte aus der Dortmunder Stadtwerke AG, Nr. 106, 1970.
- (8) U. BAUER, Pestizide und Wasserversorgung, Berichte aus der Dortmunder Stadtwerke AG, Nr. 100, 1971.
- (9) K. H. SCHMIDT, Möglichkeiten und Grenzen biologischer Verfahren bei der Trinkwasseraufbereitung, DVGW-Broschüre Wassergewinnung – Wassergüte, 1972.
- (10) K. H. SCHMIDT, Möglichkeiten und Grenzen biologischer Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung, GWA, 1973.
- (11) Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee–Rhein, 3. Bericht, 1971.
- (12) P. BAUMANN, Technical Development in Ground Water Recharge.
- (13) M. SUTER, Artificial Ground Water Recharge at Peoria, Illinois, 1959.
- (14) H. LÖFFLER, Technologie und Wassergüteverbesserung bei der Grundwasseranreicherung, WWT, Heft 10, 1967.
- (15) ORL-Institut der ETHZ, Richtlinien für die künstliche Anreicherung von Grundwasser, Blatt 516023, 1970.
- (16) W. KOEHNE, Die Wasserspeicherung in unterirdischen Räumen, Deutsche Wasserwirtschaft, Heft 9, 1941.
- (17) J. DENNER, Unterirdische Wasserspeicherung, GWF, Heft 2, 1961.
- (18) H. W. FLEMMING, Die unterirdische Wasserspeicherung, R. Oldenbourg, München, 1962.
- (19) G. MAROTZ, Möglichkeiten einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund, Die Wasserwirtschaft, Heft 5, 1969.