

Abstract

The management of concentrates from desalination and water recycling is considered a global challenge. The recovery and reuse of salts from these streams appears to be the only way to reduce the overall salt emission load to the environment. In this work, criteria that can be used to determine the essential process steps for the economic separation of inorganic salts from water recycling concentrates or from brines of any source are elaborated.

First, a systematic literature review provides an overview of recent research activities on resource recovery from brines. A basic process layout is extracted from the references and the most relevant technologies are introduced in detail.

Process designs including salt recovery from industrial waste brines are presented for four reference scenarios: coffee, cosmetics, phosphate fertilizer and potash production. The investigations include chemical feed analysis followed by pre-treatment and evaporation/crystallization, both at laboratory scale and in thermodynamic simulation. Finally, full-scale processes are balanced and economically evaluated.

Fully subsidized treatment costs, including revenues from recovered water and salts, are $2.57 \text{ \$/m}^3$ for coffee, $11.31 \text{ \$/m}^3$ for cosmetics, $-2.98 \text{ \$/m}^3$ for phosphate fertilizer, and $-5.23 \text{ \$/m}^3$ for potash production. With a treatment cost of $1.86 \text{ \$/m}^3$, conventional zero liquid discharge (ZLD) is the best option for treating the brine from coffee production. For the cosmetics production scenario, the status quo (indirect disposal) is considered the best economic option.

Finally, generic process design criteria and logical decision trees are presented to generate ZLD process designs including salt recovery from scratch. Under application of this method, process designs are generated with fully subsidized brine treatment costs of $1.08 \text{ \$/m}^3$ for coffee, $-1.24 \text{ \$/m}^3$ for phosphate fertilizer, $1.54 \text{ \$/m}^3$ for potash, and $1.11 \text{ \$/m}^3$ for an additional scenario: drinking water production. The new method confirms that salt recovery from the cosmetics production effluent is not economically reasonable.

The process designs generated from the generic criteria are at least as competitive as the individual solutions. The higher treatment costs for phosphate fertilizer and potash production brines are due to the generation of ZLD process variants, while the reference solutions feature the rather rare minimum liquid discharge (MLD), which is not yet covered by the generic design criteria.

Zusammenfassung

Das Management von Konzentraten aus der Entsalzung und dem Wasserrecycling stellt eine globale Herausforderung dar. Die Rückgewinnung und Wiederverwendung von Salzen aus diesen Strömen scheint der einzige Weg zu sein, den Salzeintrag in die Umwelt zu reduzieren. In dieser Arbeit werden Kriterien entwickelt, um die wesentlichen Verfahrensschritte für die wirtschaftliche Abtrennung anorganischer Salze aus Konzentraten des Wasserrecyclings oder Solen beliebiger Quellen zu bestimmen.

Eine Literaturrecherche gibt zunächst einen Überblick über die Forschungsaktivitäten der letzten Jahre zur Ressourcenrückgewinnung aus Solen. Ein grundlegendes Prozesslayout wird abgeleitet und die relevanten Technologien werden detailliert vorgestellt.

Für vier Referenzszenarien werden Prozessdesigns vorgestellt, welche Salzurückgewinnung aus industriellen Abwasserkonzentraten beinhalten: Kaffee-, Kosmetik-, Phosphatdünger- und Kaliproduktion. Die Untersuchungen umfassen eine chemische Analyse des Zulaufstroms, sowie Vorbehandlung und Verdampfung/Kristallisation, jeweils im Labormaßstab und als thermodynamische Simulation. Anschließend werden Vollstromprozesse bilanziert und ökonomisch bewertet.

Die voll subventionierten Behandlungskosten einschließlich der Erlöse für zurückgewonnenes Wasser und Salze betragen $2,57 \text{ \$/m}^3$ für die Kaffee-, $11,31 \text{ \$/m}^3$ für die Kosmetik-, $-2,98 \text{ \$/m}^3$ für die Phosphatdünger- und $-5,23 \text{ \$/m}^3$ für die Kaliproduktion. Mit Behandlungskosten von $1,86 \text{ \$/m}^3$ ist konventionelles Zero Liquid Discharge (ZLD) die beste Option für die Sole aus der Kaffeeherstellung. Für die Kosmetikproduktion wird der Status quo (Indirekteinleitung) als ökonomisch beste Variante angesehen.

Abschließend werden allgemeine Prozessauslegungskriterien und logische Entscheidungsbäume vorgestellt, mit denen ZLD-Prozessdesigns einschließlich Salzurückgewinnung von Grund auf erstellt werden können. Mit dieser Methode werden Prozessvorschläge generiert, die mit voll subventionierten Behandlungskosten von $1,08 \text{ \$/m}^3$ für die Kaffee-, $-1,24 \text{ \$/m}^3$ für die Phosphatdüngemittel-, und $1,54 \text{ \$/m}^3$ für die Kaliproduktion bewertet werden. Ein zusätzliches Szenario aus der Trinkwasserproduktion wird mit $1,11 \text{ \$/m}^3$ bewertet. Die neue Methode bestätigt, dass Salzurückgewinnung aus dem Abwasser der Kosmetikproduktion wirtschaftlich nicht sinnvoll ist.

Die mit den verallgemeinerten Kriterien erzeugten Prozessvorschläge sind mindestens ebenso wettbewerbsfähig, wie die individuell erstellten Referenzlösungen. Die höheren Behandlungskosten für die Phosphatdünger- und die Kaliproduktion sind dadurch begründet, dass ZLD-Prozesse erstellt wurden, während die Referenzen das eher seltene Minimum Liquid Discharge (MLD) vorsehen, was in den allgemeinen Auslegungskriterien noch nicht berücksichtigt wird.