

Der weltweit zunehmende Wasserbedarf kann langfristig nur durch den vermehrten Einsatz von Meerwasserentsalzungsanlagen gedeckt werden. Etablierte Entsalzungsprozesse haben jedoch mitunter einen sehr hohen Energiebedarf oder negative Auswirkungen auf die Umwelt. Mit dem Befeuchtungs-Entfeuchtungs-Prozess (kurz: HDH-Prozess) ist es möglich, erneuerbare Energiequellen zu nutzen, um Brackwasser oder Meerwasser in dezentralen Anlagen energieeffizient zu Trinkwasser aufzubereiten. Bei diesem Prozess wird das Trägermedium Luft im direkten Kontakt mit Salzwasser im Befeuchter erwärmt und befeuchtet. Die Luft wird anschließend im Entfeuchter wieder abgekühlt, wobei das Trinkwasser aus der Luft ausfällt und gesammelt wird. Ein zweites potenzielles Anwendungsgebiet des HDH-Prozesses ist die Aufkonzentrierung von Bilgenwasser. Die Bestandteile dieses in der Schifffahrt anfallenden Öl-Wasser Gemisches könnten mit dem HDH-Prozess so weit voneinander getrennt werden, dass der Ölanteil wiederverwendet werden kann.

Beim HDH-Prozess konzentrierte sich die Forschung bisher auf die Entfeuchtung der Luft, weswegen aktuelle Entfeuchter bereits sehr effizient arbeiten. Die Befeuchtung der Luft wurde nur spärlich untersucht, weswegen eine Verbesserung der Befeuchtereinheit zur potentiell größten Effizienzsteigerung des Gesamtprozesses führt. In neueren Publikationen werden häufig Blasensäulenbefeuchter als ein geeigneter Befeuchtertyp für den HDH-Prozess vorgeschlagen. Zum aktuellen Stand existiert jedoch noch keine Versuchsanordnung, mit der die vielfältigen Einflussfaktoren auf die Befeuchtung von Luft in einer Blasensäule in den passenden Bereichen gemessen werden können. Daher untersuchen wir in einem dreijährigen FWF-Projekt (Projektnummer P31103) anhand eines eigens entwickelten Versuchsaufbaus die Befeuchtung von Luft in einem Blasensäulenbefeuchter.

Zunächst wird dazu ein Versuchsaufbau konzeptioniert und errichtet, mit dessen Hilfe die maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Befeuchtung von Luft gemessen werden können. Diese Einflussfaktoren sind die Wassertemperatur, die Luftgeschwindigkeit, der Füllstand des Befeuchters, sowie die Blasengröße. Am errichteten und funktionsgeprüften Teststand werden für das Medium Meerwasser durch Variation dieser Parameter mathematische Korrelationen zwischen der Befeuchtung von Luft und den genannten Parametern semi-empirisch hergeleitet. Mit dem bestehenden HDH-System soll darüber hinaus im Rahmen eines Batch-Prozesses die Aufkonzentrierung einer Wasser-Öl Emulsion untersucht werden.

Zusammenfassend wird das in diesem Projekt gesammelte Wissen über die Befeuchtung von Luft eine wichtige Grundlage für genauere Simulationen und Modellierungen von Blasensäulenbefeuchtern bilden. In Folge dessen trägt das Projekt mittelfristig zu einer Steigerung der Effizienz von HDH-Systemen bei.

Titel: Konzeption und Aufbau eines Blasensäulenbefeuchters zur Analyse der Befeuchtung von Luft in Flüssigkeitssäulen

Einleitung: Blasensäulenbefeuchter werden häufig als geeigneter Befeuchtertyp für den HDH-Prozess vorgeschlagen [1]. In einem Blasensäulenbefeuchter durchströmt Luft oder ein anderes Trägergas eine Flüssigkeitssäule. Aufgrund von Massenkonzentrationsunterschieden verdunstet am Beispiel Wasser-Luft das Wasser und wird von den Luftblasen aufgenommen. Blasensäulenbefeuchter zeichnen sich durch einen guten Wärmeübergang zwischen dem flüssigen und dem gasförmigen Medium aus. Darüber hinaus wird durch den Direktkontakt zwischen den beiden Medien verhindert, dass es zu Ablagerungsschichten an festen Wärmeübertragungsflächen, dem sogenannten Fouling, kommt [2].

Die Zielsetzung des durchzuführenden Projektabschnitts stellt die Konzeption und die Realisierung eines neuartigen Teststands dar, der Grundlagenuntersuchungen zur Befeuchtung von Luft in Blasensäulenbefeuchtern ermöglicht. Mithilfe des zu errichtenden Teststands sollen (1) erstmals alle maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Befeuchtung von Luft messbar sein und darüber hinaus (2) Vergleiche zwischen invasiven und nicht invasiven Messmethoden sowie (3) zwischen unterschiedlichen Befeuchtergeometrien möglich sein.

Methode: Der grundlegende Versuchsaufbau besteht aus einer zylindrischen und einer planaren Befeuchtereinheit, einem Kondensator, sowie mehreren Hilfskomponenten. Die Luft wird einer Druckluftleitung entnommen, im Druck reduziert und deren Massenstrom geregelt. Anschließend wird die Luft unter leichtem Überdruck von zwei Seiten durch ein Lochblech in den Befeuchter eingebracht. Über die Perforierung dieses Lochblechs lässt sich die Blasengröße gezielt beeinflussen. Das Wasser wird durch eine Heizschnur im Zulauf, sowie durch Heizpatronen beheizt. Wasser kann über eine Dosierpumpe in die Befeuchter eingebracht, sowie über Ablassventile aus den Befeuchtern entnommen werden. In den Befeuchtern wird die Luft durch den Kontakt mit dem beheizten Wasser erwärmt und befeuchtet sich. Die Luft wird nach dem Austritt aus den Befeuchtern zum Entfeuchter transportiert, wo sie abgekühlt wird und das Kondensat ausfällt. Es ist sowohl ein Einzelbetrieb, als auch ein Parallelbetrieb der beiden Befeuchtereinheiten möglich. In diesen sind Messensoren für die elektrische Leitfähigkeit, die Temperatur, den Druck sowie für den Füllstand eingebaut. Die Befeuchterwand besteht hauptsächlich aus Acrylglas. Dadurch ist eine einfache optische Zugänglichkeit gewährleistet. Sensoren zur kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtemessung sind am Luftzulauf, am Austritt beider Befeuchtereinheiten sowie am Austritt des Entfeuchters installiert.

Ergebnisse: Unter dem Gasgehalt wird gemeinhin der Volumenanteil der Gasphase im Verhältnis zum Gesamtvolumen der Flüssigkeitssäule verstanden. Der Gasgehalt wurde

anhand von Füllstandsmessungen für beide Befeuchtertypen gemessen, um semi-empirisch ermittelte bekannte Korrelationen zwischen dem Gasgehalt und der Gasleerrohrgeschwindigkeit zu überprüfen. Der am zylindrischen Versuchsaufbau ermittelte Gasgehalt zeigt in Abhängigkeit der Gasleerrohrgeschwindigkeit eine äußerst gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Zahradnik und Kaštánek [3]. Am planaren Versuchsaufbau hat sich für alle Gasleerrohrgeschwindigkeiten ein etwas geringerer Wert als am zylindrischen Versuchsaufbau ergeben, was in erster Linie auf höhere Oszillationen in der Wassersäule zurückzuführen ist. Darüber hinaus ist die Asymmetrie durch die zweiseitige Lufteinbringung im planaren Versuchsaufbau größer als im zylindrischen Versuchsaufbau.

Die Ermittlung von Blasengröße und Blasengeschwindigkeit erfolgt anhand von optischen Aufnahmen. Die optische Zugänglichkeit des Systems wurde validiert und ermöglicht Foto- und Videoaufnahmen in hoher Qualität. Sowohl eine Bestimmung der Blasengröße, als auch eine Bestimmung der Blasengeschwindigkeit ist mittels Foto- und Videoaufnahmen möglich.

Eine Überprüfung der Gesamtfunktionalität des HDH-Prozesses wurde anhand einer Messung der Kondensatproduktion durchgeführt. Die Menge an produziertem Kondensat entsprach der für die eingestellten Betriebsparameter theoretisch erwarteten Menge.

Diskussion/Conclusio: Der errichtete Versuchsaufbau stellt ein neuartiges System dar, mit dem die maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Befeuchtung von Luft in einer Blasensäule so gemessen werden können, dass Korrelationen zwischen der Befeuchtung von Luft und diesen Einflussfaktoren hergeleitet werden können. Zum derzeitigen Projektstand ist es möglich, erste Parameter systematisch auszuwerten. So konnten bereits semi-empirische Korrelationen zwischen dem Gasgehalt und der Gasleerrohrgeschwindigkeit verifiziert werden. Das errichtete Setup eignet sich aufgrund seiner optischen Zugänglichkeit zur Ermittlung von Kenndaten der Blasensäule wie der gemittelten Blasengröße und Blasengeschwindigkeit.

Quellen:

[1] Srithar K, Rajaseenivasan T. 2018. Recent fresh water augmentation techniques in solar still and HDH desalination – A review. *Renew Sust Energ Rev* 82: 629-644

[2] Narayan G, et al. 2010. The potential of solar-driven humidification-dehumidification desalination for small-scale decentralized water production. *Renew Sust Energ Rev* 14 Nr.4: 1187-1201

[3] Zahradnik J, Kaštánek F. 2007. Gas holdup in uniformly aerated bubble column reactors. *Chem Eng Commun* 3 Nr.4-5: 413-429