



bm   

Technologiebeschreibungen
**Energie und Nährstoffe
aus Abwasser**

Anhang für den Leitfaden

Auf den nächsten Seiten sind verschiedene, teils neuartige Technologien, welche auf einer ARA zum Einsatz kommen können, beschrieben. Die Technologien betreffen die Bereiche Wertstoffrückgewinnung sowie Energieumwandlung und –speicherung.

Im unteren Teil der Beschreibung ist weiterführende Literatur angegeben, wenn genauere Informationen benötigt werden. Die Quellen für die angeführten Daten sind ebenfalls aufgelistet.

Referenz-Abwasserreinigungsanlage

Für die Angabe der Investitionskosten und der Berechnung der Betriebskosten (exkl. Personalkosten) wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

Ausbaugröße	50.000 EW
Trübwasseranfall	Ca. 80 m ³ /d (30.000 m ³ /a)
NH ₄ -N Konzentration	800 – 1.200 mg/l
Abtrenngrad	90 % (Strippung, MD)
Kosten	
Energie – elektrisch	0,10 €/kWh
Energie – thermisch	0,08 €/kWh
Schwefelsäure H ₂ SO ₄ 70 %	0,08 €/kg
Natronlauge NaOH 50 %	0,31 €/kg

Prozess	Luftstrippung	
Prozess-Diagramm		
Beschreibung	<p>Bei dem physikalischen Trennverfahren der Luftstrippung, wird der im Trübwasser vorhandene Stickstoff als Ammoniak ausgetrieben und in einer Wäscher-Kolonne mit Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ gebunden.</p> <p>Um das Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak in Richtung Ammoniak zu verschieben, werden in der Vorbehandlung der pH-Wert und die Temperatur angepasst. Der pH-Wert kann durch Austreiben von CO_2 in einem vorgeschalteten Stripper oder durch die Zugabe von Natronlauge (NaOH) erhöht werden. Heißdampf aus der Verbrennung oder Abwärme aus Blockheizkraftwerken (BHKW) können zur Vorerwärmung des Trübwassers verwendet werden.</p>	
Produkt	Ammoniumsulfat-Lösung $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
Umsetzungsbeispiele	ARA Kloten/Opfikon (CH), KA Wallau (D), KA Straubing (D), RHV Trattnachtal (Ö)	
Vorteile		Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Chemisch-physikalisches Verfahren, daher hohe Prozessstabilität • Gute Verwertungsmöglichkeit überschüssiger thermischer Energie 		<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Chemikalieneinsatz • Chemisches Wissen als Voraussetzung zur Implementierung • Ablagerungen in den Kolonnen aufgrund von Ausfällungen

Entwicklungsstadium	Großtechnisch	Komplexität	Hoch
pH	8 – 10	Temperatur	50 – 70 °C
Abtrenngrad	85 – 95%	$Q_{\text{Luft}}/Q_{\text{Trübwasser}}$	700 – 1000
Chemikalien	70% H ₂ SO ₄ : 5,0 – 5,2 kg/kg N 50% NaOH: 5 – 8 kg/m ³	Energiebedarf	E _{el} : 1,5 – 2,5 kWh/m ³ E _{th} : 6 – 10 kWh/m ³
Betriebskosten	2,4 – 5,4 €/kg N	Erlöse	0,5 – 1,1 €/kg N
Investitionskosten	0,8 – 1,0 Mio. €		
Technologie-Anbieter	AMFER®, Fa. Colsen (NL) Fa. RVT Process Equipment GmbH (D)		
Weiterführende Literatur	Boehler et al. (2015), DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000)		

Quellen

Boehler M. A., Heisele A., Seyfried A., Grömping M., and Siegrist H. (2015) (NH₄)₂SO₄ recovery from liquid side streams. *Environmental Science and Pollution Research*, **22**(10), 7295–7305.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000) *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

Ebner H. (2017) Interview zum Thema “Ammoniak-Strippung in der VARA Spittal/Drau.”

Eekert M. H. A. van, Weijma J., Verdoes N., Buissonje F. E. de, Reitsma B. A. H., and Bulk J. V. den (2012) *Explorative Research on Innovative Nitrogen Recovery*, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. [online] <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/437971> (Accessed June 26, 2017).

Klein D. (2015) *Bewertung von Stickstoff- und Phosphorrückgewinnung im Gesamtsystem aus Abwasserreinigung und Landwirtschaft*, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig, Braunschweig, D.

PFI, ISAH Leibniz Universität Hannover, and ISW TU Braunschweig (2012) *Wissenschaftliche Begleitung der großtechnischen Anwendung der Seaborne-Technologie auf der Kläranlage Gifhorn - Abschlussbereich*, Hannover, Deutschland.

Sagoe I. (2009) Möglichkeiten der Nährstoffrückgewinnung und Düngerproduktion aus Abwasser.

Vaneeckhaute C., Lebuf V., Michels E., Belia E., Vanrolleghem P. A., Tack F. M. G., and Meers E. (2017) Nutrient Recovery from Digestate: Systematic Technology Review and Product Classification. *Waste and Biomass Valorization*, **8**(1), 21–40.

www.atemis.net [online] <http://www.atemis.net/html/referenzliste1.html> (Accessed April 4, 2017).

www.colsen.nl [online] <https://colsen.nl/products> (Accessed June 27, 2017).

Prozess	Membrandestillation	
Prozess-Diagramm		
Beschreibung	<p>Bei der Membrandestillation, wird der im Trübwasser als Ammonium vorliegende Stickstoff auf der Feed-Seite in gasförmigen Ammoniak überführt und durch eine hydrophobe Membran abgetrennt. Auf der Permeat-Seite wird der Ammoniak in Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ gebunden.</p> <p>Um das Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak in Richtung Ammoniak zu verschieben, werden in der Vorbehandlung der pH-Wert und die Temperatur angepasst. Der pH-Wert kann durch Austreiben von CO_2 in einem vorgeschalteten Stripper oder durch die Zugabe von Natronlauge (NaOH) erhöht werden. Heißdampf aus der Verbrennung oder Abwärme aus Blockheizkraftwerken (BHKW) können zur Vorerwärmung des Trübwassers verwendet werden.</p>	
Produkt	Ammoniumsulfat-Lösung $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
Umsetzungsbeispiele	ARA Yverdon (CH), ARA Altenrhein (CH, in Bau)	
Vorteile		Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Chemisch-physikalisches Verfahren, daher hohe Prozessstabilität • Gute Verwertungsmöglichkeit überschüssiger thermischer Energie 		<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Chemikalieneinsatz • Chemisches Wissen als Voraussetzung zur Implementierung • Fouling an der Membranoberfläche

Entwicklungsstadium	Großtechnisch	Komplexität	Niedrig
pH	9 – 11	Temperatur	40 – 60 °C
Abtrenngrad	90 – 95%		
Chemikalien	70% H ₂ SO ₄ : 5,0 – 5,2 kg/kg N 50% NaOH: 5 – 8 kg/m ³	Energiebedarf	E _{el} : 0,12 – 0,20 kWh/m ³ E _{th} : 6 – 10 kWh/m ³
Betriebskosten	2,3 – 5,0 €/kg N	Erlöse	0,5 – 1,1 €/kg N
Investitionskosten	1,2 – 1,8 Mio. €		
Technologie-Anbieter	Liqui-Cel® Membrane Contactors (D) Alpha WasserTechnik AG (CH)		
Weiterführende Literatur	Boehler et al. (2015), Platzer et al. (2016)		

Quellen

Boehler M. A., Heisele A., Seyfried A., Grömping M., and Siegrist H. (2015) (NH₄)₂SO₄ recovery from liquid side streams. *Environmental Science and Pollution Research*, **22**(10), 7295–7305.

EL-Bourawi M. S., Khayet M., Ma R., Ding Z., Li Z., and Zhang X. (2007) Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal. *Journal of Membrane Science*, **301**(1–2), 200–209.

Melin T. and Rautenbach R. (2007) *Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Platzer C., Brunner C., Tahir A. J., Buchmaier J., Klein P., Mayr B., Koschikowski J., and Gampmayer R. (2016) *En-RecoTreat "Innovative Membrandestillation zur Wertstoff- und Energierückgewinnung in der kommunalen Abwasserbehandlung,"*

Scheuner K. (2016) Stickstoff von der Kläranlage. die grüne, Fachmagazin für die Schweizer Landwirtschaft.

Siegrist H. (2017) Recovery of Nitrogen from Wastewater by Membrane Stripping at WWTPs and Production of a marketable Nitrogen Fertilizer Product.

Ulbricht M., Schneider J., Stasiak M., and Sengupta A. (2013) Ammonia Recovery from Industrial Wastewater by TransMembraneChemiSorption. *Chemie Ingenieur Technik*, **85**(8), 1259–1262.

Prozess	MAP-Fällung Trübwasser	
Prozess-Diagramm		
Beschreibung	<p>Ammonium im Trübwasser verbindet sich mit Magnesium und Phosphat zu dem schwer löslichen Salz Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP), auch genannt Struvit. Eine Voraussetzung für die MAP-Fällung angewendet auf ARAs ist eine vorangegangene biologische P-Elimination.</p> <p>Die Rücklösung von Phosphat kann mithilfe spezieller Verfahren wie zum Beispiel im DHV Crystalactor® verbessert werden. In einem zweiten Schritt werden Chemikalien zur pH-Wert-Anpassung (NaOH) und Fällungsmittel (MgCl₂, MgO, Mg(OH)₂) zugegeben.</p> <p>Bei der Konfiguration kann man unterscheiden zwischen einer Kombination von Misch- und Kristallisationsbehälter (z.B. PRISA Verfahren) oder einem Wirbelschichtreaktor (z.B. PEARL® Verfahren).</p>	
Produkt	MAP – Magnesium-Ammonium-Phosphat	
Vorteile		Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Chemisch-physikalisches Verfahren, daher hohe Prozessstabilität • Kontrollierte Ausfällung von MAP reduziert ungewollte Ablagerungen, Verstopfungen in Rohren und Behältern • Gut erforschte und häufig eingesetzte Technologie 		<ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbar bei größeren ARAs (PEARL® beginnen erst bei 100.000 EW) • Chemisches Wissen als Voraussetzung zur Implementierung

Entwicklungsstadium	Großtechnisch	Komplexität	Mittel
pH	PEARL®: 7,9 – 8,3 PRISA: 9,5	Temperatur	Abhängig vom Verfahren
Energiebedarf (elektrisch)	PEARL®: 5 – 6,5 kWh/kg P PRISA: 2,6 kWh/kg P	Molares Verhältnis (Mg :P)	PEARL®: 1 – 1,1 : 1 PRISA: 1,3 – 1,5 : 1
Laugeneinsatz NaOH 100 %	PEARL®: 0,22 kg/kg P PRISA: 0,43 – 0,5 kg/kg P	Abtrenngrad	> 90 % (bezogen auf P)
Betriebskosten	5,3 – 7,5 €/kg P	Erlöse	2,3 – 3,5 €/kg P
Investitionskosten	1,0 – 1,7 Mio. € (100.000 EW)		
Technologie-Anbieter	PEARL® Verfahren, Ostara® (CA): Wirbelschichtreaktor, MgCl ₂ , Produkt „Crystal Green®“ PRISA Verfahren: Mischbehälter und Kristallisationsbehälter, MgO DHV Crystalactor®, DHV Water B.V. (Procorp LLC Enterprise): P-Rücklösung, Wirbelschichtreaktor, CaCO ₃ , Ca(OH) ₂		
Weiterführende Literatur	Egle et al. (2014), DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000)		

Quellen

Doyle J. D. and Parsons S. A. (2002) Struvite formation, control and recovery. *Water Research*, **36**, 3925–3940.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000) *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2004) *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef. [online] http://araconsult.at/download/literature/atv_jardin_wurrzburg.pdf (Accessed March 30, 2017).

Egle L., Rechberger H., and Zessner M. (2014) *Endbericht - Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser*, BMLFUW, Wien. [online] <http://iwr.tuwien.ac.at/wasser/forschung/projekte/projekte/p-recycling/> (Accessed November 20, 2017).

Rosenwinkel K.-H., Kroiss H., Dichtl N., Seyfried C.-F., and Weiland P. (eds.) (2015) *Anaerobtechnik*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. [online] <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-24895-5> (Accessed April 3, 2017).

Prozess	MAP-Fällung Faulschlamm (AirPrex®)	
Prozess-Diagramm		
Beschreibung	<p>Im Faulbehälter wird biologisch entfernter Phosphor als Phosphat in der Flüssigphase rückgelöst. Phosphor im Schlamm hat einen negativen Einfluss auf die Entwässerbarkeit, gemeinsam mit Ammonium kann es zu Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) Ablagerungen kommen und die P-Rückbelastung zur Biologie über das Trübwasser ist erhöht.</p> <p>Die Anlage besteht aus einer Luftstrippung zur pH-Wert Anhebung, Fällung des gelösten Phosphors mit Magnesiumchlorid ($MgCl_2$) und der Abtrennung des MAP mittels Hydrozyklon oder einfachem Sandfang.</p>	
Produkt	MAP – Magnesium-Ammonium-Phosphat	
Vorteile		Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Chemisch-physikalisches Verfahren, daher hohe Prozessstabilität • Kontrollierte Ausfällung von MAP reduziert ungewollte Ablagerungen, Verstopfungen in Rohren und Behältern • Gut erforschte und häufig eingesetzte Technologie 		<ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbar bei größeren ARAs (PEARL® beginnen erst bei 100.000 EW) • Chemisches Wissen als Voraussetzung zur Implementierung

Entwicklungsstadium	Großtechnisch	Komplexität	Mittel
pH	7,8 – 8,2	Abtrenngrad	> 90 % (bezogen auf P)
Energiebedarf (elektrisch)	7,5 kWh/kg P	Molares Verhältnis (Mg :P)	1,1 – 1,3 : 1
Aufenthaltszeit	6 – 10 h		
Betriebskosten	6,8 €/kg P	Erlöse	2,3 – 3,5 €/kg P
Investitionskosten	0,6 – 1,0 Mio. € (100.000 EW)		
Technologie-Anbieter			
Weiterführende Literatur	Egle et al. (2014), DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000)		

Quellen

Doyle J. D. and Parsons S. A. (2002) Struvite formation, control and recovery. *Water Research*, **36**, 3925–3940.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2000) *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA Arbeitsbericht AK 1.3 (2004) *Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef. [online] http://araconsult.at/download/literature/atv_jardin_wurrzburg.pdf (Accessed March 30, 2017).

Egle L., Rechberger H., and Zessner M. (2014) *Endbericht - Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser*, BMLFUW, Wien. [online] <http://iwr.tuwien.ac.at/wasser/forschung/projekte/projekte/p-reycling/> (Accessed November 20, 2017).

Rosenwinkel K.-H., Kroiss H., Dichtl N., Seyfried C.-F., and Weiland P. (eds.) (2015) *Anaerobtechnik*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. [online] <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-24895-5> (Accessed April 3, 2017).