

THERMISCHE WASSERAUFBEREITUNG ZUKUNFTSFÄHIGE UND NACHHALTIGE VERFAHREN







INNOVATIVE THERMISCHE VERFAHREN ZUR INDUSTRIELLEN WASSERAUFBEREITUNG UND ZUR TRINKWASSERGEWINNUNG

Thermische Wasseraufbereitungsverfahren finden heute einen breiten Einsatz in Industrie und Gewerbe. Dazu gehören neben einfachem Erhitzen beispielsweise die Destillation, Sterilisation und Rektifikation (thermische Stofftrennung). Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass die Technologien oft relativ einfach und robust gestaltet sind. Die thermische Energieversorgung lässt sich in der Regel ohne großen Aufwand durch direkte Befuerung, Prozessdampf oder elektrische Beheizung realisieren.

Andererseits sind thermische Aufbereitungsverfahren meist energieintensiv, was im Zuge eines verantwortungsvollen Umgangs mit Energieressourcen und steigenden Kostendrucks neue technische Lösungen notwendig macht.

Zukunftsfähige Lösungen sind gefordert

Im Kontext der Sekundärnutzung von Energie durch Abwärmenutzung und der Anwendung thermischer Solartechnik bieten thermische Verfahren viele Einsatzmöglichkeiten. Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik

IGB hat es sich zum Ziel gesetzt, durch die Entwicklung innovativer Konzepte sowie die Optimierung und Kombination verschiedener Verfahren effiziente und kostengünstige thermische Aufbereitungsverfahren zu realisieren, um diese Energiequellen nutzen zu können. Solare Meerwasserentsalzung, Wassergewinnung aus Luftfeuchte und die Aufkonzentrierung von Industrieabwässern sind hier Beispiele für Anwendungen, die im Fraunhofer IGB bearbeitet und im Folgenden beispielhaft vorgestellt werden.

Insbesondere für dezentrale und von der Infrastruktur unabhängige Lösungen eignen sich thermische Aufbereitungsverfahren sehr gut, da sie einfach aufgebaut werden können und thermische Solarenergie bzw. Abwärme dezentral anfallen.

Die Lösung kundenspezifischer Problemstellungen erfordert flexible und optimierte adaptierbare Konzepte. Durch die interdisziplinäre Zusammensetzung unserer Kompetenzen und die Unabhängigkeit von spezifischen Technologielösungen können wir diese Aufgaben kundenorientiert und objektiv erfüllen.



EFFIZIENTE SOLARE MEERWASSERENTSALZUNG DURCH GRAVITATIONSUNTERSTÜTZTE VAKUUM-VERDAMPFUNG

Motivation

In vielen Regionen der Erde führen die intensive Nutzung von Trinkwasser und der Klimawandel zu einer Verknappung der natürlichen Trinkwasserressourcen. Die Niederschlagsmengen in vielen Gegenden sind bei steigendem Wasserbedarf rückläufig. In küstennahen Gebieten wie beispielsweise in Südeuropa und auf vielen Inseln des Mittelmeers ist das Grundwasser bereits durch Infiltration von Meerwasser versalzt. Einige Inseln und sogar Küstenstädte wie Barcelona müssen bereits zeitweise durch Tankschiffe mit Trinkwasser versorgt werden. Der steigende Druck durch die Bevölkerungsentwicklung und die Tourismusindustrie, insbesondere in küstennahen Gebieten, wird diese Lage in den kommenden Jahren noch weiter verschlechtern. Somit wird eine Trinkwassergewinnung aus sich erneuernden Süßwasserquellen immer dringender, aber auch immer schwieriger.

Entsalzungstechnologien und CO₂-Emissionen

Die Trinkwasserversorgung kann in vielen Gebieten oft nur noch durch die Entsalzung von Meer- oder Brackwasser sichergestellt werden. Gängige Technologien zur Wasserentsalzung wie Umkehrosmose und herkömmliche thermische Verfahren sind energieintensiv und verbrauchen große Mengen an fossilen Energieträgern. Dies treibt aufgrund der steigenden Preise für fossile Energieträger nicht nur die Betriebskosten in die Höhe, sondern zieht auch beträchtliche CO₂-Emissionen nach sich. Die Verwendung von regenerativen Energien zur Meerwasserentsalzung liefert einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Versorgung. Da diese Energien in der Regel räumlich verteilt und nicht örtlich konzentriert anfallen, eignen sie sich insbesondere für dezentrale Anlagen. Das Fraunhofer IGB arbeitet zusammen mit europäischen Partnern aus Industrie und Forschung in langfristigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten an derartigen nachhaltigen und kostengünstigen Verfahrenskonzepten zur Wasserentsalzung.

Funktionsweise

Grundlage ist ein mehrstufiges Vakuumverdampfungsverfahren, das den effizienten Einsatz von Wärme bei niedrigen Temperaturen ermöglicht. Durch den Unterdruck wird es möglich, die Energie durch mehrere Druckstufen in der Anlage intern zurückzugewinnen. Die Energie wird somit mehrmals genutzt, um den spezifischen Energiebedarf signifikant zu verringern. Außerdem ist die Siedetemperatur im Vakuum deutlich niedriger, so dass zur Energieversorgung einfache thermische Solar Kollektoren oder Abwärme ab ca. 60 °C eingesetzt werden können. Obwohl es sich um einen Vakuumprozess handelt, werden keine Vakuum- oder Strahlpumpen benötigt. Der Unterdruck wird durch eine innovative Lösung unter Nutzung der Schwerkraft erzeugt und aufrechterhalten. In der gesamten Anlage werden lediglich zwei einfache Wasserpumpen benötigt. Die Prozessregelung erfolgt weitgehend durch hydraulische bzw. mechanische Prinzipien und Komponenten, so dass der Bedarf an elektrischen Mess-, Steuer- und Regelkomponenten auf ein Minimum reduziert wird.

Durch die Nutzung einfacher thermischer Solarkollektoren zur Bereitstellung der Wärmeenergie und den geringen Bedarf photovoltaischer Kollektorflächen für elektrische Komponenten der Prozessführung wird eine Unabhängigkeit von fossilen Energiequellen und dem Stromnetz erreicht. Somit wird es möglich, dezentral und auf einfache Weise entsalztes Wasser zu erzeugen.

Anwendungsgebiete

Die Technologie eignet sich grundsätzlich für kleine bis mittlere Anlagen zur dezentralen, nachhaltigen Trinkwasseraufbereitung (100 Liter/Tag bis ca. 10 m³/Tag).

Beispiele sind:

- Kleinverbraucher (einzelne Haushalte)
- Hotels und Ferienanlagen
- Kleine Siedlungen mit eigener Wasserversorgung
- Kleine oder mittelständische Industriebetriebe (Produktion bzw. Aufbereitung von demineralisiertem Wasser oder Prozesswasser)

1 *Versuchsaufbau solare Meerwasserentsalzung.*

2 *CAD-Zeichnung einer Laboranlage.*



TRINKWASSERGEWINNUNG AUS LUFTFEUCHTIGKEIT – EINE NACHHALTIGE OPTION FÜR DIE VERSORGUNG TROCKENER GEBIETE

In Gebieten mit trockenem (ariden) oder überwiegend trockenem (semi-ariden) Klima ist die Gewinnung von Trinkwasser ein existenzielles Problem. Im Durchschnitt verdunstet hier mehr Wasser als durch Niederschläge wieder aufgenommen wird. Die Böden sind daher ausgetrocknet und das meist versalzene Grundwasser ist oft nur noch in sehr großer Tiefe anzutreffen. Zudem sinkt der Grundwasserspiegel in vielen Fällen stetig ab oder es werden sogenannte fossile, sich nicht erneuernde Grundwasserleiter genutzt. Eine nachhaltige, auch für zukünftige Generationen nutzbare Trinkwassergewinnung aus Grundwasser ist somit nicht möglich. Auch die Nutzung von Oberflächengewässern gestaltet sich in diesen Regionen schwierig, insbesondere bei einer großen Distanz zum Meer.

Wasser aus der Luft gewinnen

Auch wenn es in ariden Gebieten an Oberflächen- oder Grundwasser mangelt, befinden sich teilweise beträchtliche Mengen Wasser in der Luft (siehe Beispiel im Kasten). Im Zuge der globalen Erwärmung ist außerdem zu erwarten, dass der Wassergehalt der Atmosphäre aufgrund der steigenden Temperaturen weiter zunimmt.

Beispiel

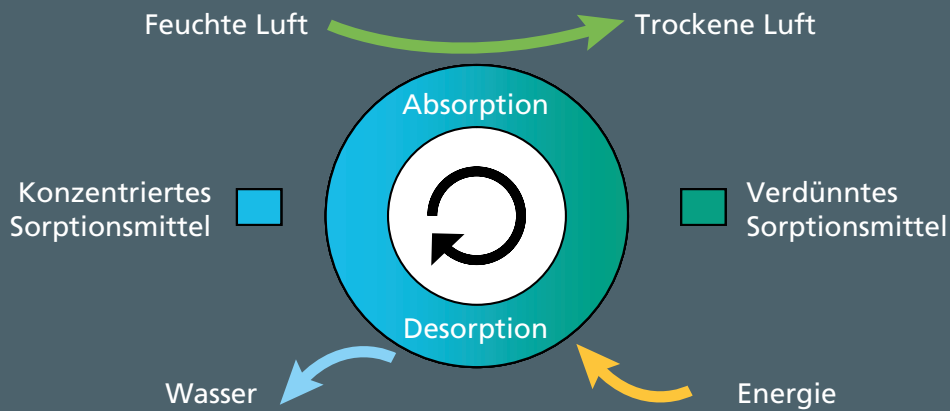
Beer Sheva, Negev Wüste, Israel

Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Jahresmittel 64 % bei 19,5 °C. Dies entspricht 11,5 ml Wasser/m³ Luft.

Um diese Wasserressource als Trinkwasserquelle zu erschließen, arbeitet das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Kooperation mit dem Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik IGVT der Universität Stuttgart sowie weiteren, mittelständischen Industriepartnern an einem neuartigen Prozesskonzept. Der Gesamtprozess besteht aus zwei Teilschritten (Bild 3). Zuerst wird die Feuchte aus der Luft an einer hoch konzentrierten Salzlösung absorbiert und somit gebunden. Anschließend wird diese verdünnte Salzlösung destilliert und das von der Salzlösung getrennte Wasser als Trinkwasser kondensiert (Desorption).

1 Ausgetrockneter Boden.

2 Schema des Prozessprinzips.



2

DIE TEILPROZESSE

Absorption von Luftfeuchte

Um die Absorption der Luftfeuchte in der Salzlösung möglichst effizient zu gestalten, sind eine große Grenzfläche zur Luft und eine lange Kontaktzeit notwendig. Dies geschieht, indem die Salzlösung langsam in luftdurchströmten, turmförmigen Anlagenmodulen an Sorptionssträngen herunterfließt und das Wasser aus der Luft aufnimmt. Durch eine spezielle Ausgestaltung der Sorptionsstränge wird ein effizienter Stoffaustausch erreicht und die Salzlösung verdünnt sich durch die starke Wasseraufnahme.

Desorption: Destillation und Kondensation

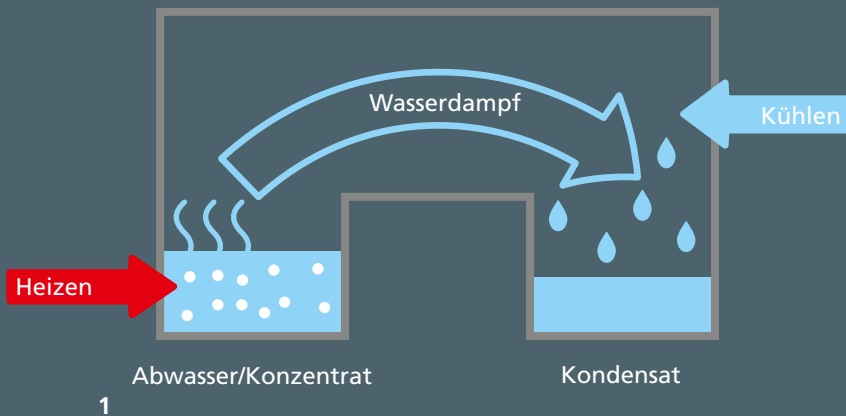
Da das Wasser wieder von der im Kreislauf geführten Salzlösung getrennt (desorbiert) werden muss, schließt sich ein Destillationsprozess an. Die Destillation erfolgt mittels gravitationsgestützter, mehrstufiger Vakuumverdampfung. Dabei wird die mit Wasser verdünnte Salzlösung einem Vakuum ausgesetzt, was die Verdampfungstemperaturen stark heruntersetzt. Der Vorteil dabei ist, dass diese Temperaturen mit einfachen thermischen Solarkollektoren oder auch mit Abwärme erreicht werden können. Da die Anlage mit Unterdruck arbeitet, ist es zudem möglich, die eingesetzte Wärmeenergie in verschiedenen Verdampferstufen mit unterschiedlichen Drücken mehrfach zu nutzen. Der bei der Destillation entstandene Wasserdampf wird kondensiert und steht als Trinkwasser in hoher Qualität zur Verfügung.

Eine kombinierte Turmbauweise zur Sorption und Desorption ermöglicht es, die Schwerkraft der Prozessströme zur Erzeugung des benötigten Vakuums zu nutzen. Energieintensive Vakuumpumpen sind überflüssig.

Dezentral und nachhaltig

Das beschriebene Verfahren ermöglicht eine nachhaltige Gewinnung von Trinkwasser aus Luftfeuchte in dezentralen und autarken Anlagen, was insbesondere in den oft stark zersiedelten und infrastrukturschwachen ariden oder semi-ariden Gebieten wichtig ist. Die einzelnen Systemkomponenten zeigen sehr gute Synergien. Sowohl die gravitationsgestützte Vakuumverdampfung als auch die Absorption sind auf Energieeffizienz und Ressourcenschonung ausgerichtet. Die Energieversorgung kann rein regenerativ erfolgen. Dabei werden die elektrischen Komponenten wie Pumpen und Steuerung durch Photovoltaik oder mit Windkraft versorgt. Die benötigte thermische Energie wird durch thermische Solarkollektoren bereitgestellt. Die Anlage produziert kein Abwasser oder zu entsorgendes Salzkonzentrat wie beispielsweise die Meer- oder Brackwasserentsalzung. Das Sorptionsmittel wird zu 100 Prozent im Kreislauf geführt. Durch die Kombination mit einer regenerativen Energieversorgung ist die Technologie CO₂-neutral und verursacht keine Emissionen. Die Technik ist robust, ohne anspruchsvolle Anforderungen an Bedienung und Wartung, universell einsetzbar und komplett autark.

7



NIEDRUCKVERDAMPFUNG ZUM AUFKONZENTRIEREN VON WÄSSRIGEN LÖSUNGEN UND ABWÄSSERN

Ausgangssituation

In industriellen Produktionsbetrieben wie beispielsweise der Metall- oder Druckindustrie, aber auch der chemischen und pharmazeutischen Industrie fällt oftmals hoch belastetes Abwasser an, das nicht ins kommunale Abwassernetz eingeleitet werden darf. Die Verunreinigungen (Schwermetalle, Cyanid-Salze, Lösemittel, komplexe chemische Verbindungen etc.) sind teilweise sehr komplex und schwer abbaubar.

Für viele Unternehmen stellt dies ein Problem dar. Selbst wenn eine Aufbereitung möglich wäre, kann insbesondere in kleinen Betrieben, in denen oft nur geringe Mengen Abwasser anfallen, eine eigene herkömmliche Wasseraufbereitungsanlage nicht ökonomisch bzw. effizient betrieben werden.

In vielen Fällen muss daher eine externe Entsorgung als Sondermüll erfolgen. Die Kosten für eine externe Entsorgung betragen je nach Branche bzw. Abwasserart bis zu 700 €/m³ zuzüglich der Transportkosten von bis zu 500 €/m³. Typisch für derartige Abwässer ist, dass die Schadstoffkontamination in einer hohen Verdünnung mit einem Wasseranteil von teilweise 90 Prozent und mehr vorliegt. Da sich die Entsorgungskosten

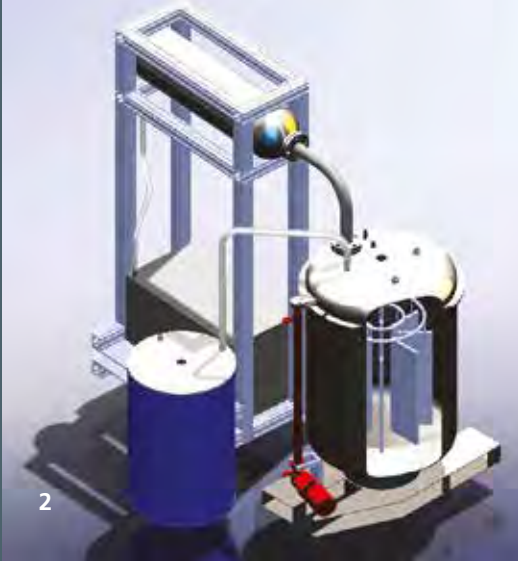
nach dem Abwasservolumen richten, wirkt sich der Wasseranteil entscheidend auf diese aus. Zudem gehen dem Betrieb durch die Entsorgung des Abfallstoffes sowohl das enthaltene Wasser als auch Wertstoffe wie organische Lösemittel ohne die Möglichkeit einer Rückgewinnung verloren.

Lösungsansatz

Die Destillation ist ein allgemein bekanntes Verfahren zur Stofftrennung (Bild 1) und bietet auch hier eine Möglichkeit der Problemlösung. Das Prinzip dieses thermischen Trennverfahrens ist, das Wasser und andere flüchtige Bestandteile durch Verdampfen und Kondensieren zu entfernen – bei gleichzeitiger Rückhaltung der restlichen Abwasserinhaltsstoffe. Generell ist die notwendige Verdampfungstemperatur vom Druck abhängig, wobei sie sich mit sinkendem Druck, also im Vakuum, deutlich reduziert.

Vakuumverdampfung zur Volumenreduzierung

Das Fraunhofer IGB hat darauf aufbauend, in Kooperation mit der Maschinenbau Lohse GmbH, ein kostengünstiges und modulares Vakuumverdampfungsverfahren entwickelt, das bereits in einem ersten Prototyp umgesetzt wurde (Bilder 2 und 3).



Es handelt sich dabei um ein System, das auf einfachen Technologien basiert, daher nur geringe Investitions- und Betriebskosten aufweist und sehr wartungsarm ist. Insbesondere zum Vorteil kleiner und mittlerer Unternehmen wurde ein innovatives Anlagendesign entwickelt, das eine Eindampfung des Abwassers direkt im Entsorgungsbehälter des Kunden ermöglicht und somit den Aufwand für Umfüll- und Reinigungsarbeiten minimiert. Zudem werden Ablagerungen oder Verkrustungen in der Anlage und resultierende Stillstandzeiten vermieden.

Aufgrund der durch das Vakuum reduzierten Siedetemperatur lassen sich für diesen Prozess Wärmeströme ab einer Temperatur von ca. 40–50 °C nutzen. Insbesondere wird die wirtschaftliche Nutzung von Abwärme niedriger Temperatur oder solarer Wärme als Energiequelle ermöglicht. Weiterhin kann die bei der Kondensation des Dampfes wieder frei werdende Energie genutzt werden, beispielsweise zur Vorwärmung des Schmutzwassers oder verschiedener Prozessströme im Produktionsbetrieb. Das nach diesem Verfahren entfernte Wasser kann in vielen Fällen in der Produktion oder auch zu Spülzwecken wieder eingesetzt werden. Darüber hinaus lassen sich in diesem Prozess auch organische Lösemittel abtrennen und wieder einsetzen. Durch die Kondensation des Dampfes in mehreren Schritten bei unterschiedlichen Temperaturen können sogar unterschiedlich flüchtige Abwasserinhaltsstoffe separat abgetrennt und zurückgewonnen werden.

Anwendung

Das beschriebene System zielt insbesondere auf die flexible Anwendung in kleinen und mittleren Betrieben ab, die ihr Abwasser bisher gar nicht oder nur teilweise in eigenen Anlagen aufbereiten können und so von Entsorgungsdienstleistern abhängig sind. Die kostenpflichtig zu entsorgenden Abwassermengen lassen sich in solchen Fällen signifikant reduzieren. Darüber hinaus wird oft eine optimierte Nutzung von Rohstoffen und von Prozesswasser- bzw. Wärmeströmen möglich sein. Zielbranchen sind beispielsweise die Farben-, Druck- oder Textilindustrie sowie die Metall- bzw. Galvanikindustrie.

- 1 *Prinzipskizze Destillation.*
- 2 *CAD-Modell (Entwurf).*
- 3 *Prototyp im Aufbau.*



LEISTUNGSANGEBOT

Wir begleiten unsere Kunden von den ersten Voruntersuchungen über die Verfahrensentwicklung bis zur Planung und Inbetriebnahme einer Prototypanlage. Für die Realisierung der entwickelten Anlagenkonzepte arbeiten wir mit einem Netzwerk qualifizierter Firmen des Maschinen- und Anlagenbaus zusammen.

- Durchführung von Machbarkeitsstudien, Markt- und Technologieanalysen
- Optimierung und Anpassung von thermischen Verfahren zur Effizienzsteigerung
- Kundenspezifische Entwicklungen im Bereich thermische Stoffaufbereitung
- Prozessauslegung und technisch/wissenschaftliche Projektbegleitung durch ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Umwelttechnik, Chemie, Biologie und Elektrotechnik

Kontakt

Dipl.-Ing. Siegfried Egner
Abteilungsleiter Physikalische Prozesstechnik
Telefon +49 711 970-3643
siegfried.egner@igb.fraunhofer.de

**Fraunhofer-Institut
für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB**

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401

Fax +49 711 970-4200

info@igb.fraunhofer.de

www.igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IGB Kurzprofil

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren und Produkte für die Geschäftsfelder Medizin, Pharmazie, Chemie, Umwelt und Energie. Wir verbinden höchste wissenschaftliche Qualität mit professionellem Know-how in den Kompetenzfeldern Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft, Molekulare Biotechnologie, Physikalische Prozesstechnik, Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik sowie Zellsysteme – stets mit Blick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts. Kunden profitieren auch vom konstruktiven Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen am IGB, das in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Abwasserreinigung neue Ansätze eröffnet. Mit mehr als 80 Forschungseinrichtungen in Deutschland ist die Fraunhofer-Gesellschaft Europas führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung.

www.igb.fraunhofer.de