

Geothermische Energie : die Gewinnung von Wärme aus der Oberen Meeressmolasse mit Wärmepumpen

Autor(en): **Stürzinger, Peter / Haeflerli, Charles**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **69 (1977)**

Heft 8-9

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941500>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

1. Einleitung

Es mag erstaunlich klingen, aber es gibt tatsächlich so etwas wie geothermische Energievorkommen in unserem Lande. Sie sind bescheiden und für unsere Energieversorgung von marginaler Bedeutung. Auf der anderen Seite handelt es sich um regenerierbare Energievorkommen, die uns zur Verfügung stehen, und deren Nutzung aus diesem Grunde untersucht werden muss. Leider ist das geothermische Bild der Schweiz noch sehr unvollständig. Bisher wurden in unserem geologisch sonst gut bekannten Land kaum geothermische Untersuchungen durchgeführt. Die vom Bundesrat eingesetzte «Eidgenössische Fachkommission für die Nutzung geothermischer Energie und die unterirdische Wärmespeicherung» unter der Leitung von PD Dr. L. Rybach unternimmt gegenwärtig den Versuch, diese Lücken zu schliessen und durch theoretische und praktische Arbeiten die diesbezüglichen Kenntnisse zu erweitern. Die heute zur Verfügung stehenden Daten sind noch sehr unvollständig und oft mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet. Sie basieren zum Teil auf Wärmeflussbestimmungen in Alpentunnels, Temperaturmessungen in Thermalquellen und Explorationsbohrungen auf Erdöl. Das einzige, was aufgrund dieser rudimentären Kenntnisse mit ziemlicher Sicherheit ausgeschlossen werden kann, ist das Vorhandensein geothermischer Heisswasser- und Dampffelder in einigen Kilometern Tiefe. Die Ausnutzung geothermischer Energie muss sich in unserem Lande deshalb zwangsläufig auf Tieftemperaturanwendungen oder auf die Schaffung künstlicher Dampffelder nach dem «Hot Dry-Rock»-Verfahren in heissen Gesteinsschichten grosser Tiefe beschränken. Die Tieftemperaturvorkommen verdienen infolge ihrer technisch einfachen Nutzbarkeit besondere Aufmerksamkeit. Sie könnten ohne grosse Entwicklungsarbeiten einen kleinen Beitrag an die Diversifikation unserer Energieversorgung leisten.

2. Die Warmwasservorkommen in der Oberen Meeresmolasse und ihre Ausdehnung

Tiefenbohrungen und geophysikalische Untersuchungen haben im Molassebecken des schweizerischen Mittellandes wasserhaltige Speichergesteine mit beträchtlicher Porosität nachgewiesen. Dabei handelt es sich vor allem um die Sandsteinformationen der Oberen Meeresmolasse (OMM), die sich vom Jurarand bis in die Voralpen erstrecken. Die Obere Meeresmolasse gehört altersmässig dem Helvetian und Burdigalian, d. h. dem mittleren Tertiär an. Die leicht gefaltete Molasse bildet entlang des Voralpengebietes einen Trog, der im Bereich des Hörnligebietes seinen tiefsten Punkt erreicht. An dieser Stelle liegt die OMM-Oberfläche etwa 300 m unter dem Meeresspiegel. Gegen den Jurasüdrand, auf der Linie Rorschach—Rapperswil sowie westlich des Reusstales taucht die OMM wieder an der Oberfläche auf (Bild 1). Aufgrund des für den Molassetrog gültigen geothermischen Gradienten von 30 bis 35 m/°C beträgt die Temperatur in 500 m Tiefe 25 bis 27 °C, wenn von einer mittleren Oberflächentemperatur von 10 °C ausgegangen wird. Im Gebiet der Stadt Zürich wurde beispielsweise Grundwasser einer Temperatur von 23 °C erbohrt. Das Bohrloch drang bei etwa 280 m in die OMM ein und erreichte eine Endtiefe von 500 m, ohne deren Basis zu

durchstossen. Geht man davon aus, dass für eine wirtschaftliche Wärmenutzung 30 bis 35gradiges Grundwasser notwendig ist, so kommt man auf eine Bohrtiefe von etwa 800 m. Dadurch wird die sich anbietende OMM-Zone in nördlicher Richtung etwa durch die Linie Sursee—Zürich—Kreuzlingen begrenzt. Ausserhalb dieser Linie liegt eine Tiefbohrung bei Konstanz, bei der infolge einer bruchtektonischen Absenkung die OMM-Oberfläche in etwa 400 m Tiefe vorgefunden wurde. Das aus 500 bis 625 m Tiefe geförderte Wasser besass eine Temperatur von mindestens 27 °C.

Der von der OMM-Oberfläche gebildete langgestreckte Trog wird von den vorwiegend tonig-mergelig und feinsandigen Sedimenten der oberen Süsswassermolasse überlagert. Sie bilden eine geringdurchlässige, bis zu mehreren 100 m mächtige Abdeckung, die eine vertikale Infiltration von Oberflächenwasser unterbindet. Eine hydraulische Verbindung zwischen den Speichergesteinen und der Oberfläche ist jedoch am Trogrand durch das Auftauchen der OMM-Schichten gewährleistet. Es besteht somit die Möglichkeit, dass entnommenes Grundwasser durch Infiltrationswasser wieder ersetzt wird. Da das Speichergestein eine sehr grosse Ausdehnung hat und eine geringe Durchlässigkeit besitzt, dürfte die anfängliche Geschwindigkeit des nachfliessenden Wassers die Grössenordnung von einigen Metern pro Tag nicht übersteigen. Das tiefliegende Grundwasser und dessen Speichergestein befinden sich infolge des hydrostatischen Ueberdrucks in einem Spannungszustand. Eine Grundwasserentnahme erzeugt dadurch eine örtlich sich rasch ausbreitende Druckentlastungswelle, die sich im Bereich der Bohrung um einige Hunderte von Metern im Tag fortpflanzt und den unmittelbaren Grundwassernachschub zum Förderbrunnen gewährleistet.

Neben der Minimaltiefe bedarf ein nutzbares thermisches Speichergestein einer Mindestporosität und einer gewissen Mächtigkeit. Letztere keilt von 500 m (im Süden der Ostschweiz) in nördlicher Richtung rasch aus. Auf der Linie Zürich—Kreuzlingen beträgt sie jedoch immer noch zwischen 200 m (Bodensee) und 400 m (Zürich). Beinahe gegenläufig verhält sich die Porosität der OMM, die gegen den Südrand zu deutlich abnimmt und südlich Gossau—Wädenswil—Cham für eine wirtschaftliche Nutzung kaum mehr ausreichen dürfte. Damit sind die geographischen Grenzen für die Obere Meeresmolasse als Energieträger skizziert. Die zu erwartende Höchsttemperatur von 40 °C dürfte im östlichen Teil dieser Region, d. h. im Gebiet Wil—Weinfeld—Romanshorn, erreicht werden (Bild 1).

In der Schweiz kann auch in andern Gesteinsformationen und in grösseren Tiefen Thermalwasser erbohrt werden. Es sei nur an die zahlreichen Thermalquellen erinnert, wovon diejenigen von Leukerbad mit 51 °C und von Baden mit 47 °C weitaus die wärmsten sind. Dabei handelt es sich um Kluftwasser, das in einem teilweise verkarsteten Spaltensystem zirkuliert. Derartige präferenzielle Wasserwege sind jedoch in grösserer Tiefe schwer zu orten und zu erbohren. Ungleich günstiger bieten sich die Erfolgchancen in einem porösen Speichergestein wie der OMM an, dessen räumliche Ausdehnung bekannt ist. Für die Standortwahl der Bohrung lassen sich wirtschaftliche Erwägungen berücksichtigen und die zu erwartende Temperatur kann abgeschätzt werden. Trotz etlicher, im obigen Gebiet abge-

teufte Tiefenbohrungen bleibt eine gewisse Unsicherheit für das Abschätzen der möglichen Entnahmemengen bestehen. Bei sorgfältiger Standortwahl, einwandfreier Tiefenbohrung und Brunnenkonstruktion kann pro Bohrbrunnen mit Fördermengen in der Grössenordnung von 30 bis 60 m³/h gerechnet werden. Massgebend für die Förderleistung sind dabei vor allem die Porosität des Speichergesteins und die sich daraus abzuleitende hydraulische Durchlässigkeit sowie der im Grundwasserleiter herrschende Spannungszustand.

Für die Erteilung der Bohrbewilligung ist im allgemeinen das kantonale Baudepartement zuständig. Die Nutzung der geothermischen Energie fällt dagegen, wie die Ausbeutung mineralischer Rohstoffe, unter das Bergregal. Ob damit die Wärmegewinnung erleichtert wird, ist aufgrund der heutigen Gesetzgebung schwer abzuschätzen.

3. Berechnung der nutzbaren Energiemenge

Aufgrund der obigen Abgrenzung kann die Fläche der Warmwasservorkommen auf 2000 km² und das Volumen auf rund 50 Mrd. m³ geschätzt werden. Der darin enthaltene Wärmeverrat kann mit der Formel

$$Q = V c \rho \Delta T \text{ (cal)}$$

berechnet werden. Dabei bedeutet V das Volumen, c die mittlere spezifische Wärme, ρ die mittlere Dichte und ΔT die nutzbare Temperaturdifferenz. Bei einer nutzbaren Temperaturdifferenz von $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ erhält man als gespeicherten Wärmeverrat die Zahl von 1 Mrd. Gcal oder rund 100 Mio t Erdöläquivalent. Dabei handelt es sich jedoch um eine obere Grenze, und es darf nicht davon ausgegangen werden, dass diese Energiemenge auch wirklich genutzt werden kann.

Realistischer ist es anzunehmen, dass der Wärmeverrat nur etwa entsprechend dem aus dem Erdinnern im Mittel nachfliessenden Wärmestrom genutzt werden kann. Damit könnte die Abkühlung der Oberen Meeresmolasse verhindert werden. Diese Wärmemenge kann berechnet werden aus

$$Q_{\text{reg}} = q F t \text{ (cal/Jahr)}$$

wobei q den im Mittel nachfliessenden Wärmefluss in der Grössenordnung von $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ cal/cm}^2\text{s}$, F die Fläche und t die Zeit bedeutet. Die auf diese Weise berechnete, regenerierbare Wärmemenge beträgt rund 1,4 Mio Gcal oder

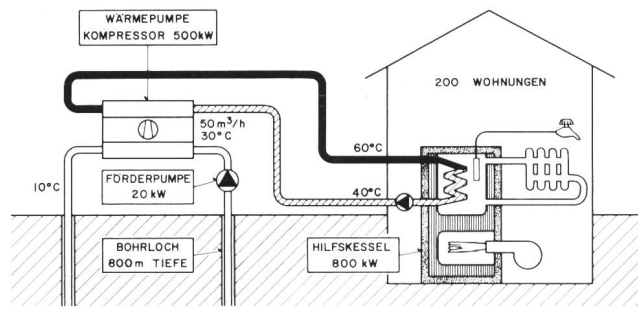


Bild 2. Schema einer geothermischen Wärmeversorgung.

140 000 t Erdöläquivalent im Jahr. Dies entspricht etwa 1% des schweizerischen Gesamtenergieverbrauchs des Jahres 1976.

Mit Hilfe von Wärmepumpen kann die im Wasser enthaltene Wärme im Temperaturniveau angehoben werden, wie das in Bild 2 am Beispiel einer Anlage für die Warmwasserzubereitung und Heizung von 200 Wohneinheiten dargestellt ist. Das abgekühlte Wasser kann dem Speichergestein in einem Rückfluss-Bohrloch wieder zurückgegeben werden. Für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit dient ein fossil befeuerter Heizkessel, der die Spitzendeckung während der kältesten Jahreszeit übernimmt. Günstig wirkt sich aus, dass die Wärmepumpenanlage mit einer hohen und konstanten Leistungsziffer und einer hohen Benutzungsdauer gefahren werden kann. Vorteilhaft ist auch die Verfügbarkeit des warmen Wassers aus der Meeresmolasse direkt im Bereich der Wohngebiete des Mittellandes. Es kann dort aus einem Bohrloch relativ bescheidener Tiefe mit einer Förderpumpe gepumpt werden.

In Bild 3 ist der Einsatzbereich einer Anlage zur Nutzung dieser Wärmemengen im Diagramm der mittleren täglichen Aussentemperaturen der Region Zürich eingezeichnet. Rund 75% der benötigten Wärmeenergie könnten mit Hilfe der Wärmepumpe aus dem Erdinnern gewonnen werden. Aus den 1,4 Mio Gcal erhalte man mit einer Wärmepumpe der Leistungsziffer $\epsilon = 4,0$ die nutzbare Wärmemenge.

$$Q_{\text{nutz}} = Q_{\text{reg}} \left(1 + \frac{1}{\epsilon - 1} \right) \text{ (cal/Jahr)}$$

Daraus ergibt sich eine Wärmemenge von rund 1,9 Mio Gcal. Wenn man pro Einwohner und Jahr etwa 10 Gcal für den Wärmebedarf einsetzt, reicht dies für rund 200 000 Ein-

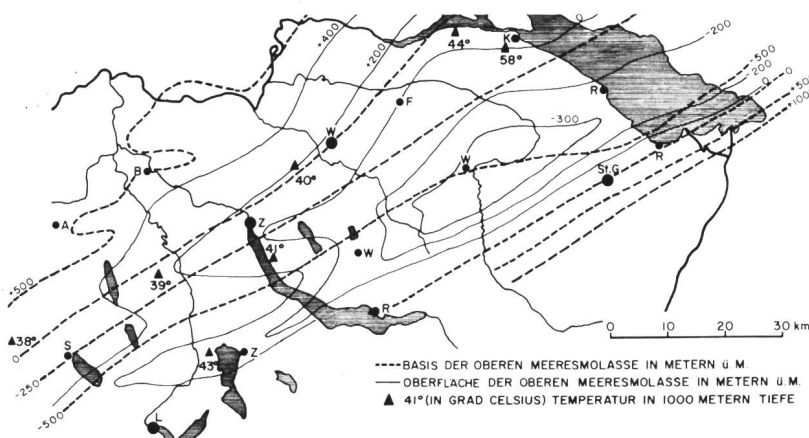
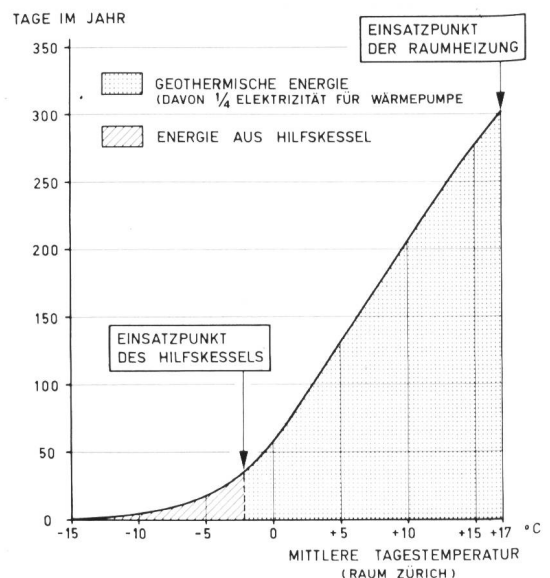


Bild 1. Die Ausdehnung der Oberen Meeresmolasse.

Bild 3. Zeitliche Verteilung der Aussentemperatur und Einsatzbereich der geothermischen Wärmepumpenanlage.



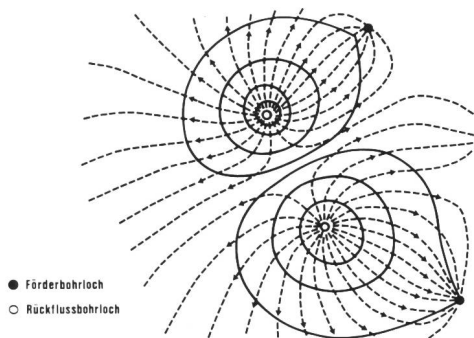


Bild 4. Die Abkühlung des Wärmereservoirs während der Ausbeutung.

wohner aus. Die benötigte elektrische Energie zum Antrieb der Wärmepumpen beträgt rund 500 Mio kWh. Dazu kommt noch der Energieverbrauch für die Förderpumpen und den Hilfskessel.

Die Wärmeentnahme aus der Oberen Meeresmolasse kann im allgemeinen nicht während Jahrzehnten ohne lokale Temperaturabsenkung aufrechterhalten werden. Um die Rückfluss-Bohrlöcher bildet sich nach einiger Zeit, trotz Zufluss von aussen her, eine Zone tieferer Temperatur, die sich im Verlaufe der Ausbeutung des Reservoirs ausbreitet (Bild 4). Erreicht diese Zone das Förderbohrloch, so beginnt die Temperatur des genutzten Wassers abzusinken. Diese Absenkung vollzieht sich langsam, so dass die Bohrung noch während längerer Zeit genutzt werden kann. Die Abkühlungsvorgänge lassen sich mit Rechenprogrammen berechnen. Dabei spielen die Porosität des Gesteins, die Höhe und Breite des Reservoirs, der Schachtabstand und die Fördermenge neben anderen Faktoren eine wichtige Rolle.

4. Erfahrungen in anderen Ländern

Während in unserem Lande die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung von Niedertemperaturwärme aus der Meeresmolasse noch berechnet wird, besitzen Länder wie beispielsweise Frankreich bereits Erfahrung aus ersten Versuchsanlagen. In Melun, südlich von Paris, ist eine Anlage ohne Wärmepumpen bereits seit dem Jahre 1969 im Betrieb. Weitere Projekte sind in Creil bei Paris, in Villeneuve-la-Garenne und in Mont-de-Marsan (Aquitaine) in Ausführung. Als Kriterien für die Wirtschaftlichkeit werden u. a. angegeben: Fördermenge mind. 100 m³/h, Temperatur im Erdinnern 40 bis 60 °C, Abstand der Bohrlöcher etwa 1000 m für eine Dauer der Ausbeutung von 30 Jahren. Auch in der Bundesrepublik sind erste Arbeiten auf diesem Gebiet im Gang. Ueberschlagsrechnungen zeigen, dass die Wärmegewinnung aus der Meeresmolasse auch in unserem Lande von Interesse sein könnte.

Adresse der Autoren: Dr. Peter Stürzinger und Dr. Charles Haefeli, Elektrowatt AG, Bellerivestrasse 36, 8022 Zürich.

Literaturhinweise

- [1] Rybach L.: Geothermische Energie, «Bulletin SEV/VSE», 66 (1975) 5, S. 257—261.
- [2] Büchi U.: Wasser- und Energiegewinnung aus der Oberen Meeresmolasse und dem Mesozoikum. Institut für bauwissenschaftliche Forschung, Mai 1975, Verlag Leemann, Zürich.
- [3] Jaffé F.: Geothermal Energy: A Review. «Bulletin Schweiz. Petroleum Geol.» Vol. 38, No 93, 1971.
- [4] Fruttschi H. U. und La Roche U.: Technische Möglichkeiten der Heizwärme-Gewinnung aus unterirdischen Wasservorkommen. Brown Boveri Baden, Interne Notiz.
- [5] Coulbois P. und Herault J.P.: Les Conditions de la Compétitivité de la Géothermie dans le Chauffage des Habitations. Proceedings of the Second United Nations Symposium on Geothermal Resources, San Francisco, May 20—29, 1975.

MITTEILUNGEN VERSCHIEDENER ART

Wasserkraftnutzung

Elektrizitätswerk Lauterbrunnen

Die bestehende Wasserkraftanlage Stechelberg ist 1906 erstellt worden. Umbauten und Erneuerung der Maschineneinheiten wurden 1931 und 1945 vorgenommen. Da die Anlage nicht mehr der erforderlichen Versorgungs- und Betriebssicherheit entspricht, wurde die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG beauftragt, ein Vorprojekt auszuarbeiten. Nach diesem soll einerseits die heutige Energieproduktion sichergestellt und andererseits die Eigenproduktion erhöht werden. Damit wäre das Elektrizitätswerk Lauterbrunnen in der Lage, wenigstens den Energiebedarf während der Sommermonate allein zu decken. Aufgrund des generellen Projektes wurde die Wasserfassung bereits 1973/74 neu erstellt und die ebenfalls neue Entsandungsanlage wurde im Jahre 1976 in Betrieb genommen. Beim Gesamtausbau soll das heutige Grundkonzept beibehalten werden. Der Zulaufstollen bleibt unverändert, und beim Wasserschloss muss nur der Ueberlauf angepasst werden. Vorgesehen ist eine neue Druckleitung von 75 cm Durchmesser mit einer neuen Linienführung. Die Wahl eines neuen Trasses hat zudem den Vorteil, dass die bestehende Anlage während des ganzen Umbaus mit Ausnahme kleinerer Unterbrüche in Betrieb bleiben kann. Die Maschinen-Gruppe von 1945 wird als Reserve beibehalten und kann mit der neuen Gruppe von 2500 kW Spitzen bis zu 3900 kW auffangen. Die Energieproduktion im Mitteljahr kann durch den Umbau von 9,4 GWh mit der im Jahre 1945 installierten Maschinen-Gruppe auf neu 14,3 GWh gesteigert werden. Die Kostenschätzung für den Umbau nennt 5,6 Mio Franken.

(Auszug aus dem Jahresbericht 1976, EA)

Schweizerische Bundesbahnen, SBB, Kraftwerkbau 1976

Der Jahresbericht 1976 der Schweizerischen Bundesbahnen weist darauf hin, dass die Bauarbeiten im Berichtsjahr im Zeichen verstärkter Spar- und Rationalisierungsanstrengungen standen. Vermehrter notwendiger Projektierungsaufwand hat bei einigen Baustellen zu einer Verspätung des Baubeginns geführt. Infolge dieser Verzögerungen und der Projektvereinfachungen wurden die vorgesehenen Budgetbeträge nicht vollständig ausgeschöpft. Auch die gedrückten Preise haben zu dieser Erscheinung beigetragen.

Das zurzeit in Erweiterung stehende Kraftwerk Châtelard-Barberine wird mit einer zweiten Zentrale, einem Ausgleichbecken von rund 212 000 Kubikmeter Fassungsvermögen sowie einer 132-kV-Freiluftschaltanlage ausgerüstet. Im Herbst 1976 begannen an den beiden Maschinengruppen, die eine Nennleistung von 2 x 30 MW/40 MVA aufweisen, die Inbetriebsetzungsversuche im Turbinenbetrieb. Die Generatoren haben versuchsweise Leistung über die neue Schaltanlage an das 132-kV-Bahnstromnetz abgegeben. Die Montagearbeiten an der siebenstufigen Hochdruck-Speicherungspumpe, mit der vorerst lediglich eine Maschinen-Gruppe ausgerüstet wird, und an der zentralen Kommandoanlage stehen vor dem Abschluss.

Beim Kraftwerk Amsteg sind im Anschluss an den Ersatz der Druckleitungen die Wasserführungsanlagen (Bristenstollen, Wasserschloss, Unterwasserkanal) weitgehend erneuert worden. Die dadurch bedingte Ausserbetriebsetzung des Werkes in den Monaten September bis November 1976 bot Gelegenheit zur Entleerung und Spülung des versandeten Staubeckens Pfaffensprung.