

Hybride Modellierung der hydrodynamischen Prozesse in unterirdischen Pumpspeicherreservoirs

Elena Marianne Pummer

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Associate Prof. Nils Rüther (Ph.D.)

Prof. Dr.-Ing. André Niemann

Die Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Abstract

Currently energy storage systems are indispensable for the energy supply system. They are needed to ensure the required balance between production and demand of energy. As a short to medium term storage pumped storage plants have been used economically over a long period of time, but their expansion is limited locally. The reasons are in particular the required topography and the extensive human land use. Through the use of underground reservoirs instead of surface lakes expansion options could be increased. This work presents for the first time the hydrodynamic processes in underground pumped storage reservoirs. The knowledge of these processes is essential for a successful realization. In this thesis the reservoirs are branched caverns with ventilation, in which open channel flow occurs.

Hydrodynamic processes in underground reservoirs occur due to plant operations and are influenced by the specific design. Based on hybrid modeling the processes are presented and analyzed. Hybrid means here the combination of experimental studies, numerical 3D simulations with OpenFOAM and numerical 2D simulations with TELEMAC-2D. By combining the multiple methods the hydrodynamic processes were analyzed qualitatively and quantitatively and calculation approaches were developed. The local flow processes partly show a great intensity, which is why the knowledge of the time-dependent averages of the flow variables (global effects) is not sufficient as a basis for a hydraulic calculation approach. The highest intensity of the local processes occurs during the filling of the reservoirs. Lower intensity occurs during the emptying of the reservoirs or for interruptions of these operations. Depending on operational and structural factors surge waves, undular bores and breaking bores occur. Independent of the wave type the calculation approaches allow the determination of the maximum water level. With this information the required height of the reservoirs can be sized, as well as the calculation of wave speeds that enable determining the duration of reservoir-oscillations, so that the operational characteristics can be found.

The results that imply the basis for design criteria of underground pumped storage reservoirs go far beyond the current state of knowledge and have to be included in future plans and design developments of underground pumped storage plants.

Kurzfassung

Energiespeicher sind derzeit ein unverzichtbares Element im Energieversorgungssystem, sie sind für den erforderlichen Ausgleich von Energieerzeugung und -nachfrage notwendig. Pumpspeicherwerke als kurz- bis mittelfristige Speicher sind erprobt und wirtschaftlich nutzbar, deren Ausbau ist jedoch vor allem durch die erforderliche Topographie und die bestehende Landnutzung örtlich begrenzt. Durch die Nutzung unterirdischer Reservoirs an Stelle oberirdischer Seen könnten die Ausbaumöglichkeiten erheblich erweitert werden. Diese Arbeit stellt erstmalig die hydrodynamischen Prozesse in unterirdischen Pumpspeicherreservoirs dar, deren Kenntnis für eine erfolgreiche Realisierung unterirdischer Pumpspeicherwerke unbedingt notwendig ist. Es handelt sich speziell um verzweigte Kanalsysteme mit Belüftung, in denen Freispiegelabfluss vorherrscht.

In unterirdischen Reservoirs entstehen hydrodynamische Prozesse durch den Kraftwerksbetrieb und werden durch die spezielle Konstruktion beeinflusst. Auf Basis einer hybriden Modellierung konnten diese Prozesse dargestellt und analysiert werden. Hybrid bedeutet in diesem Zusammenhang die Kombination aus experimentellen Untersuchungen, numerischen 3D-Simulationen mit OpenFOAM und numerischen 2D-Simulationen mit TELEMAC-2D. Durch die Kombination der verschiedenen Methoden wurden die hydrodynamischen Prozesse qualitativ und quantitativ erfasst und Berechnungsansätze entwickelt. Die lokale Ausprägung der Strömungsprozesse zeigt zum Teil eine große Intensität, weshalb die Kenntnis der zeitabhängigen Mittelwerte (globale Effekte) der Strömungsgrößen nicht als Grundlage für eine Bemessung ausreicht. Die Intensität der Prozesse ist bei der Füllung der Reservoirs größer als bei der Leerung oder bei Unterbrechungen der Vorgänge. In Abhängigkeit betrieblicher und konstruktiver Parameter treten dort Schwallwellen auf, die sich in Einzelwellen auflösen oder brechen. Die Berechnungsansätze ermöglichen unabhängig von der auftretenden Wellenart zum einen die Bestimmung der maximalen Wasserstände, wodurch die erforderliche Höhe der Reservoirs bemessen werden kann. Zum anderen können die Wellengeschwindigkeiten berechnet werden, die die Ermittlung der Dauer der Reservoir-Schwingungen ermöglichen, wodurch die betrieblichen Eigenschaften bestimmt werden.

Die Ergebnisse, die die Bemessungsgrundlagen für unterirdische Pumpspeicherwerke darstellen, gehen weit über den derzeitigen Wissensstand hinaus und müssen in die zukünftige Planung und Projektierung von unterirdischen Pumpspeicherwerken miteinbezogen werden.
