



Press Release

Presse-Information • Information de presse

Contact/Kontakt

Dr. Kathrin Rübberdt

Tel. ++49 (0) 69 / 75 64 - 2 77

Fax ++49 (0) 69 / 75 64 - 2 72

e-mail: presse@dechema.de

February 2013

Industrielle Wasseraufbereitung: Mehr als Umweltschutz

Chinas Wasserbedarf wächst, seine Ressourcen sind begrenzt. Moderne Aufbereitungstechnologien sind deshalb für die Volksrepublik von besonderem Interesse. Die Möglichkeiten reichen vom Membranverfahren über biologische Prozesse bis hin zur Vision der stromerzeugenden Kläranlage.

Wasser wird in der Industrie für viele Zwecke eingesetzt: Zur Reinigung, für die Kühlung oder Heizung, als Dampf, als Rohmaterial, Lösungsmittel oder Teil des Produkts. Nach Angaben der UNESCO gehen 5 bis 20 % des weltweit entnommenen Frischwassers in industrielle Prozesse. In China lag der Anteil der industriellen Wassernutzung am Gesamtbedarf 2007 bei 23 % und wird bis 2030 33 % erreichen; das entspricht 265 Milliarden m³. Dabei wird der Bedarf die verfügbaren Frischwassermengen erheblich übersteigen.

Deshalb geht die Prozessindustrie schon jetzt neue Wege und installiert Rückgewinnungs- und Entsalzungsanlagen für Abwässer. Technologie für die Schließung von Wasserkreisläufen wird in China in der nahen Zukunft verstärkt zum Einsatz kommen. Das Ziel: 2015 sollen 20 % des Abwasser wiederverwendet werden; das entspricht nach Angaben des Innovation Center Denmark 3,7 Milliarden m³/Jahr.

Der chinesische Markt für Wasseraufbereitung ist also für Technologieanbieter durchaus attraktiv. Alleine 2011 importierte die Volksrepublik Anlagen und Ausrüstungen, die hauptsächlich im Wassersektor eingesetzt werden, im Wert von 11 Milliarden US\$ - eine Steigerung von 23 % innerhalb eines Jahres.

Für die Behandlung der unterschiedlichsten Prozess- und Abwasserströme steht eine Vielzahl an physikalischen, chemischen und biologischen Methoden zur Verfügung. Doch nahezu jedes Projekt ist einzigartig, denn die speziellen Parameter – Zusammensetzung, Temperatur, pH etc. – können stark variieren. Die verschiedenen Methoden oder Kombinationen müssen darauf angepasst sein und hängen auch vom gewünschten Effekt ab: Geht es „nur“ um die Reinigung, oder sollen Inhaltsstoffe zurückgewonnen werden? Welcher Inhaltsstoff steht im Fokus, und in welcher Qualität wird er benötigt?

Wachstumsmarkt Membrantechnologie

Membranprozesse gehören zu den weitverbreitetsten Methoden. Sie benötigen vergleichsweise wenig Energie, und ihr Einsatz hat sich auch bei großen Volumina bewährt. Für die relativ kleinen Mengen an Prozesswasser benötigt man sehr spezifische und funktionalisierte Membranen. Hier finden unter anderem keramische Membranen Anwendung, die auf Grund ihrer hohen mechanischen, chemischen und thermischen Stabilität den Einsatz in aggressiven Medien und die Verwendung von effektiven chemischen Reinigern bis hin zur Heißdampfsterilisation ermöglichen. Dadurch ist ein produktionsintegrierter Einsatz möglich, bei dem nur Teilströme behandelt und Kreisläufe häufig unter Vermeidung von Wärmeverlusten geschlossen werden. Beispiele sind die Pflege von verunreinigten Öl-Wasser-Emulsionen durch Mikrofiltrationsmembranen, die Pflege von hochalkalischen Laugenbädern zur Reinigung von Mehrwegflaschen durch Ultrafiltrationsmembranen oder die Entfärbung chemisch aggressiver und heißer Textilabwässer aus der Textilveredelung durch Nanofiltrationsmembranen.

Membranverfahren sind in der Regel jedoch nur der erste Schritt in der Wasseraufbereitung. Man erhält zwischen 30 und 50 % des ursprünglichen Volumenstroms als Konzentrat, das aufwändig deponiert werden muss. In kommunalen Kläranlagen verursacht es erhebliche Probleme, zumal abbauresistente Substanzen und Salze ungehindert in die Vorfluter gelangen. Deshalb sind weitere Reinigungsschritte notwendig, um die Schadstoffe dauerhaft zu entfernen.

Rückgewinnung von Wertstoffen durch Fällung, Flockung und Sorption

Fällung und Flockung eignen sich sowohl, um Störstoffe vor weiteren Aufbereitungsschritten zu entfernen, als auch für die Aufbereitung von Konzentraten oder die Rückgewinnungen von Wertstoffen wie Metallen oder Phosphat. Durch Mitfällung lassen sich ggf. weitere Stoffe entfernen, je nachdem, welche Anforderungen an das Fällungsprodukt gestellt werden. Wenn die Prozesse gut geführt werden, können sie leicht mit anderen Schritten kombiniert werden und liefern gleichzeitig wirtschaftlich interessante Produkte.

Selektive Sorptions- und Membranprozesse eignen sich ebenfalls, um Wertstoffe wie Metalle, Katalysatoren oder Antioxidantien zurückzugewinnen, können aber auch eingesetzt werden, um vor der biologischen Aufbereitung problematische Inhaltsstoffe wie Schwermetalle, Phenol oder Biozide zu entfernen. Darüber hinaus kann man mit ihrer Hilfe Silikate oder Phosphate entfernen, die nachgelagerte Membranschritte stören könnten. Je nach der Zusammensetzung des Wassers können Ionenaustauscher mit unterschiedlichen funktionellen Gruppen genutzt werden; mit ihnen können Metalle sogar aus sehr salzreichen Wässern gewonnen werden. Von großem Interesse sind derzeit die sogenannten molekulargeprägten Polymere (molecularly imprinted polymers, MIPs). Dabei handelt es sich um Polymere, die geometrisch und hinsichtlich ihrer funktionellen Gruppen auf ein Mustermolekül angepasst sind, das zu ihnen passt wie der Schlüssel ins Schloss. Sie zeichnen sich durch außerordentlich hohe Selektivität aus und sind sehr robust gegenüber extremen pH-, Temperatur- und Druckbedingungen sowie organischen Lösungsmitteln. Kombiniert man verschiedene Prozessschritte, erlaubt dies sogar die fraktionierte Gewinnung unterschiedlicher Inhaltsstoffe wie etwa Polyphenole aus der Olivenverarbeitung.

Fortschrittliche Oxidationsprozesse (Advanced Oxidation Processes AOP)

AOPs besitzen ein sehr breites Anwendungspotenzial. Aufgrund der radikalischen Reaktionen mit hohem Oxidationspotenzial sind diese Prozesse insbesondere für den Abbau von anthropogenen und toxischen organischen Wasserinhaltsstoffen interessant. Zusätzlich erfolgt in der Regel eine parallele

Desinfektion, Entfärbung und Desodorierung des (Ab)Wassers. Allerdings kann es auch zur Entstehung von Zwischen- und Nebenprodukten, den so genannten Transformationsprodukten kommen, die ebenfalls toxische Wirkungen entfalten können. Die Untersuchung und Auslegung solcher Anlagen vor einer möglichen Anwendung ist deshalb besonders wichtig.

AOPs erfordern im Vergleich zu anderen Verfahren einen erhöhten Energieaufwand. Wirtschaftliche Anwendungen von AOPs sind daher noch beschränkt auf vergleichsweise kleine Schmutzfrachten, erkennbare Produktionsvorteile und Kombination mit anderen Verfahren wie z.B. biologische, membranbasierte und adsorptive Verfahren. Ein besonders wirtschaftliches Anwendungspotenzial besitzen AOPs in der Regel bei der Nachbehandlung von aufbereiteten Prozesswässern (Polishing: Spurenstoffelimination, Entfärbung, Desinfektion, etc.), weil der Bedarf an Oxidationsmitteln hier meist klein ist. AOPs sind in der Lage, organische Komponenten vollständig zu entfernen. Sie eignen sich deshalb gut als Teilprozess für Verfahren zur Wertstoff- und Wasserrückgewinnung, wobei sowohl die Qualität der rückgewinnbaren Wertstoffe als auch des wieder verwendbaren Prozesswassers in der Regel verbessert wird. So können über Fällung rückgewinnbare Metallsalze qualitativ verbessert werden, indem die (Mit-)Fällung/Flockung von Organika durch vorhergehende Oxidation minimiert wird.

Zunehmend interessant - insbesondere in wasserarmen Regionen, wo die Solarstrahlung häufig auch am höchsten ist - könnte die Photokatalyse werden. Bei Katalysatoren mit einer relativ geringen Photonenausbeute wie z.B. aktuell das TiO_2 wird sie sich jedoch vorerst auf das Polishing beschränken.

Biologische Wasserbehandlung: Komplex und vielseitig

Die biologische Wasseraufbereitung ist außerordentlich wichtig. Nicht nur ist sie kostengünstiger als chemische und physikalische Verfahren; dank der Vielfalt an Mikroorganismen und Reaktorkonzepten lässt sie sich auch der jeweiligen Aufgabenstellung optimal anpassen. Die meisten organischen Inhaltsstoffe können von Mikroben abgebaut werden, die auch in großem Maßstab kultiviert werden können. Der vollständige Abbau zu anorganischen Salzen oder die Umwandlung in organische Wertstoffe (CH_4 , H_2 , Laktat, Öl etc.) gelingt bei vergleichsweise hohen Temperaturen und Salzgehalten und selbst außerhalb des neutralen pH-Bereichs.

Durch unterschiedliche Prozessführungskonzepte können in den Reaktoren Parameter gezielt eingestellt werden, um die gewünschte Biomasse (Nitrifikanten, methanbildende Organismen etc.) zu kultivieren:

- Biomassewachstum oder Erhaltungsstoffwechsel,
- suspendiertes oder trägerfixiertes Wachstum,
- aerobe oder anaerobe Reaktionsbedingungen (Verfügbarkeit eines Elektronenakzeptors).

Aerobe und anaerobe Prozesse laufen in vielen Verfahren zur Abwasserbehandlung parallel ab. Erst nach dem aktiven Einbringen von Sauerstoff in der Belebung kommen in größerem Umfang auch aerobe Prozesse zum Tragen.

Biologische Abbauprozesse werden überwiegend in zentralen Kläranlagen umgesetzt, in denen die Produktionsabwässer eines Standortes zur Nutzung der Synergien („economy of scale“, Ausgleich von Fracht und Hydraulik, Zusammenführung von C- und N-reichen Strömen, Vermeidung von toxischen

Konzentrationen) gemeinsam behandelt werden. Probleme bereiten die unzureichende biologische Abbaubarkeit bestimmter synthetischer niedermolekularer Substanzen sowie ggf. hemmende Wirkungen. Daher müssen chemisch-/physikalische Verfahren – in der Regel für Teilströme - in den Behandlungsprozess integriert werden.

Aerobe Prozesse basieren auf spezialisierten Bakterien, Algen oder Enzymen. Sie können auch Trägermaterialien mit weiteren Funktionen (Membranen, Sorbentien) immobilisiert werden. Ergänzt wird dies beispielsweise durch eine mehrstufige Prozessführung, bei der anstelle der Biozönose, also einer Lebensgemeinschaft vieler Organismen, auf jeder Reinigungsstufe nur die einzelnen Spezialisten unter optimalen Bedingungen zum Einsatz kommen. Kennt man die mikrobiologischen Reaktionen, sind die Auslegung und der Betrieb der Bioreaktoren sowohl für die Behandlung von Konzentraten als auch von gering konzentrierten Prozessabwässern mit Spurenstoffen wirtschaftlich möglich. So sind Algen-Bakterien-Mischbiozönosen in der industriellen Abwasserbehandlung in sonnenreichen Regionen etabliert. Mikroalgen werden zur selektiven Sorption von bestimmten Abwasserinhaltsstoffen und Rückgewinnung von beispielsweise Schwermetallen erfolgreich eingesetzt. Sie könnten zukünftig sogar zusätzlich zur Ölgewinnung dienen. Allerdings müssen für einen wirtschaftlichen Einsatz von Mikroalgen die Selektivität, die Regenerierbarkeit und die Standzeit verbessert werden.

Neben den klassischen Abwasserreinigungsanlagen sind verschiedene Varianten von Membran- und Biofilmreaktoren im Einsatz. Sie sollen gleichzeitig Abwasserinhaltsstoffe effektiv abbauen und darüber hinaus Wertstoffe und/oder Energie aus der Abwassermatrix gewinnen. Hier spielen insbesondere Verfahren eine Rolle, bei denen die Biomasse auf Trägern fixiert ist; so sind sie gegenüber Störungen widerstandsfähiger, und die Prozessstabilität wird verbessert. Als geeignete Reaktoren zur Reinigung von Prozessabwässern mit schwer abbaubaren Inhaltsstoffen haben sich je nach Anforderung anaerobe und aerobe Fest- und Fließbettreaktoren durchgesetzt. Sie arbeiten mit Hilfe immobilisierter Mikroorganismen.

Aerobe Membranbioreaktoren

Klassischen biologische Verfahren haben neben dem hohen Platzbedarf einige weitere Nachteile: Die gelösten Abwasserinhaltsstoffe müssen unter den gegebenen Bedingungen dem mikrobiellen Abbau zugänglich sein und dürfen unter den Betriebsbedingungen weder toxisch noch inhibierend wirken. Zudem tritt bei der klassischen Verfahrensführung ein „Schlupf“ von nicht abgebauten Verbindungen und Mikroorganismen auf, der die Abläufe der Anlagen belasten kann.

Aerobe Membranbioreaktoren/belebungsanlagen, die diese Nachteile z.T. nicht aufweisen haben sich daher in den letzten 20 Jahren zu einem etablierten Verfahrensbaustein entwickelt. Sie sind zuverlässig, kompakt und anpassungsfähig und haben eine hohe Reinigungsleistung. Das Anwendungsfeld schließt auch den Einsatz in Systemen zur internen Wasserwiedernutzung und Schließung von Wasserkreisläufen ein.

Beim Einsatz eines aeroben Membranbioreaktors zur Behandlung industrieller hochbelasteter Abwässer oder bei der Teilstrombehandlung werden unterschiedliche Teilprozesse sinnvoll miteinander kombiniert. Spezielle Reaktorausführungen tragen der oft sehr einseitigen Wasserzusammensetzung Rechnung. Effiziente Begasungssysteme und deren intelligente Regelung erfordern deutlich weniger Energie. Neue, z.T. sehr spezielle Membranreinigungsstrategien sind verfügbar. Bei den Membranwerkstoffen und Modulkonzeptionen erhalten langlebige, flexible und

leistungsfähige Systeme den Vorzug gegenüber preiswerter Massenware. Die aeroben Membranbioreaktoren werden häufig mit anderen physikalischen oder chemischen Behandlungsschritten gekoppelt, wodurch sehr spezifische und angepasste „Hybridsysteme“ entstehen.

Anaerobe Verfahren

Dem Energiegewinn bei gleichzeitiger Einsparung von Belüftungsenergie verdanken die Anaerobverfahren ihre breite Anwendung. Sie dienen bei organisch hoch belasteten Abwässern zumeist als Vorreinigungsstufe vor einer abschließenden Aerobstufe. Der Stoffumsatz der anaeroben Bakterien ist sehr hoch und daher der Aufwand sowie die Kosten für die Schlammensorgung und der Nährstoffbedarf gering, was vor allem bei stickstoff- und phosphorarmen Prozesswässern vorteilhaft ist.

Die anaerobe Abwasserreinigung wird dann eingesetzt, wenn die Konzentration der organischen Abwasserinhaltsstoffe hoch ist, das Abwasser kontinuierlich anfällt und keine oder kaum Hemmstoffe im Abwasser enthalten sind. Wichtig ist, dass die Biomasse möglichst weitgehend zurückgehalten oder rückgeführt wird, da die aktive Biomasse bei geringen Stoffumsätzen sehr geringe Wachstumsraten aufweist. Das kann u.a. durch Sedimentationsverfahren oder Verfahren mit immobilisierter Biomasse erreicht werden. Die Anwendung anaerober Membranbioreaktoren wird derzeit in Pilotanlagen getestet. Die Hauptschwierigkeit ist die schlechte Filtrierbarkeit anaerober Schlämme. Außerdem ist die weit verbreitete Deckschichtkontrolle mittels Luft im anaeroben Bereich nicht möglich und der Ersatz durch Biogas aufwendig und sicherheitstechnisch bedenklich.

Zukunftsmusik? Mikrobielle Brennstoffzellen

Mikrobielle Brennstoffzellen sind einer der interessantesten Ansätze in der laufenden Forschung. Ihr Grundprinzip: Mikroorganismen bauen gelöste oder feinpartikuläre organische Substanz oxidativ ab und erzeugen gleichzeitig Strom. In Biofilmen sind sie auf der Anode der Zelle angesiedelt und können so die Elektronen direkt abgeben. Besonders Abwasser mit relativ geringer organischer Belastung wie z.B. kommunales Abwasser kann so energieeffizient behandelt werden – ja, es sind sogar Modelle vorstellbar, bei denen die Kläranlage zur Energieproduktionsanlage wird.

Die Technologie ist derzeit im Pilotstadium. Entwicklungsbedarf besteht unter anderem bei den Materialien und der Effizienz. Doch Experten gehen davon aus, dass schon bald entsprechende Verfahren als Ergänzung zur aeroben Abwasserbehandlung zur Verfügung stehen, denn die Prozessparameter wie Temperatur und Behandlungsdauer sind ähnlich. Die Technologie erscheint zusätzlich besonders für Wässer mit hohem Gehalt an organischen Inhaltsstoffen geeignet, die wegen hoher Salz- oder Sulfatfracht nicht anaerob behandelt werden können.

Ein Schritt weiter: Integriertes Wassermanagement

Wasserrecycling lohnt sich überwiegend dann, wenn schwach verunreinigte Ströme kostengünstig mit wenig Aufwand wiederaufbereitet werden können. Bei Strömen, die nicht nur hohe Konzentrationen an Verunreinigungen aufweisen, sondern dazu auch noch Stoffe unterschiedlichster chemischer und physikalischer Eigenschaften enthalten, ist Wasserrecycling weniger effizient durchzuführen. Meistens ist die Grundvoraussetzung für Wasserrecycling deshalb die Etablierung eines effizienten Wassermanagements, um die besonders recyclingfähigen Abwässer von den weniger recyclebaren zu trennen.

Die Optimierung des Stoffstrommanagements ist ein hoch komplexes Unterfangen. Zu berücksichtigen sind die Auswirkungen auf Prozesse und Produkte ebenso wie Wechselwirkungen mit dem Energie- und Personalaufwand und die ökonomischen Zusammenhänge. Da der Aufwand für das produktionsintegrierte Wassermanagement groß ist, wird die Nachrüstung bestehender Anlagen in aller Regel nicht wirtschaftlich sein. Doch bei der Neuplanung oder Erweiterung von Anlagen können solche Konzepte von vornherein berücksichtigt werden; auf lange Sicht werden die Investoren mit erheblichen Einsparungen bei Energie und Wasser belohnt. Auch das Recycling von Wertstoffen kann dadurch erheblich erleichtert werden, und indem Emissionen von vornherein verhindert werden, reduziert sich der nachgelagerte Aufbereitungsaufwand.

Im Unterschied zu integrierten Verfahren sieht der additive Ansatz die Einführung zusätzlicher nachgelagerter Prozessschritte vor. Es gibt erfolgreiche Beispiele zu einem kontinuierlichen Übergang zwischen innerbetrieblich angewandten additiven und integrierten Maßnahmen. So setzt die Heiß-Nanofiltration direkt am Färbe- oder Waschprozess mit Wasserrecycling und gleichzeitiger Energieeinsparung an. Ionentauscher werden zur Reinigung von Spülwasser in der Oberflächenveredelung eingesetzt. Andere erfolgreich umgesetzte Beispiele sind der Einsatz der Membranfiltration beim Wasserrecycling in der Lebensmittel- und in der Getränkeindustrie. Die meisten dieser innerbetrieblichen Recyclingprozesse setzen in der Nähe oder direkt an der Quelle an, da die Komplexität der Wasserinhaltsstoffe dort begrenzt ist und den Betrieb der additiven Verfahren mit geringem Aufwand ermöglicht.

Fazit: Angesichts der Herausforderungen kann sich China zu einem Pilotland für fortschrittliches Prozesswassermanagement entwickeln. Eine Vielzahl von Technologien steht dafür zur Verfügung. Im Rahmen der AchemAsia vom 13.-16. Mai 2013 in Beijing werden in der Ausstellung und im Kongressprogramm die neuesten Entwicklungen vorgestellt.

(Dieser Trendbericht wurde im Auftrag der DECHEMA zusammengestellt. Die DECHEMA ist nicht verantwortlich für unvollständige oder falsche Informationen.)