

# Eindampfung / Distillation

## Allgemeine Beschreibung

**Kenntnisstand: ●●●●**

*Zweck:* Volumenreduktion, Aufkonzentrierung der Nährstoffe, Wiedergewinnung von Wasser

*Beschreibung:* Verschiedene technische Optionen sind verfügbar.

Eine Vorbehandlung des Urins ist notwendig, um die Ausgasung von Ammoniak zu verhindern.

Eindampfen ist ein weitentwickeltes Verfahren zur Wasserrückgewinnung aus wässrigen Lösungen und wurde besonders für die Entsalzung von Meerwasser aber auch für Gelbwasser angewendet, z.B. in der International Space Station ISS (Wieland, 1994). Andere Verfahren zur Wasserrückgewinnung sind die Umkehrosmose, das Ausfrieren oder die Lyophilisierung (Udert und Wächter, 2012). Ein weiteres vielversprechendes Verfahren ist die Kombination von Verdunstung und Kondensation („Humidification / Dehumidification“) bei der die wässrige Lösung nicht bis zum Siedepunkt erhitzt werden muss (Narayan et al., 2010).

Falls die Energie für die Verdunstung nicht wiedergewonnen wird, ist Eindampfen ein sehr energieintensiver Prozess. Bei Umgebungsdruck und Temperatur werden für die Eindampfung rund  $700 \text{ Wh}\cdot\text{L}^{-1}$  thermischer Energie benötigt (Udert und Wächter, 2012). In einer Vakuumdestillationsanlage mit Brüdenkompression kann dieser Energiebedarf auf  $100 \text{ Wh}\cdot\text{L}^{-1}$  elektrische Energie gesenkt werden (Angabe Udert für Versuchsanlage an der Eawag, 2013). Bei einer Umwandlungseffizienz von 31% von thermischer zu elektrischer Energie (europäischer Energie-Mix, UCPT, 1994) ergibt dies ein thermischer Bedarf von  $320 \text{ Wh}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Gelbwasser muss vorbehandelt werden, um den Verlust von Stickstoff (Ausgasung von Ammoniak) zu verhindern. Die Ursache für die Ammoniakausgasung ist die Harnstoffhydrolyse während der Sammlung und Lagerung des Gelbwassers. Diese kann mittels Säurezugabe zu frischem Urin verhindert werden (Hellström et al. (1999). Bei der Eindampfung des auf diese Weise stabilisierten Urins entsteht eine stark viskose Flüssigkeit, die erst bei längerer Trocknung auskristallisiert (Mayer, 2002). Die Dosierung von starker Säure stellt ausserdem eine Gefahrenquelle für die Toilettenbenutzer dar. Alternativ kann auch dem gelagerten Gelbwasser Säure zugegeben werden. Da die Alkalinität durch die Harnstoffhydrolyse aber um einen Faktor 20 erhöht wird (Udert et al., 2006), wird wesentlich mehr Säure benötigt (Tettenborn, 2007).

Eine Alternative zur Säuredosierung ist die Nitrifikation (siehe entsprechendes Kapitel). Eine Pilotanlage mit Nitrifikation als Vorbehandlung und anschliessender Vakuumdestillation wird seit 2012 an der Eawag betrieben. Durch die Nitrifikation werden rund 50% des Ammoniaks in Nitrat umgewandelt, gleichzeitig sinkt der pH auf Werte unter 7. Laborversuche mit synthetischem Urin haben gezeigt (Udert und Wächter, 2012), dass je nach pH-Wert ca. 1.5% (pH 6) bis 3.0% (pH 7.2) des Stickstoffs während des Eindampfens ausgast. Ca. 97% des Wassers kann entfernt werden ohne dass Ausfällungen auftreten. Die Produktion eines Festproduktes ist möglich, bedarf aber besonderer Apparaturen, weil Ausfällungen in Vakuumdestillationsanlagen problematische Verkrustungen verursachen.

## Verfahrensanwendung

Keine Bemessungsregelwerke bekannt.

## Technische Erfahrung

Ausgereifte Verfahren zur Vakuumdestillation sind auf dem Markt erhältlich. Die Anlagen sind aber häufig für die dezentrale Anwendung zur Gelbwasseraufkonzentrierung zu gross.

## **Platzbedarf/Entfernung**

Der Platzbedarf ist stark abhängig von der eingesetzten Anlagengröße. Die Vakuumdestillationsanlage an der Eawag hat die Masse 1070 mm (Länge), 600 mm (Breite) und 1480 mm (Höhe). Dazu kommen Lagertanks und Pumpen für Zu- und Ablauf.

## **Verfahrensdauer**

Abhängig vom eingesetzten Verdampfertyp und der eingesetzten Leistung. Die Anlage an der Eawag hat einen Mindestdurchsatz von  $20 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ . Weil nur ca. 40 L nitrifizierter Urin pro Tag produziert werden, wird die Destillationsanlage im Batch-Betrieb gefahren.

## **Hilfsstoffe**

Eventuell Entschäumer und Energie. Mit Vakuumdestillation ca. 100 bis  $170 \text{ Wh}\cdot\text{L}^{-1}$  (Anlage Eawag). Der Energiebedarf ist bei eingefahrenen Reaktoren geringer.

## **Geeignete Vor- und Nachbehandlungsverfahren**

Stabilisierung mittels Nitrifikation. Eventuell auch Ansäuerung.

## **Literatur**

- Hellström, D., Johansson, E. and Grennberg, K. (1999) Storage of human urine: Acidification as a method to inhibit decomposition of urea. *Ecological Engineering* 12(3-4), 253-269.
- Mayer, M. (2002): Thermische Hygienisierung und Eindampfung von Humanurin. Diplomarbeit des Institut für Umweltechnik der Fachhochschule beider Basel, Muttenz, Schweiz.
- Narayan, G.P., Sahrqawy, M.H., Summers, E.K., Lienhard, J.H., Zubair, S.M. and Antar, M.A. (2010) The potential of solar-driven humidification-dehumidification desalination for small-scale decentralized water production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(4), 1187-1201.
- UCPTE (1994). Yearly Report 1993, Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité, Wien, Österreich.
- Udert, K.M., Larsen, T.A. and Gujer, W. (2006) Fate of major compounds in source-separated urine. *Water Science and Technology* 54(11-12), 413-420.
- Udert, K.M. and Wächter, M. (2012) Complete nutrient recovery from source-separated urine by nitrification and distillation. *Water Research* 46(2), 453-464.
- Wieland, P. O. (1994): Designing for human presence in space – an introduction to environmental control and life support systems. NASA RP-1324, Appendix E/F, 227–251