**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
**Band:** 66 (1948)
**Heft:** 44

**Artikel:** Ein Vorschlag für Jahreswärmespeicherung im Grundwasser
**Autor:** Gregorig, Romano
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-56819

**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:** 12.07.2025

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

 Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet 

# Ein Vorschlag für Jahreswärmespeicherung im Grundwasser

DK 620.97 : 697

Von Dr. sc. techn. ROMANO GREGORIG, Zürich

Zusammenfassung

Beim vorliegenden Vorschlag eines Wärmespeichers besteht der Wärmeträger aus Grundwasser und durchlässigem Erdboden. Der Speicher wird durch Erwärmen des Grundwassers aufgeheizt, das mit einer Pumpe aus einem Filterbrunnen abgesaugt und nach erfolgter Wärmeaufnahme durch einen zweiten Filterbrunnen wieder in den Erdboden zurückgegeben wird. Damit dabei die Wärme durch die vorhandene Grundwasserströmung nicht fortgeführt wird, muss der Speicher umgrenzt werden, und zwar entweder durch natürliche undurchlässige Schichten, oder durch eine Strömung, die dem Grundwasser mit einem System von weiteren Filterbrunnen aufgezwungen wird, oder auch durch Anwendung von künstlich hergestellten undurchlässigen Wänden (Toninjektionen).

Eingehende Kostenberechnungen erlauben einen wirtschaftlichen Vergleich zwischen dem vorgeschlagenen Wärmespeicher im Grundwasser, der in besonderen Fällen einen Wirkungsgrad von über 90 % aufweisen kann, und den bisher bekannten Speicherarten. Darnach belaufen sich die Kosten des neuen Speichers auf nur rund einen Drittel der Kosten der anderen Speicher*).

## I. Einleitung

Das Scheitern der bisherigen Vorschläge für Bodenwärmespeicher ist hauptsächlich wirtschaftlichen Gründen zuzuschreiben. Wenn man nur die Abwärmeverwertung betrachtet, so sind für die bisher bekannten Speicher sehr grosse Wasserbehälter nötig, die entweder über dem Boden oder im Seewasser vorgesehen sind. Bei Behältern über dem Boden belastet der Grundflächenbedarf die Wirtschaftlichkeit; besonders weil der Speicher wegen der kürzeren Warmwasserleitungen möglichst im Schwerpunkt der bewohnten Gebiete liegen soll. Speicher im Seewasser verlangen meistens verhältnismässig lange Warmwasserleitungen.

Der neue Speicher kommt schon an und für sich billiger zu stehen; ausserdem nimmt er keinen Platz über dem Erdboden in Anspruch und ist auch nicht an das Vorhandensein eines Sees gebunden. Er kann in vielen Fällen in unmittelbarer Nähe des Verbrauchers, unter Umständen sogar direkt unter ihm, aufgestellt werden. Er eignet sich vor allem für die Abwärmeverwertung, indem in ihm Wärmemengen bei verhältnismässig niedrigen Temperaturen gespeichert werden können. Dies schliesst jedoch nicht aus, auch Wärme von höherer Temperatur zu speichern, wobei diese vorerst in einem Wärmeaustauscher auf eine niedrigere Temperatur gebracht werden kann.

## II. Ueber die Verwertung von Abwärme mit Jahres-Wärmespeicher

### 1. Ausnutzbare Abfallwärmen

Die jährlich an die Atmosphäre und an die verschiedenen Abwasser abgegebenen Wärmemengen sind bekanntlich sehr gross. Wir geben nachstehend die speicherbaren Abwärmemengen einiger Industriezweige in % der in ihnen umgesetzten Brennstoffwärmen bzw. in t Kohle pro Jahr.

| | | |
|---|---|---|
| Wärmekraftanlagen . . . . . | 30 bis 50 % | |
| Chemische Industrie . . . . . | 20 bis 25 % | |
| Hüttenwerke . . . . . | 2 bis 12 % | |
| Kühlung der Transformatoren des schweiz. Starkstromnetzes | 6 % | 100 000 t/Jahr |
| Abfallenergie des schweiz. Starkstromnetzes . . . . . | 3 % | 600 000 t/Jahr [1]) |

Bei einer Gastemperatur von 70° C könnte allein im Gaswerk der Stadt Zürich bei der Gaskühlung eine heute noch jeden Sommer unausgenützte Wärmemenge gespeichert werden, die rd. 1000 t Kohle entspricht. Eine weitere Ausnützungsmöglichkeit der Wärmespeicherung besteht in der Kälteerzeugung (Brauereien, Fabriken für alkoholfreie Getränke, Schlachthöfe, grosse Kühlhäuser und Klimaanlagen).

Die gespeicherte Wärme kann infolge der niedrigen Temperaturen nicht für die Energieproduktion verwendet werden. Es kommt dafür in erster Linie die Heizung von Wohn- und Arbeitsräumen in Frage, ferner die Aufbereitung von Warmwasser zu Wasch- und Badezwecken sowie für dessen Verwendung in gewissen Industrien.

### 2. Wärmespeicherung im Grundwasser

Der Vorschlag, Grundwasser und Erdboden zur Grossspeicherung von Wärme zu verwenden, stützt sich auf folgende Gegebenheiten [2]):

a) Das Wasser eignet sich dank seiner grossen spezifischen Wärme, seiner guten Wärmeübergangseigenschaften und seiner leichten Transportfähigkeit besonders gut als Wärmeträger.

b) Die für den Wärmeübergang vom Wasser an das Erdreich zur Verfügung stehende Oberfläche ist sehr gross. Damit fallen die für die Uebertragung einer gegebenen Wärmemenge notwendigen Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Stoffen sehr klein aus.

c) Der Wärmespeicher im Grundwasser beansprucht keinen Platz über dem Erdboden; er kann deshalb — sofern es die Grundwasservorkommnisse erlauben — in unmittelbarer Nähe des Verbrauchers aufgestellt werden. Dadurch ergeben sich kurze Zu- und Ableitungen für das warme Wasser.

d) Je nach den hydrologischen und geologischen Verhältnissen des Bodens bestehen günstige Möglichkeiten einer hydrodynamischen Begrenzung des Speicherraumes.

Die räumliche Begrenzung des Speicherraumes kann durch natürliche, schon bestehende undurchlässige Wände bewirkt werden. In alluvialen Bodenschichtungen können Schotter-, Kies- und Sandlinsen vorkommen, die von undurchlässigen Materialien (Ton, Lehm) umschlossen sind. Filterbrunnen, die in solche Grundwasserlinsen hineinstossen, ergeben denn auch erfahrungsgemäss eine mit fortlaufendem Betrieb abnehmende Ergiebigkeit. Wenn solche Linsen eine genügende Grösse aufweisen (einige 100 000 m³), so können sie als Wärmespeicher im Grundwasser verwendet werden. Es genügt dabei, an zwei geeigneten Stellen, die von der Form der Linse abhängen, je einen Filterbrunnen zu bohren. Aus dem einen wird Wasser mittels einer Pumpe heraufgesogen, durch einen Wärmeaustauscher geleitet und nachher durch den zweiten Filterbrunnen wieder an die Grundwasserlinse zurückgeführt. Im wärmeren Halbjahr kann somit durch den Wärmeaustauscher Wärme in den Speicher hineingeführt werden, die im kälteren Halbjahr durch den gleichen Wärmeaustauscher grösstenteils wieder zurückgewonnen wird.

### 3. Hydrodynamische Begrenzung des Speicherraumes

In Bild 1 ist eine Wärmespeicheranlage dargestellt, bei der der Speicherraum durch einen Mantel von strömendem Wasser begrenzt ist. Der Wasserkreislauf des Speichers ist mit der Senke 5 und der Quelle 6 verbunden; er wird über die Zirkulationspumpe 11 und die Wärmeaustauscher 14 und 13 geschlossen. Der Wasserkreislauf des Isoliermantels ist mit der Senke 7 und der Quelle 8 verbunden und wird über die Zirkulationspumpe 12 und den Wärmeaustauscher 15 geschlossen. Ausserdem besteht noch der Nutzwasserkreislauf, dessen Wärmeträger mit der Pumpe 18 durch die isolierten Leitungen 19 und 20 und die Wärmeaustauscher 14 oder 15 zu dem an der Verbrauchsstelle befindlichen Wärmeaustauscher 21 geleitet wird. Dieser Kreislauf ist nur dort vorgesehen, wo sich der Verbraucher in einiger Entfernung vom Speicher befindet.

Durch die Quellen 6 und 8 wird die gleiche Wassermenge herausgesogen, die in den Senken 5 und 7 wieder in den Boden zurückfliesst. Zudem ist die im Kreislauf zirkulierende Wassermenge auch immer die selbe.

*) Dipl. Ing. *H. Trommer*, Zürich, für seine wertvolle Mitarbeit bei der Abfassung des Manuskriptes, sowie Dipl. Math. *W. Kissel*, Zürich, für die gewissenhafte Durchsicht des hier nicht veröffentlichten mathematischen Teiles sei hier der beste Dank ausgesprochen.

[1]) Mit 300 Mio kWh Abfallenergie könnten mit Wärmeaufwertung der Sommerluft von 25° C auf 40° C in Wärmepumpen mit 1 kWh rund 10 000 kcal gewonnen werden.

[2]) Patentrechte in der Schweiz, Italien, Frankreich und USA.

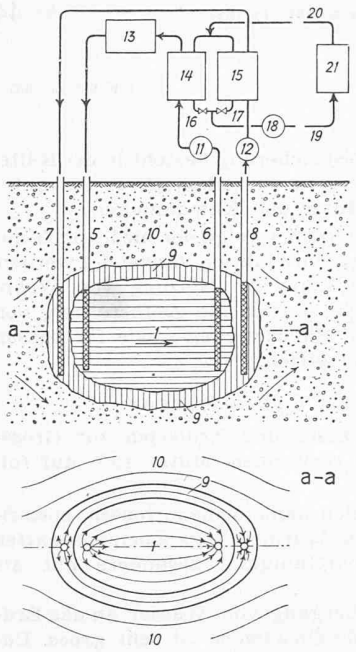


Bild 1. Wärmespeicher im Grundwasser mit hydrodynamischer Begrenzung Bezeichnungen im Text

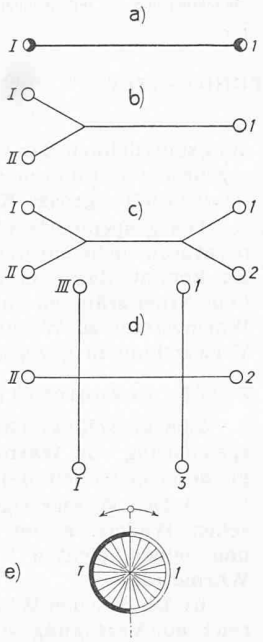


Bild 2. Verschiedene Anordnungen der Filterbrunnen

Der Erdboden wird nach Bild 1 in drei Zonen eingeteilt, nämlich:

a) Die zentrale Zone, die vom Wasser über Quelle 6 und Senke 5 durchströmt wird, und den eigentlichen Speicher darstellt.

b) Die äussere Zone 9, die vom Wasser über Quelle 8 und Senke 7 durchströmt wird; sie bildet die Isolierschicht. Bei Anlagen mit Wärmepumpen lässt sich u. U. ein Teil der in der Isolierschicht gespeicherten Wärme zurückgewinnen.

c) Die unberührte Zone 10 ausserhalb der Isolierschicht, die vom Grundwasser in der ursprünglichen Weise durchströmt wird.

Damit sich Form und Inhalt des Speicherraumes nicht ändern, müssen die Wassermengen in den Zonen a) und b) stets so eingestellt werden, dass der Druckverlust in diesen Zonen proportional dem Grundwassergefälle ist. Demzufolge müssen z. B. bei gleichbleibendem Grundwassergefälle die Wassermengen in den Zonen a) und b) proportional mit den dynamischen Zähigkeiten verändert werden; sie sind also z. B. bei wärmerem Wasser zu vergrössern.

Die jeweils erforderliche Zahl der Quellen und Senken, ihre räumliche Anordnung und ihre Betriebsanforderungen sind je nach den geologischen, hydrologischen und wirtschaftlichen Verhältnissen von Fall zu Fall festzulegen. In Bild 2 sind als Beispiel fünf Möglichkeiten der Anordnung der Quellen und Senken dargestellt. Die Quellen sind dabei mit römischen Ziffern und die Senken mit arabischen Ziffern bezeichnet.

Die Anordnung a) eignet sich für eine Grundwasserströmung ohne zeitliche Richtungsänderung. Die Anordnungen b), c) und d) sind zu wählen, wenn sich die Richtung der Grundwasserströmung ändert. Bild 3 zeigt die Strömungsverhältnisse bei einem Speicher, bei dem die Grundwasserströmung sich um 10° gedreht hat. Die dabei entstehenden Wärmeverluste werden durch das im Bereich $v_k$ und $v_w$ strömende Wasser verursacht, indem bei der Quelle Q kaltes Grundwasser abgesogen und bei der Senke S ein gleicher Teil von warmem Wasser an das Grundwasser abgegeben wird. Dieser Wärmeverlust kann, wie später gezeigt wird, auf verschiedene Arten vermieden werden.

Die Lösung e) eignet sich für eine verhältnismässig kleine Grundwassergeschwindigkeit, wobei Quelle und Senke in einem einzigen Filterbrunnen angeordnet werden können. Eine solche Anordnung heisst in der Hydrodynamik Dipol. Der Speicherraum wird in der Ebene senkrecht zur Axe des Filterbrunnens durch einen Kreis begrenzt, was sich wärmetechnisch sehr günstig auswirkt. Der Filterbrunnen muss darnach zur einen Hälfte als Quelle und zur anderen Hälfte als Senke betrieben werden (Bild 2e), wobei jedoch die Lage

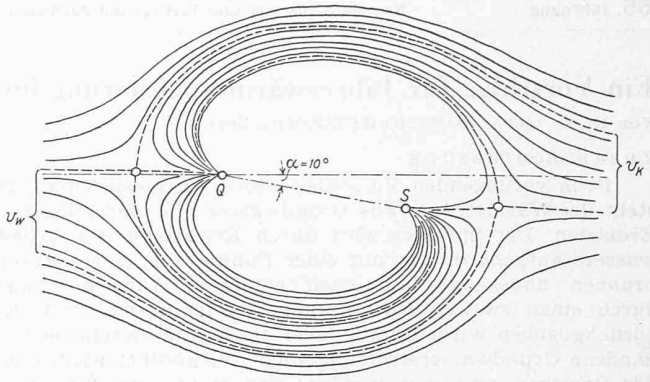


Bild 3. Wärmeverluste infolge einer um 10° veränderten Richtung der Grundwasserströmung. $v_w$ = Verlust an warmem Wasser; $v_k$ Eindringen von kaltem Wasser in die Quelle $Q$

dieser beiden Hälften nicht fest zu sein braucht. Durch Aufteilen des Rohres mit mehreren radialen Wänden kann mit einer einfachen Kommutationseinrichtung die Trennungsebene zwischen Quelle und Senke gedreht werden, wodurch für den Fall einer Aenderung der Richtung der Grundwasserströmung eine geradezu ideale Regulierung erreicht wird.

Bei vollständig ruhendem Grundwasser können auch zwei Filterbrunnen nach Bild 2a angeordnet werden, wobei die beiden innern Hälften des Rohrumfanges für den Warmwasser- und die beiden äussern Hälften für den Kaltwasserkreislauf verwendet werden. Nach den Lehren der Hydrodynamik ergibt sich daraus wiederum eine im Grundriss kreisrunde Begrenzung des Speicherraumes.

Neben diesen verschiedenen Anordnungen von Quellen und Senken in einer einzigen, senkrecht zur Axe der Filterbrunnen liegenden Ebene von bestimmter Tiefe kann es aber auch vorkommen, dass je nach dem Zustand der Grundwasserströmung in den einzelnen Bodenschichten des Speicherraumes zusätzliche Quellen und Senken in parallelen Ebenen von verschiedenen Tiefen angebracht werden müssen. In Bild 4 sind mit ausgezogenen Linien die Stromlinien für den Fall einer Anordnung der Filterbrunnen nach Bild 2b dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen dabei die Strömung für den Fall, bei dem die Geschwindigkeit des ungestörten Grundwassers Null ist. Punkt 3 stellt hier eine Senke dar, deren Ergiebigkeit dreimal so gross ist wie diejenige der Quelle 1, wogegen Quelle 2 wiederum die doppelte Ergiebigkeit von Quelle 1 aufweist. Bei einer Aenderung der Anströmrichtung des Grundwassers muss nun die Ergiebigkeit der Senke 3 sich so auf die Quellen 1 und 2 verteilen, dass kein Grundwasser in den Speicherraum hinein- und auch keines herausfliessen kann. Diese Anordnung stellt damit zugleich eine der vielen Möglichkeiten dar, bei denen die nach Bild 3 auftretenden Wärmeverluste vermieden werden können.

## 4. Begrenzung des Speichers mit Toninjektionen

Die räumliche Begrenzung des Speicherraumes durch eine künstlich erzwungene Strömung kann nur in besonderen Fällen verwirklicht werden. Durch eine nach Bild 5 vorgeschlagene Anordnung wird jedoch das Anwendungsgebiet des Wärmespeichers im alluvialen Boden wieder beträchtlich erweitert. Die Begrenzung des Speicherraumes erfolgt hier an der untern Seite durch natürlichen undurchlässigen Boden F (Fels, Mergel, Lehm, usw.) und an der obern Seite durch eine in der Natur häufig vorkommende Lehmschicht L. Die seitliche Begrenzung wird dagegen durch den mittels Toninjektionen abgedichteten alluvialen Boden I verwirklicht. Es sind zwei Filterbrunnen $B_1$ und $B_2$ für Entnahme und Rückführung des durch die Pumpe P umgewälzten Wassers vorgesehen. Das Wasser wird während der Aufladung des Speichers durch den Wärmeaustauscher H aufgeheizt und während der Wärmeentnahme im Wärmeaustauscher W abgekühlt. Der Wärmeaustauscher W kann weggelassen werden, wenn Aufladung und Entladung mit dem gleichen Wärmeaustauscher H möglich ist. Soll das Speicherwasser direkt zum Heizen benützt werden, so schliesst man den Schieber $S_1$ und öffnet den Schieber $S_2$.

In der Technik der Toninjektionen wurden in den letzten Jahrzehnten grosse Fortschritte erzielt; ihr Anwendungsgebiet erstreckt sich sogar auch auf die Dichtung von künstlichen

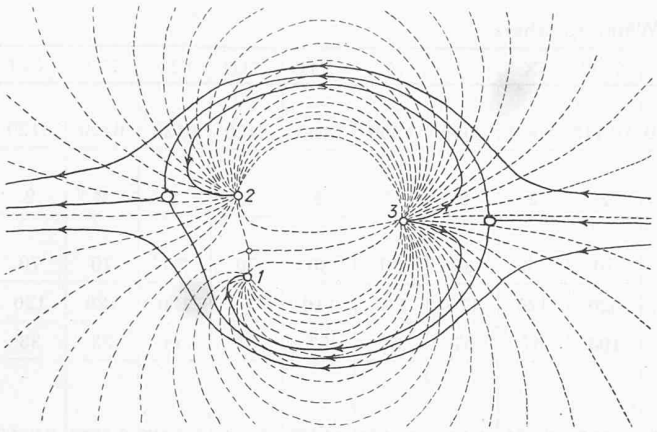


Bild 4. Anpassung an eine veränderliche Strömungsrichtung des Grundwassers durch drei Filterbrunnen nach Bild 2b

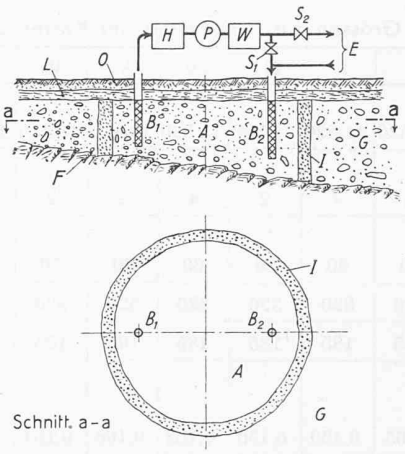


Bild 5. Speicherbegrenzung durch Toninjektionen; Bezeichnungen im Text

Seen, wobei hier Drücke von einigen Atmosphären abzudichten sind [11] *). Im Falle des Wärmespeichers sind dagegen Druckdifferenzen in der Grössenordnung von nur einigen m W. S. zu erwarten. Nach fachmännischem Urteil stehen der Verwirklichung einer Begrenzung des Speicherraumes mittels Toninjektionen keine Hindernisse technischer Art im Wege.

## 5. Thermischer Wirkungsgrad eines Speichers mit Begrenzung durch Toninjektionen

Als thermischer Wirkungsgrad des Speichers wird hier das Verhältnis der ausnützbaren Wärmemenge zu der in den Speicher hineingeführten Wärmemenge definiert. Da Abwärme in der warmen Jahreszeit praktisch kostenlos zur Verfügung steht, werden im folgenden zwei Wirkungsgrade unterschieden: einer für die kalte Jahreszeit (6 Wintermonate), während der die Wärme zu Heizzwecken gebraucht wird und ein zweiter für die warme Jahreszeit (6 Sommermonate), während der die Wärme anderswie verwendet wird. Die Bestimmung des thermischen Wirkungsgrades eines Speichers mit hydrodynamischer Begrenzung ist infolge der auftretenden natürlichen Konvektionsströmungen sehr kompliziert, und es ist bis jetzt nicht gelungen, sie rechnerisch genau genug zu erfassen. Es werden somit im folgenden nur die thermischen Wirkungsgrade von Speichern mit Begrenzung durch einen injizierten Tonschleier besprochen [3]). Dabei wird als ausnützbare Wärme für die Winterperiode die maximale Wärmekapazität vermindert um die Wärmeverluste, für die Sommerperiode die ganze maximale Wärmekapazität verstanden. Als hineingeführte Wärmemenge ist für den Sommer die tatsächlich

*) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

[3]) Der Berechnungsgang wird in einer Studie behandelt, die demnächst im «Schweizer Archiv» erscheinen wird.

Tabelle 1. Thermische Wirkungsgrade des Wärmespeichers in %

| Volumen . . . . . m³ | | | 1 000 000 | | | | | | | | 100 000 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wirksame Tiefe . . . . m | | | 10 | | | | 30 | | | | 10 | | | | 30 | | | |
| Brutto-Kapazität | Mio kcal | | 11 000 | | | | 11 000 | | | | 1 100 | | | | 1 100 | | | |
| | t Kohle | | 2 200 | | | | 2 200 | | | | 220 | | | | 220 | | | |
| Temperaturspanne | von °C | | 50 | | 40 | | 50 | | 40 | | 50 | | 40 | | 50 | | 40 | |
| | bis °C | | 30 | | 20 | | 30 | | 20 | | 30 | | 20 | | 30 | | 20 | |
| Durchlässigkeits-Koeffizient des Bodens . . . . m/s | | | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0001 |
| Kenn-Nummer . . . . . | | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
| Winter | Erstes Jahr | 1 *) | 70,7 | 75,5 | 81,6 | 83,6 | 83,2 | 86,6 | 88,8 | 90,8 | 48,0 | 60,4 | 66,6 | 73,8 | 44,6 | 51,7 | 64,2 | 68,0 |
| | | 3 | 69,5 | 73,5 | 80,1 | 82,5 | 78,5 | 81,0 | 85,7 | 87,0 | 37,9 | 56,6 | 60,0 | 65,2 | 16,7 | 22,1 | 45,2 | 47,7 |
| | | 10 | 65,9 | 69,1 | 77,7 | 79,4 | 69,1 | 70,4 | 79,2 | 80,0 | 15,7 | 21,2 | 44,6 | 47,5 | 0 | 0 | 0 | 5,3 |
| | Mittelwert der zehn ersten Jahre | 1 | 77,5 | 82,3 | 85,4 | 88,4 | 85,0 | 88,3 | 90,3 | 92,3 | 54.5 | 67,0 | 71,1 | 78,2 | 46,9 | 54,0 | 65,6 | 69,4 |
| | | 3 | 76,2 | 80,2 | 84,6 | 87,0 | 80.3 | 82,7 | 87,3 | 88,4 | 44,4 | 63.1 | 64,4 | 69,6 | 19,0 | 23,4 | 46,6 | 49,1 |
| | | 10 | 72,6 | 75,7 | 82,2 | 83,8 | 71,0 | 72,1 | 80,7 | 81,5 | 22,3 | 27,6 | 49,0 | 52,0 | 0 | 0 | 0 | 6,8 |
| | Zehntes Jahr | 1 | 78,9 | 83,6 | 86,5 | 89,3 | 85,5 | 88,8 | 90,6 | 92,6 | 56,1 | 68,5 | 72,0 | 79,2 | 47,2 | 54,5 | 66,0 | 69,8 |
| | | 3 | 77,7 | 81,7 | 85,6 | 87,9 | 80,9 | 83,2 | 87,6 | 88,9 | 46,0 | 64,7 | 65,3 | 70,7 | 19,5 | 23,8 | 47,1 | 49,5 |
| | | 10 | 74,0 | 77,2 | 83,2 | 84,8 | 72,3 | 72,7 | 81,1 | 81,9 | 23,8 | 29,2 | 50,0 | 52,9 | 0 | 0 | 0 | 7,2 |
| Sommer | Erstes Jahr | 1 | 45,2 | 46,4 | 60,9 | 62,0 | 46,2 | 47,0 | 62,1 | 63,0 | 40,6 | 42,9 | 55,1 | 57,4 | 39,0 | 40,1 | 53,0 | 54,1 |
| | | 3 | 45,1 | 45,9 | 60,6 | 61,1 | 45,3 | 45,8 | 61,1 | 61,5 | 39,1 | 42,1 | 53,2 | 54,9 | 35,2 | 35,7 | 48,2 | 48,8 |
| | | 10 | 44,2 | 45,0 | 59,7 | 60,3 | 43.4 | 43,8 | 58,4 | 58,9 | 36,1 | 36,7 | 49,1 | 50,0 | 26,8 | 30,0 | 39,4 | 40,5 |
| | Mittelwert der zehn ersten Jahre | 1 | 86,2 | 99,0 | 90,8 | 93,1 | 88,2 | 90,7 | 92,3 | 94,2 | 72,2 | 79,1 | 80,3 | 85,2 | 66,3 | 69,6 | 75,3 | 77,5 |
| | | 3 | 85,5 | 88,6 | 90,0 | 92,0 | 84,7 | 86,3 | 90,1 | 90,8 | 67,3 | 76,9 | 76,2 | 79,4 | 56,0 | 57,4 | 65,9 | 67,0 |
| | | 10 | 82,9 | 85,1 | 88,2 | 89,5 | 78,3 | 79,0 | 84,2 | 85,3 | 58,8 | 60,4 | 68,1 | 69,7 | 37,5 | 43,9 | 50,6 | 52,3 |
| | Zehntes Jahr | 1 | 87,4 | 91,3 | 91,7 | 94,2 | 88,4 | 91,2 | 92,7 | 94,4 | 73,0 | 80,1 | 81,0 | 85,8 | 66,5 | 69,8 | 75,5 | 77,7 |
| | | 3 | 86,4 | 89,6 | 91,0 | 92,9 | 84,9 | 86,7 | 90,4 | 91,2 | 67,9 | 77,7 | 76,8 | 80,0 | 56,0 | 57,5 | 66,0 | 67,1 |
| | | 10 | 84,0 | 86,2 | 89,1 | 90,4 | 78,7 | 79,4 | 84,4 | 85,6 | 59,3 | 61,0 | 68,7 | 70,1 | 37,5 | 44,0 | 50,6 | 52,3 |

*) Grundwasser-Geschwindigkeit in m/Tag

Tabelle 2. Verschiedene Grössen zur Berechnung der Kosten des Wärmespeichers

| Kenn-Nummer | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oberfläche der Toninjektionen m² | | 11 520 | 11 520 | 11 520 | 11 520 | 19 410 | 19 410 | 19 410 | 19 410 | 3550 | 3550 | 3550 | 3550 | 6120 | 6120 | 6120 | 6120 |
| Anzahl Filterbrunnen . . . . . | | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Gesamte Länge der Filterbrunnen m | | 30 | 60 | 30 | 60 | 70 | 70 | 70 | 70 | 30 | 30 | 30 | 30 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Rohrleitungen | ∅ mm | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 120 | 110 | 110 | 110 | 130 | 130 | 120 | 120 |
| | Länge m | 185 | 185 | 185 | 185 | 105 | 105 | 105 | 105 | 57 | 57 | 57 | 57 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| Wasserpumpe | Wassermenge m³/s | 0,165 | 0,159 | 0,156 | 0,153 | 0,166 | 0,164 | 0,156 | 0,155 | 0,021 | 0,018 | 0,0185 | 0,0177 | 0,025 | 0,0247 | 0,0214 | 0,0210 |
| | Förderhöhe m | 8,0 | 20,1 | 7,8 | 19,4 | 3,58 | 19,4 | 3,46 | 18,9 | 3,1 | 14,5 | 3,2 | 14,3 | 2,4 | 7,5 | 2,5 | 6,9 |
| | Elek. Leistung kW | 16,2 | 39,2 | 15,0 | 36,6 | 7,3 | 39,2 | 6,7 | 36,2 | 0,8 | 3,2 | 0,73 | 3,1 | 0,75 | 2,3 | 0,67 | 1,8 |
| | Energieverbr. 1000 kWh pro Jahr | 140 | 340 | 130 | 316 | 63 | 338 | 58 | 313 | 7,0 | 28 | 6,3 | 27 | 6,5 | 20 | 5,8 | 15,6 |
| Oberfläche des Wärmeaustauschers . . . m² | | 588 | 566 | 556 | 545 | 590 | 584 | 555 | 552 | 74,8 | 64 | 66 | 63 | 89 | 88 | 76 | 75 |

eingeführte, für den Winter die maximale Wärmekapazität einzusetzen.

In Tabelle 1 sind die Wirkungsgrade des Speichers von 1,0 bzw. 0,1 Mio m³ Inhalt für verschiedene wirksame Tiefen und Temperaturspannen während des Betriebes im Winter und im Sommer angegeben. Weiter ist dort auch die Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Durchlässigkeits-Koeffizienten[4]) des Bodens und von der Grundwassergeschwindigkeit dargestellt. Endlich sind noch für alle diese Variationen die entsprechenden Wirkungsgrade für das erste und das zehnte Betriebsjahr, sowie als Mittelwert für die ersten zehn Betriebsjahre des Speichers angegeben. Die Angabe von Prozenten und Promillen der Wirkungsgrade sollen die Einflüsse der verschiedenen Grössen besser beurteilbar machen.

Aus Tabelle 1 folgt, dass der Wirkungsgrad im Winter, wo er wirtschaftlich am interessantesten ist, bei nicht zu grossen Wassergeschwindigkeiten für Speicher mit grösserer wirksamer Tiefe entsprechend höher ausfällt, als für solche mit kleinerer Tiefe. Bei grossen Grundwassergeschwindigkeiten liegen diese Verhältnisse gerade entgegengesetzt. Beim grossen Speicher zeigt sich sodann, dass die Durchlässigkeit des Bodens den Wirkungsgrad nur verhältnismässig wenig beeinflusst. Bei Verzehnfachung der Durchlässigkeits-Koeffizienten (von 0,0001 auf 0,001 m/s) ändert sich der Wirkungsgrad nur um wenige Prozente. Von etwas grösserem Einfluss ist dagegen die Temperatur des Grundwassers im Speicher.

Wie zu erwarten war, beeinflusst die Grösse des Speicherraumes den Wirkungsgrad erheblich. Sie ist denn auch für die Wirtschaftlichkeit der ganzen Speicheranlage von entscheidender Bedeutung. Ein Speicher von der Grösse von 100 000 m³ ist in vielen Fällen überhaupt nicht möglich. Die in der Tabelle aufgeführten Werte der Durchlässigkeits-Koeffizienten stellen die Grenzen der meist auftretenden Werte dar; das selbe gilt von den angegebenen Werten der Grundwassergeschwindigkeit, indem 3 m/Tag einen sehr oft vorkommenden Mittelwert darstellt.

Die für den Sommer des ersten Betriebsjahres angegebenen Wirkungsgrade sind verhältnismässig klein, weil zum Aufladen des Speichers von 10° C (Grundwassertemperatur) auf die minimale Speichertemperatur von 30 bzw. 20° C viel Wärme nötig ist. Der Einfachheit halber wurde bei der Berechnung die isolierende Wirkung des durch den Ton abgedichteten Bodens vernachlässigt, daher werden sämtliche berechneten Wirkungsgrade in Wirklichkeit noch etwas höher ausfallen.

[4]) Als Durchlässigkeits-Koeffizient definiert man die Sickergeschwindigkeit beim Grundwassergefälle 1.

### III. Ueber die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Wärmespeicherung

1. Kostenvoranschlag für die in Tabelle 1 angegebenen 16 Lösungen des Wärmespeichers

Bei der Bestimmung der Baukosten und den sich daraus ergebenden Jahreskosten sind folgende Arbeiten und Lieferungen in Betracht gezogen worden: Vorstudien, Sondierungen, Messungen und Projekte, Toninjektionen, Filterbrunnen, isolierte Rohrleitungen, Wasserpumpen-Aggregat, Wärmeaustauscher, elektrische Energie für den Pumpenantrieb. Tabelle 2 enthält die für die Berechnung notwendigen Hauptdaten der Anlagen, Tabelle 3 gibt die Kosten und Zinsen sowie die Einheitspreise und den Zinsfuss für die einzelnen Positionen an. Falls der Zinsfuss für besondere Verhältnisse nicht mit dem angegebenen Wert übereinstimmt, können die Jahreskosten aus den Werten der Tabelle 2 leicht umgerechnet werden. In Tabelle 4 findet sich schliesslich eine Zusammenstellung der Kosten für eine äquivalente Tonne Kohle, wobei für die Umrechnung ein mittlerer nutzbarer Heizwert von 5000 kcal/kg angenommen wurde. (Die gespeicherte Wärmemenge wird hier im Hinblick auf eine bessere Uebersicht durch die entsprechende Menge Kohle angegeben.) Aus Tabelle 4 folgt, dass nur der mit 2200 t Kohle Wärmekapazität angegebene Speicher wirtschaftlich interessant ist, indem die berechneten Kosten pro Tonne Kohle hier kaum $^1/_3$ der normalen Preise betragen. (Der Vergleich bezieht sich dabei auf den Mittelwert der Preise für Gaskoks in der Schweiz, der für die Periode von 1915 bis 1935 mit Fr. 110.70 angegeben wird.)

Tabelle 4. Kosten in Franken für eine äquivalente Tonne Kohle (nützlicher Heizwert 5000 kcal/kg)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1*) | 34,2 | 31,4 | 30,7 | 33,7 | 42,3 | 46,9 | 39,6 | 44,1 | 133 | 113 | 102 | 96,5 | 248 | 219 | 176 | 168 |
| 3 | 34,8 | 32,2 | 31,0 | 34,3 | 44,9 | 50,0 | 41,0 | 46,1 | 162 | 120 | 113 | 109 | 609 | 557 | 248 | 238 |
| 10 | 36,5 | 34,1 | 31,9 | 35,7 | 50,6 | 57,3 | 44,3 | 49,9 | 325 | 275 | 149 | 145 | ∞ | ∞ | ∞ | 1720 |

*) Grundwassergeschwindigkeit in m/Tag

Tabelle 3. Kosten des Wärmespeichers in Mio Franken

| Position | Einheitspreis bzw. Zinsfuss | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Toninjektionen | 55 Fr. pro m² | 0,635 | 0,635 | 0,635 | 0,635 | 1,070 | 1,070 | 1,070 | 1,070 | 0,196 | 0,196 | 0,196 | 0,196 | 0,338 | 0,338 | 0,338 | 0,338 |
| | 5 % | 0,0318 | 0,0318 | 0,0318 | 0,0318 | 0,0504 | 0,0504 | 0,0504 | 0,0504 | 0,0098 | 0,0098 | 0,0098 | 0,0098 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 | 0,0169 |
| Filterbrunnen | [1]) | 0,009 | 0,018 | 0,009 | 0,018 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 |
| | 5,5 % | 0,0005 | 0,0010 | 0,0005 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 |
| Rohrleitungen | 400 Fr./m | 0,074 | 0,074 | 0,074 | 0,0074 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,0228 | 0,0228 | 0,0228 | 0,0228 | 0,0132 | 0,0132 | 0,0132 | 0,0132 |
| | 7 % | 0,0052 | 0,0052 | 0,0052 | 0,0052 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0009 |
| Wasserpumpen | 1000 Fr. pro kW | 0,0162 | 0,0392 | 0,015 | 0,0366 | 0,0073 | 0,0392 | 0,0067 | 0,0362 | 0,0008 | 0,0032 | 0,0007 | 0,0031 | 0,0008 | 0,0023 | 0,0007 | 0,0018 |
| | 10 % | 0,0016 | 0,0039 | 0,0015 | 0,0037 | 0,0007 | 0,0039 | 0,0007 | 0,0036 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0002 |
| Wärmeaustauscher | 120 Fr. pro m² | 0,0706 | 0,068 | 0,067 | 0,0654 | 0,071 | 0,070 | 0,0666 | 0,0662 | 0,009 | 0,0077 | 0,0079 | 0,0076 | 0,0107 | 0,0106 | 0,0091 | 0,009 |
| | 8 % | 0,0057 | 0,0054 | 0,0054 | 0,0052 | 0,0057 | 0,0056 | 0,0053 | 0,0053 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0007 |
| Vorstudien, Messungen | [2]) | 0,190 | 0,190 | 0,190 | 0,190 | 0,320 | 0,320 | 0,320 | 0,320 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| | 5 % | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Elektr. Energie | 0,03 Fr. pro kWh | 0,0042 | 0,0102 | 0,0039 | 0,0095 | 0,0019 | 0,0105 | 0,0018 | 0,0095 | 0,0002 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0006 | 0,0002 | 0,0005 |
| Total Baukosten | | 0,995 | 1,024 | 0,990 | 1,019 | 1,540 | 1,570 | 1,535 | 1,565 | 0,300 | 0,299 | 0,297 | 0,299 | 0,491 | 0,492 | 0,489 | 0,490 |
| Total Jahreskosten | | 0,0585 | 0,057 | 0,0577 | 0,066 | 0,0792 | 0,091 | 0,0787 | 0,0895 | 0,0159 | 0,0167 | 0,016 | 0,0166 | 0,0255 | 0,0261 | 0,0254 | 0,0258 |

[1]) Bis 15 m Tiefe 300 Fr./m, bis 35 m Tiefe 400 Fr./m; [2]) Rund 30 % der Kosten der Toninjektionen

## 2. Wirtschaftlicher Vergleich mit Projekten anderer Verfasser

Es werden nachfolgend nur solche Projekte zum Vergleich herangezogen, die Abwärmen von niedriger Temperatur ausnützen. Die Temperaturspanne wird für alle Speicher in den Grenzen von 50 bis 30 ° C gehalten. Der Geländespeicher von Runte wird hier ausgeschlossen, da er mit sehr viel höheren Temperaturen arbeitet.

Die zu vergleichenden, dem Verfasser bis jetzt bekannten Speicher sind diejenigen von Seehaus, Gasser und der in vorliegender Publikation beschriebene Speicher mittels Toninjektionen. Um eine Beurteilung zu ermöglichen, müssen vorerst die Jahreskosten für die Wärmelieferung entsprechend 1 t Kohle auf vergleichbare Verhältnisse bezogen werden, d. h. die Einheitskosten müssen auf gleiche Wärmekapazität (2200 t Kohle) und die gleiche Temperaturspanne (50 bis 30 ° C) umgerechnet werden. Ueberdies wird auch der von 1940 bis 1948 eingetretenen Teuerung Rechnung getragen, wobei jedoch die Kosten der Speicher von Seehaus und Gasser mit einem absichtlich niedrig gehaltenen Teuerungszuschlag von nur 40 % belastet werden.

Die hauptsächlichsten Kostenangaben sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Es hat sich dabei vor allem als notwendig erwiesen, die Kosten pro m² Oberfläche des Speicherraumes zu bestimmen, die aus der Tabelle durch Division der Gesamtkosten (Kolonne 4) mit der Oberfläche des Speichers (Kolonne 2) erhalten werden. Die entsprechenden Werte sind in Kolonne 5 und die um 40 % vergrösserten in Kolonne 6 angegeben. Kolonne 8 gibt sodann die im Verhältnis der Temperaturspannen (Kolonne 7) vergrösserten Speichervolumina (Kolonne 3) an. Bei der Berechnung der neuen Oberfläche der Speicher wurde die Annahme getroffen, dass sich die Speicher der selben Verfasser geometrisch ähnlich sind. Die Vergrösserung der Oberflächen erfolgt darnach mit der $^2/_3$ Potenz der Verhältnisse der verschiedenen Volumina. Die in Kolonne 10 angegebenen Gesamtkosten der so vergleichbaren Speicher ergeben sich endlich aus dem Produkt der betreffenden Werte von Kolonne 5 und 9. Die Kosten der Speicher von Seehaus und Gasser sind den entsprechenden Publikationen [2], [7] entnommen worden, während die Kosten des Speichers im Grundwasser den Mittelwert der in Tabelle 3 angegebenen Werte darstellen (1 280 000 Fr.). Es sei hier noch bemerkt, dass der in dieser Tabelle vorkommende Minimalpreis kaum eine Million Franken erreicht, und dass man in günstigen Fällen diese Kosten noch erheblich niedriger halten kann.

Es ist jedenfalls interessant zu konstatieren, dass die Kosten eines Wärmespeichers im Grundwasser nur etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ derjenigen der Projekte der anderen Verfasser betragen. Bei günstigen hydrologischen Verhältnissen können für Speicher mit hydrodynamischer Begrenzung ebenfalls sehr interessante Vergleiche erwartet werden.

Tabelle 5. Vergleich der Kosten verschiedener Bauarten des Wärmespeichers

| Wärmespeicher | Angaben nach Projekt | | | | | | | Auf 2200 t Kohle und eine Temperaturspanne von 50 ÷ 30 ° C umgerechnet | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wärme-Kapazität | Oberfläche | Volumen | Gesamte Kosten | Kosten pro m² Oberfläche Jahr 1940/41 | Kosten pro m² Oberfläche Jahr 1948 | Temperaturspanne | Volumen | Oberfläche | Gesamte Kosten 1948 |
| | t Kohle | m² | m³ | Fr. | Fr./m² | Fr./m² | ° C | m³ | m² | Fr. |
| (Kolonne) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| Seehaus | 42 | 1 100 | 3 000 | 71 000 | 64,6 | 90,4 | 95 ÷ 25 | 550 000 | 35 800 | 3 240 000 |
| Gasser | 1 800 | 27 000 | 300 000 | 2 500 000 | 83,5 | 117 | 60 ÷ 30 | 550 000 | 40 500 | 4 740 000 |
| Im Grundwasser | 2 200 | — | 1 000 000 | 1 280 000 | — | — | 50 ÷ 30 | 1 000 000 | — | 1 280 000 |

**IV. Richtlinien bei der Projektierung eines Wärmespeichers im Grundwasser**

1. Hydrodynamische Begrenzung des Speicherraumes

Diese Lösung empfiehlt sich für den Fall einer Grundwasserströmung, die im Lauf der Zeit keine zu grossen Richtungsänderungen aufweist. Bei 10 bis 15 m wirksamer Tiefe ist es hier gegeben, mindestens vier bis fünf Filterbrunnen als Quellen und ebensoviele als Senken anzuordnen. Eingehende Sondierungen des Terrains sowie die Messung des Grundwasserspiegels an verschiedenen Punkten während mindestens einem Jahre sind unumgänglich nötig, um die Bohrungen für Quellen und Senken richtig ansetzen zu können.

Da die Bestimmung des thermischen Wirkungsgrades eines hydrodynamisch begrenzten Speichers bis jetzt noch nicht möglich ist, sei hier nur ein interessanter Fall erwähnt, der bei der Inbetriebsetzung der Kohlensäure-Kühlanlage in Monti Forli (Italien) im Jahre 1927 vorgekommen ist. Die leider sehr spärlichen Angaben (es sind alle diesbezüglichen Dokumente vernichtet worden) betreffen eine Kühlanlage von 25 000 kcal/h Kühlleistung, 35 000 kcal/h Kondensationswärme und einer Kühlwassermenge von 7000 l/h. Das Kühlwasser wurde mit einem Brunnen dem Grundwasser entnommen und nach erfolgtem Wärmeaustausch mit einem zweiten, 10 m vom ersten entfernten Brunnen wieder in den Boden zurückgeführt. Dabei ist die Kühlwassertemperatur innert weniger Stunden von 18° C auf 30° C angestiegen, worauf der Betrieb eingestellt und die erforderliche Wärmeabfuhr auf andere Art bewirkt werden musste.

Da die Grundwassergeschwindigkeit im allgemeinen nach Grösse und Richtung zeitlich etwas veränderlich ist, müssen gewisse zusätzliche Anordnungen getroffen werden. Wenn nur die Grösse der Geschwindigkeit eine Aenderung aufweist, so werden vorerst ausserhalb des Wärmespeichers drei Wasserstandpegel angebracht, die sich an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks befinden. Eine automatische Einrichtung hat nun dafür zu sorgen, dass die Förderhöhe der Pumpe stets proportional dem Grundwassergefälle eingestellt wird. Bei veränderlicher Richtung der Grundwasserströmung müssen dagegen Quellen mit Senken vertauscht werden, was z. B. mit einer Ringleitung erreicht werden kann, an die alle Quellen und Senken angeschlossen und in die die notwendigen Abschlussorgane eingebaut sind.

2. Begrenzung des Wärmespeichers mittels Toninjektionen

Da die Kosten der Toninjektionen rd. $^2/_3$ der Gesamtkosten des Speichers betragen, scheint es gegeben, diese Art Wärmespeicher möglichst wenig tief anzuordnen, also die schon erwähnten 10 bis 15 m Tiefe nicht zu überschreiten. Im Idealfall werden Boden und Decke des Speichers durch eine natürliche undurchlässige Schicht gebildet. Man erhält damit einen Speicher, der nach erfolgter Toninjektion auf allen Seiten durch praktisch undurchlässige Wände begrenzt ist. Fehlt die undurchlässige Schicht an der Decke, so ergibt sich ein etwas kleinerer Wirkungsgrad, da ein Teil der Niederschläge in den Speicher hineinsickert. In den Alpengegenden ist jedoch der Niederschlag während des Winters im allgemeinen klein, und man wird somit in dieser wichtigen Periode des Speichers mit einer Wirkungsgradeinbusse von nur wenigen Prozenten zu rechnen haben. Die obere Begrenzungsfläche des Speichers soll nach Möglichkeit mindestens 4 bis 5 m unter die Erdoberfläche gelegt werden, um die Wärmeverluste nach oben in wirtschaftlich erträglichen Grenzen zu halten. Der Inhalt soll mindestens 3 bis 400 000 m³ betragen.

3. Thermische Einflüsse auf die Umgebung des Speichers

Wie die genaue Rechnung zeigt, bildet sich an der aussenseitigen Oberfläche des Speichers eine Uebergangsschicht der Grundwasserströmung, die eine höhere Temperatur aufweist, als das angrenzende ungestörte Grundwasser selbst. Die Dicke dieser Schicht nimmt mit zunehmender Wegstrecke, die das Grundwasser längs der Speicheroberfläche zurücklegt, ständig zu; ihre maximale Dicke beträgt bei Speichern von 1 Mio m³ etwa 2 m. Im Punkte, an dem diese Schicht sich vom Speicher ablöst, vereinigt sie sich mit derjenigen der anderen Seite des Speichers und bildet somit eine Art warmes Kielwasser. Die im Kielwasser fortgeführte Wärmemenge wird nun an das angrenzende kalte Grundwasser abgegeben. In der mittleren Partie dieses Kielwassers sind Temperaturen von maximal etwa 30° C zu erwarten, die jedoch in einem Abstand von 20 bis 50 m vom Speicher schon auf etwa 15° C abgesunken sind. Im Bereich dieses warmen Kielwassers, d. h. bis zu einem Abstand von etwa 100 m vom Speicher darf kein Filterbrunnen abgeteuft werden, dessen Wasser zu Trink- oder Kühlzwecken verwendet werden soll.

Die Wärmeverluste nach oben ergeben eine Temperaturerhöhung an der Erdoberfläche von wenigen ° C. Kellerräume, die sich über dem Speicher befinden, werden bei einer Tiefe von 2 bis 3 m um etwa 7 bis 8° C erwärmt.

Die Wärmeverluste an den unterhalb des Speichers liegenden Boden dürfen keinerlei Störungen verursachen. Die hierfür gültige Grundwasser-Verordnung [5]) bestimmt: «Ohne spezielle Bewilligung der zuständigen Behörden darf das durch den Gebrauch entstehende Abwasser nicht durch Sikkerschächte oder sonstige Vorkehren dem Grundwasser wieder zugeführt oder sonst versenkt werden». Da das für die Wärmespeicherung benötigte Grundwasser einen geschlossenen, von Verunreinigungen geschützten Kreislauf bildet, ist jedoch anzunehmen, dass die zuständigen Behörden die Bewilligung für die Errichtung eines Grundwasser-Wärmespeichers in beschriebenem Sinne erteilen werden.

**Literaturangaben**


[1] O. Frei: Verwertung elektrischer Ueberschussenergie zur Erzeugung von Wärme. SBZ, Bd. 118, S. 243 (22. Nov. 1941).
[2] A. Gasser: Weiterer Vorschlag für Winterheizung durch Sommerwärme. «Bulletin SEV», 32. Jg., Nr. 6, S. 93 (1941).
[3] J. Hug u. A. Beilick: Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Bern 1934. Kommissionsverlag Kümmerly & Frey.
[4] M. Hottinger: Winterheizung durch Sommerenergie. «Elektrizitäts-Verwertung», 16. Jg., Nr. 6/7, S. 99 (1941).
[5] E. Prinz: Hydrologie. Berlin 1923. Verlag J. Springer.
[6] P. Seehaus: Winterheizung mit elektrischer Sommerenergie. «Schweiz. Techn. Zeitschrift», 15. Jg., Nr. 45/46, S. 546/49 (1940).
[7] P. Seehaus: Winterheizung mit Sommerenergie. «Bulletin SEV», 31. Jg., Nr. 15, S. 317/31 (1940).
[8] P. Seehaus: Eine Geländewärmespeicher-Versuchsanlage in Zürich. «Bulletin SEV», 37. Jg., Nr. 10, S. 279/81 (1946).
[9] A. Spoerli: Speicherung von Sommer-Ueberschussenergie für den Wärmebedarf im Winter. «Bulletin SEV», 31. Jg., Nr. 24, S. 564/67 (1940).
[10] Gross - Heisswasserspeicheranlagen, System Magro. «Bulletin SEV», 30. Jg., Nr. 3, S. 78 (1939).
[11] A. Mayer: Les terrains perméables. Paris 1947. Ed. Dunod.


## Voranschlag 1949 der Schweiz. Bundesbahnen

DK 625.1 (494)

Dem vorliegenden Bericht entnehmen wir folgende interessante Angaben: Die kilometrischen Leistungen in Triebfahrzeugkilometern betrugen nach Rechnung 1947 rd. 69 Mio km oder 4,41 % mehr als nach Voranschlag 1948. Für 1949 sind 71 000 000 km vorgesehen, davon werden 6,7 % durch thermische Triebfahrzeuge (im Jahre 1948 waren es 9,22 %) geleistet. Der Personalbestand wird von 36 377 nach Rechnung 1947 auf 38 298 nach Voranschlag 1949 ansteigen. Gesamtaufwand und Gesamtertrag weisen im wesentlichen die in der Tabelle aufgeführten Beträge auf.

In der Baurechnung sind für 1949 137 Mio Fr. oder 22,1 Mio Fr. mehr als im Voranschlag für 1948 vorgesehen. Trotz dieser Erhöhung wird nur den dringendsten Erneuerungs- und Ausbaubedürfnissen Rechnung getragen. Es werden denn auch für die kommenden Jahre noch höhere Voranschläge in Aussicht gestellt, was umso nötiger sein wird, als bei der gegenwärtigen Vollbeschäftigung von Baugewerbe und Industrie jetzt noch scharfe Zurückhaltung geboten ist und zahlreiche wichtige Bauvorhaben zurückgestellt wurden.

Der Um- und Ausbau verschiedener Bahnhofanlagen und Dienstgebäude ist wegen der starken Verkehrszunahme nötig: Die Verkehrsziffern sind bei rd. 75 % der Bahnhöfe und Stationen im Durchschnitt der Jahre 1944—46 um mehr als 30 % gegenüber 1938—40 gestiegen, bei rd. 33 % um mehr als 50 %. Ein Betrag von 5,9 Mio Fr. für den Ausbau von Linien und von Anlagen der offenen Strecke umfasst den Ausbau des Streckenblocks, den Einbau der automatischen Zugsicherung, den Ersatz von Brücken und die Verbesserung von Streckeneinrichtungen im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Linie Winterthur - Wald.

Zum Erhalten eines guten Gleiszustandes sollten jährlich 130 km Hauptgleis erneuert werden. Um den kriegsbedingten Rückstand in diesen Arbeiten aufzuholen, sind für die nächsten Jahre 145 bis 150 km pro Jahr vorgesehen.

[5]) Wasserbaugesetz § 4, Schweizerische Gesetzgebung § 65 [3].