



Fraunhofer

IGB

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB



Prozesswasser im Kreislauf

—
Ressourcen- und energieeffiziente Wasseraufbereitung

Industrielle Prozess- und Abwasserreinigung

Wasser wird in zahlreichen industriellen Produktionsprozessen als Lösungs- oder Transportmittel, als Kühlwasser oder Waschwasser verwendet. Steigende Kosten bei der Abwasserreinigung und -entsorgung, regionaler oder saisonaler Wassermangel, aber auch ein wachsendes Umweltbewusstsein der Unternehmen führen dazu, diese oftmals in großer Menge benötigten Prozesswässer möglichst in geschlossenen Kreisläufen zu verwenden und Verunreinigungen selektiv zu entfernen bzw. darin enthaltene und werthaltige Inhaltsstoffe zurückzugewinnen.

Das Fraunhofer IGB hält eine breite Palette von Technologien bereit, um verschiedenste chemisch und biologisch belastete Prozessabwässer zu behandeln. Diese kommen aus den Industriebereichen Chemie, Pharmazie oder Metall. Oder es sind Prozessabwässer mit hoher organischer Fracht aus der Papier- und Zellstoffverarbeitung, Lebensmittel- und Getränkeindustrie. Das IGB unterstützt Unternehmen bei der Wahl und Etablierung eines auf ihr Prozess- oder Abwasser abgestimmten Gesamtprozesses.



Herausforderungen

Anders als in der kommunalen Abwasserreinigung werden die Verunreinigungen in industriellem Prozesswasser und Abwasser in hohem Maße von der jeweiligen Branche und dem spezifischen Fertigungsprozess bestimmt. Selbst innerhalb einer Produktionsstätte können die Kontaminationen rasch wechseln. Standardisierte Lösungen sind daher nur in Ausnahmefällen anwendbar. Um Prozessabwasser aus industriellen Produktionsprozessen im Sinne der Kreislaufführung wiederzuverwenden, müssen die Störstoffe mit möglichst geringem Aufwand separiert oder entfernt werden. Die Lösung kann ein spezifisches Stoffstrommanagement und die selektive Erfassung von Kontaminationen oder eine maßgeschneiderte integrierte Prozesstechnik der Behandlung erfordern.

Prozessabwässer, die nur ungenügend aufbereitet in Gewässer eingeleitet werden, führen zu langfristigen Schäden, denen dann später mit großem Aufwand begegnet werden muss. Die Verunreinigungen von Flüssen, Seen und Grundwasser mit Pflanzenschutzmitteln, Mineralölrückständen oder Pharmazeutika sind hierfür ein Beispiel. Emissionen dieser Art werden in der aktuellen Gesetzgebung nicht mehr toleriert. Auch die Rohwasseraufbereitung steht vor neuen Herausforderungen. Die Verschmutzungen der Vergangenheit wirken sich heute auf die natürlichen Wasserquellen wie Oberflächengewässer und das Grundwasser aus.

Aktuelle Herausforderungen in der Prozessabwasseraufbereitung sind:

- Null-Verbrauch-Anforderung (Net Zero) in Bezug auf Wasserverbrauch und CO_{2eq}-Emissionen
- Null-Emission-Anforderung (Zero Emission) bei pharmazeutischen Wirkstoffen (APIs) und spezifischen Substanzklassen (z. B. PFAS)
- Nitrat- und Nitritfrachten an Industriestandorten ohne biologische Abwasserbehandlung
- Schwankende Abwasserbelastungen durch schnelle Produktwechsel

Fraunhofer IGB – Ihr Partner für Verfahrenslösungen rund um Prozess- und Abwasser

Um eine Kreislaufschiebung und dauerhafte Nachhaltigkeit der Prozesswasserführung zu erreichen, arbeitet das Fraunhofer IGB an Verfahrenslösungen, die Biologie und Technik verbinden.

Aktuelle Forschungen beschäftigen sich mit Adsorption, Filtration, Fällung/Flockung, Elektrodialyse, Oxidation und Desinfektion und der Umstellung auf biobasierte Rohstoffe. Biologische Verfahren, sowohl aerob als auch anaerob, werden mit langjähriger Erfahrung für unterschiedlichste Anwendungsfälle weiterentwickelt, optimiert und mit chemisch-physikalischen Verfahren kombiniert.

Die Einbindung in regionale Energie- und Stoffstromkonzepte im Sinne der Bioökonomie ermöglicht hier neue Lösungswege. Dabei bietet die schnelle Entwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und lokalen Märkte neben neuen Anforderungen auch große Chancen.

Die wissenschaftliche Beratung unserer Kunden in Bezug auf ihren Produktionsprozess und seine Wasserströme erfolgt technologie- und firmenunabhängig. Neue Konzepte und Technologien für eine nachhaltige Aufbereitung und Reinigung von Prozesswasser entwickeln und optimieren wir in direkter Zusammenarbeit mit Industriepartnern – bis zum industriellen Maßstab.



Nachhaltige Wasseraufbereitung

Die Einführung strengerer Umweltrichtlinien, der Weg zur Klimaneutralität und steigende Kosten für Rohwasser führen zu kontinuierlichen Bemühungen, die Menge zu entsorgender Verunreinigungen und Abwässer zu reduzieren, Kreisläufe lokal und regional zu schließen und Wasser- und Energiesysteme noch weiter zu integrieren. Bereits heute sorgen steigende Rohstoffpreise für knapper werdende Ressourcen auch dafür, Abfälle und Abwässer zudem als Quelle für Sekundärrohstoffe zu begreifen. Die Reinigung der anfallenden Abwässer durch Rückgewinnung wertvoller Prozesshilfsstoffe, die ihrerseits entweder wiederverwertet oder anderweitig genutzt werden können, wird daher auch aus ökonomischer Sicht immer attraktiver.

Von der Analyse zur individuellen Lösung

An erster Stelle steht stets eine umfassende Analyse der Produktionsschritte, bei denen Wasser verwendet wird. Kann hier Wasser eingespart bzw. die Vermischung mit Prozessabwasserströmen verhindert werden, die besser getrennt zu behandeln sind, so ist dies häufig ökonomischer als eine universelle Behandlung des Prozessabwassers. Ein produktionsintegriertes Wasserrecycling ermöglicht darüber hinaus auch eine größere Unabhängigkeit von natürlichen Wasserressourcen und damit eine Produktion an wasserärmeren Standorten – bis hin zur vollständigen Unabhängigkeit durch Zero Liquid Discharge (ZLD).

Für individuelle Lösungen analysieren wir Prozesswasserströme und erarbeiten Konzepte für eine Konzentrierung oder selektive Entfernung von spezifischen Verunreinigungen für sortenreine Stoffströme (Einzelstrom- bzw. Teilstrombehandlung). Liegen produktionsbedingt Mischfrachten vor, so verfügen wir auch hier über verschiedene Technologien zur Trennung oder kombinierten Behandlung.

Ziel: Emissionsfrei, ressourcen- und energieeffizient

Im Fokus unserer Forschung und Entwicklung zur Reinigung industrieller Prozess- und Abwässer stehen innovative Technologien und ganzheitliche Systemlösungen. Ziele dabei sind auch, Emissionen in die Umwelt zu vermeiden bzw. zu reduzieren und die Ressourceneffizienz der Wasseraufbereitungsverfahren zu erhöhen.

Ein immer wichtigeres Kriterium – nicht zuletzt im Zuge der Energiewende – ist die Energieeffizienz der eingesetzten Verfahren. Wir entwickeln daher prozesstechnisch energieoptimierte Verfahren, erarbeiten Lösungen für die Nutzung von erneuerbaren Energien oder Abwärme und berücksichtigen bei der Implementierung, dass sich Anlagen in Abhängigkeit von der Auslastung des Stromnetzes steuern lassen. Aus diesen Faktoren resultiert direkt auch eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Prozesse, sodass mit unserem Ansatz ökologische und ökonomische Anforderungen gleichermaßen erfüllt werden.

Effiziente und nachhaltige Wasserbehandlungsverfahren

- Vermeidung oder Minimierung des Einsatzes von chemischen Hilfsstoffen zur Wasseraufbereitung (Metallsalze als Flockungsmittel, hochmolekulare Polymere als Flockungshilfsmittel, Oxidationsmittel)
- Integrierte Rückgewinnung von Prozessstoffen (Säuren, Laugen, Metalle)
- Selektive Entfernung von Störstoffen im Einzelstrom

Nachhaltige Prozessführung und Betriebsweise

- Energieeffiziente Prozessführung durch lastabhängige Fahrweise
- Modularer Aufbau für flexiblen Einsatz und Anlagenmodifikation
- Robuster Betrieb mit geringem Wartungs- und Kontrollaufwand
- Nutzung erneuerbarer elektrischer, überschüssiger thermischer oder im Prozess selbst generierter chemischer Energie (z. B. Wasserstoff)

Kontaminationen und Behandlungsstrategien

Verunreinigungen im Wasser können anorganischer oder organischer Natur sein und suspendiert, emulgiert oder gelöst vorliegen, sodass für ihre Entfernung jeweils unterschiedliche Technologien zum Einsatz kommen.

Häufig nachgefragte Wasserbelastungen sind:

- Stickstoff (Ammonium, Nitrat/Nitrit)
- Phosphor (organische und anorganische Phosphat-Fracht)
- Salzfracht (Chlorid, Sulfat)
- Schwermetalle
- Keime: koloniebildende Einheiten (KBE), Fäkalindikatoren
- Spurenstoffe, Micropollutants (MP), Trace organic compounds (TrOC)
- Hormone, Endocrine Disrupting Compounds (EDC), Medikamentenrückstände
- Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)
- Nicht biologisch abbaubare Organik (»Harter CSB«)
- Abwasser der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) und Pyrolysewasser

Suspendierte partikuläre Verunreinigungen

Feste organische oder anorganische Partikel lassen sich durch Filtrationsverfahren, Hydrozyklone oder Sedimentation vom Wasser abtrennen. Die Partikelgrößen, ihre Form und Elastizität definieren die erforderliche Poren- bzw. Siebgröße der eingesetzten Membranen oder Filter sowie die Prozessparameter. Sind die Partikel schwerer als Wasser, können sie über Sedimentation abgetrennt werden. Kleinste Partikel, die aufgrund ihrer Größe unvollständig sedimentieren, können durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln (Koagulation, Flockung) über Sedimentation abgetrennt werden.

Mikroorganismen

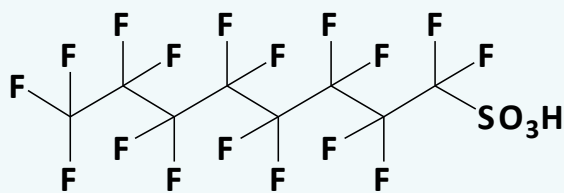
Als lebende Organismen und potenzielle Krankheitserreger nehmen Mikroorganismen unter den Partikeln eine Sonderstellung ein. Die mikrobiologische Qualität von Wasser sicherzustellen, ist eine zentrale Aufgabe bei der Wasseraufbereitung. Am Fraunhofer IGB überprüfen wir hygienisch relevante Parameter von Filtrations- und Desinfektionsverfahren unter definierten Bedingungen und passen die Nachweisverfahren für Keime bei Bedarf an besondere Bedingungen an. Einige der am IGB weiterentwickelten Verfahren eignen sich spezifisch zur Hygienisierung von Prozesswasser.

Emulsionen und Suspensionen

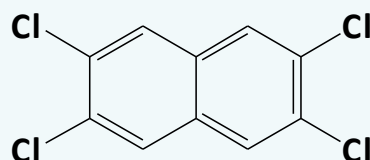
Hydrophobe flüssige Verunreinigungen wie Öle und Fette können im Wasser emulgiert vorliegen. Während sich instabile, temporäre Emulsionen und Suspensionen mit einfachen Verfahren wie Koaleszenzabscheidern trennen lassen, erfordern stabile Emulsionen weitere Behandlungsschritte. Ihre Spaltung kann z. B. durch Elektrokoagulation herbeigeführt werden.

Gelöste Stoffe

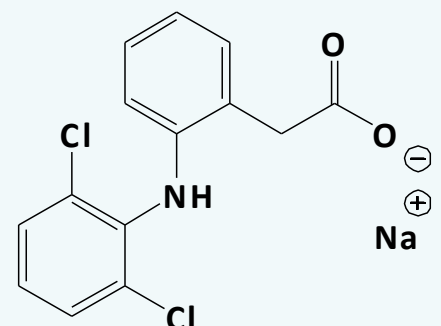
Zahlreiche anorganische und organische Moleküle sowie Ionen liegen im Wasser gelöst vor. Eine Reihe organischer Verbindungen dienen Mikroorganismen als Kohlenstoff- oder Energiequelle und sind in einer biologischen Reinigungsstufe gut abbaubar. Bei vollständigem Abbau werden sie in ihre Grundbausteine CO_2 , H_2O und eventuelle anorganische Verbindungen zerlegt.



Perfluorierte Tenside / Industriechemikalien



Polychlorierte Aromaten / Flammschutzmittel



Pharmaka



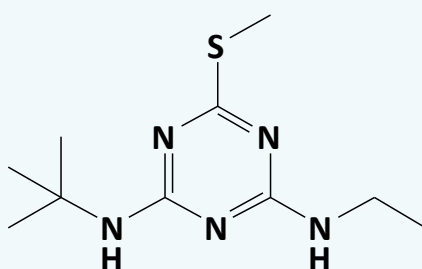
Xenobiotika und Persistenz

Die Einführung bestimmter funktioneller Gruppen (z. B. Halogene) in organische Moleküle sowie das Vorkommen aromatischer Strukturen und hochpolarer Gruppen erschweren oder verhindern einen biologischen Abbau, etwa in einer kommunalen Kläranlage. So sind die meisten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), chlorierte/ halogenierte Kohlenwasserstoffe (CKW, HKW) oder Polyphenole nicht oder nur schwer biologisch abbaubar und reichern sich in der Umwelt an. Solche persistenten Stoffe müssen aus Prozessabwässern entfernt werden, bevor diese in zentrale kommunale Kläranlagen oder gar direkt in Gewässer eingeleitet werden. Auch toxische Substanzen – darunter Pestizide, Cyanide, Schwermetalle – oder pharmazeutisch wirksame Substanzen dürfen nicht in die Umwelt gelangen, auch nicht in geringen Konzentrationen. Persistente organische Schadstoffe (PFAS) sowie einige anorganische Verbindungen (Cyanid-, Ammoniumsalze) lassen sich durch oxidative oder reduktive Verfahren abbauen.

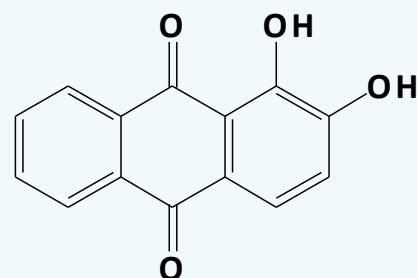
Neben diesen Umwandlungsprozessen kommen auch für gelöste Verunreinigungen reine Abtrennungsverfahren in Frage, vor allem, wenn sie in geringer Konzentration vorliegen. Hierbei werden die Substanzen entweder angereichert (Adsorption, Membranen, Ionenaustausch) oder in einen anderen Aggregatzustand überführt (Fällung, Strippung) und so aus dem Wasser entfernt.

Salze

Die mehrfache Kreislaufführung des Wassers hat zur Folge, dass sich seine Salzfracht akkumulieren kann und so konzentrierte, salzhaltige Stoffströme anfallen. Für die Rückgewinnung von Salzen und das Recycling als Säuren und Laugen entwickeln wir vor allem elektrophoretische und kapazitive Verfahren (zum Teil unter Verwendung von Membranen), bei denen die Salzionen in einem elektrischen Feld separiert und aufkonzentriert werden können.



Pestizide



Farbstoffe

Technologien zur Prozesswasser- aufbereitung am IGB



Biologische Verfahren

Biologische Prozesse nutzen die Selbstreinigungskraft der Ökosysteme, in denen sich diejenigen Organismen durchsetzen, die die vorhandenen Substrate am effektivsten abbauen können. Voraussetzung ist, dass die Substrate grundsätzlich biologisch abbaubar sind. Durch technische Prozesse wie Biomasserückhaltung wird erreicht, dass diese natürlichen Vorgänge auf sehr kleinem Raum und hochintensiv ablaufen.

Das Fraunhofer IGB arbeitet mit modernen Bioreaktoren zur Abwasserreinigung, z. B. anaeroben und aeroben Schlaufenreaktoren (Gaslift-/Airliftreaktoren), Membranbioreaktoren und Festbett-Umlaufreaktoren, bei denen das Partikelbett periodisch umgewälzt wird. Festbettreaktoren werden in der Anaerobtechnik eingesetzt, um die aktive Biomasse, die sich auf und zwischen den Partikeln immobilisieren kann, zurückzuhalten und somit anzureichern.

Wir unterstützen Sie von der Analyse bis zur Inbetriebnahme

Geeignete Bioreaktoren und entsprechende Verfahrenskonzepte wählen wir anhand der spezifischen Anforderungen des jeweiligen Abwassers und der beabsichtigten Wieder-

verwertung aus. Für die Pilotierung vor Ort stehen mobile Anlagen zur Verfügung (Sequencing Batch Reactor, SBR, und Expanded Granular Sludge Bed, EGSB). Wir beraten unsere Kunden nicht nur bei der Prozessauswahl, sondern unterstützen auch bei der Auswahl von Anlagenbauern oder Betreibermodellen, bei der Inbetriebnahme und bei zukünftigen Produktionsumstellungen.

Anaerobe Verfahren für Abwässer mit hoher organischer Belastung

Anaerobe Abwasserreinigungsverfahren eignen sich besonders für Abwässer mit einem hohen biologischen Sauerstoffbedarf (BSB₅), wie sie beispielsweise in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, auf Schlachthöfen oder auch auf Flughäfen (Enteisungsmittel) vorkommen. Größere Betriebe verfügen oftmals über eine eigene biologische Kläranlage, die traditionell aerob betrieben wird. Nachteile sind der hohe Energiebedarf für die Belüftung und Durchmischung, meist auch Nährstoffmangel (N und P) und die Entstehung großer Mengen Klärschlamm, der kostenintensiv entsorgt werden



Festbett-Umlaufreaktor.

muss. Eine wirtschaftliche Alternative, die wir mit verschiedenen Partnern realisiert haben, bietet der Einsatz moderner Anaerobtechnik. Hierbei wird energetisch nutzbares Biogas (Biomethan) gebildet und das Schlammaufkommen um den Faktor zehn reduziert.

Reaktorkonzepte für die Rückhaltung und Konzentrierung der Biomasse

Charakteristisch für die anaerobe Umsetzung ist der geringe Zuwachs von Biomasse, da der Großteil der in den Abwasserkomponenten enthaltenen Energie in das Endprodukt Methan übergeht. Für eine Steigerung der Umsetzungsgeschwindigkeit muss die aktive Biomasse deshalb im Reaktor zurückgehalten und konzentriert werden. Dies kann mittels eines gut absetzbaren Schlammes in geeigneten Reaktoren (Schlambettverfahren), durch Immobilisierung der Biomasse auf einem Trägermaterial (Biofilverfahren) in Festbett- und Wirbelbettreaktoren oder aber durch mechanische Rückhaltung der Biomasse in einem Membranbioreaktor geschehen. Das Fraunhofer IGB verfügt über Reaktoren verschiedener Art und Größe, um die anaerobe Reinigung von Abwasserproben zu untersuchen. Am Anfang steht eine Analyse der Abbaubarkeit des spezifischen Abwassers, angelehnt an die Vorgehensweise der DIN EN ISO 11734 »Vollständige anaerobe biologische Abbaubarkeit im Faulschlamm« und DIN 38414 »Schlamm und Sedimente«, Teil 8 »Bestimmung des Faulverhaltens«. Nach der Optimierung des Prozesses im halbtechnischen Maßstab in unserem Biotechnikum bieten wir auch das Scale-up vor Ort im Unternehmen an oder unterstützen die Realisierung durch kommerzielle Anbieter.

Entfernung und Rückgewinnung von Metallen – Biosorption und Biofällung

Durch Biosorption können Metalle aus Prozessabwässern an mikrobielle Oberflächen gebunden werden. Bei der Biofällung werden in der wässrigen Phase gelöste Metalle (CuSO_4 , NiSO_4 , ZnSO_4) durch mikrobielle Prozesse, beispielsweise mit anaeroben Mikroorganismen als Katalysatoren, gefällt und in schwer lösliche partikuläre Bestandteile

überführt (CuS , NiS , ZnS). Für eine effektive Prozessführung setzen wir immobilisierte oder suspendierte Biomasse ein. Auf diese Weise können beispielsweise Schwermetalle aus Lösungen mit wenigen mg/L stark aufkonzentriert und als Feststoffe oder Biomasse mit Metallkonzentrationen im Bereich g/kg abgeschieden werden.

Optimierung von Kläranlagen durch Systemanalyse

Das Fraunhofer IGB verfügt über langjährige Erfahrung in der Entwicklung und Optimierung von aeroben und anaeroben Reinigungsprozessen für kommunale und industrielle Kläranlagen. In zahlreichen Projekten wurden durch systematische Analyse und spezifische Messungen Prozesse wie Nitrifikation, Denitrifikation oder die Biogasproduktion verschiedener Kläranlagen, aber auch deren Gesamtbetrieb, wesentlich verbessert. Dadurch konnten kostenintensive Umbaumaßnahmen vermieden werden. Der Lösungsansatz des Fraunhofer IGB beginnt mit der sorgfältigen Auswertung der Betriebstagebücher. Hierbei bestimmen wir nicht nur die üblichen Auslegungsparameter, sondern analysieren die Funktion der Kläranlage durch prozessorientierte Vorgehensweisen und Darstellungsformen auch in allen Teilbereichen der Anlage. In vielen Fällen ist zusätzlich ein spezifisches Messprogramm durchzuführen, mit dessen Hilfe wir die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Reinigungsstufen bestimmen. Auf diese Weise können individuelle Lösungen gefunden werden, welche die Kläranlagen kostengünstig auf den Stand der Technik bringen und die Leistung der Kläranlage den gesetzlich vorgeschriebenen Werten anpassen. Diese Vorgehensweise hat sich vielfach bewährt, da kostenintensive Erweiterungen von Kläranlagen unnötig wurden.

Biologische Verfahren werden um weitere Verfahren ergänzt, wenn es beispielsweise darum geht, auch anorganische Stoffe wie Phosphate oder Ammoniumsalze aus Abwasser zurückzugewinnen.

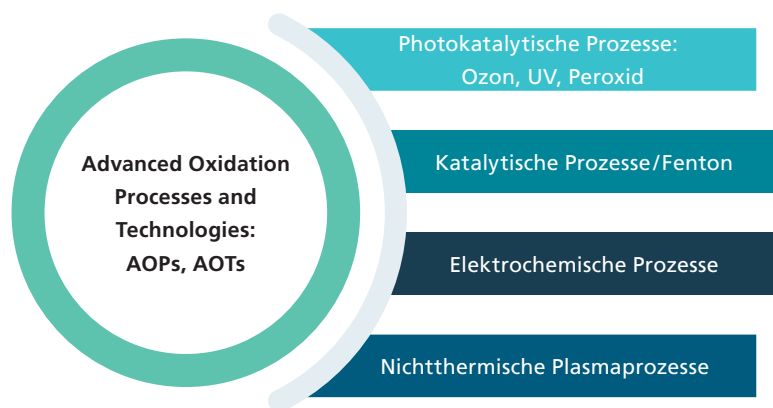
Kontakt und Info

Dr. Lukas Kriem
Tel. +49 711 970-4212
lukas.kriem@
igb.fraunhofer.de

[www.igb.fraunhofer.de/
biologische-
abwasserreinigung](http://www.igb.fraunhofer.de/biologische-abwasserreinigung)

Physikalisch-chemische Prozesse

Advanced Oxidation Processes (AOP)



*Übersicht über AOPIAOT
– Advanced Oxidation
Processes/Technologies.*

Unter oxidativer Wasseraufbereitung oder erweiterter Oxidation (Advanced Oxidation Processes, AOP, oder Advanced Oxidation Technologies, AOT) werden Verfahren zur chemischen Aufbereitung zusammengefasst, bei denen hochreaktive Hydroxylradikale zur Oxidation schwer abbaubarer Wasserinhaltsstoffe genutzt werden. AOP-Verfahren werden immer dann eingesetzt, wenn ein biologischer Abbau nicht oder nicht effizient möglich ist – beispielsweise, weil die Verunreinigungen persistente Substanzen beinhalten. Ferner sind AOP-Prozesse das Mittel der Wahl, wenn das Prozessabwasser

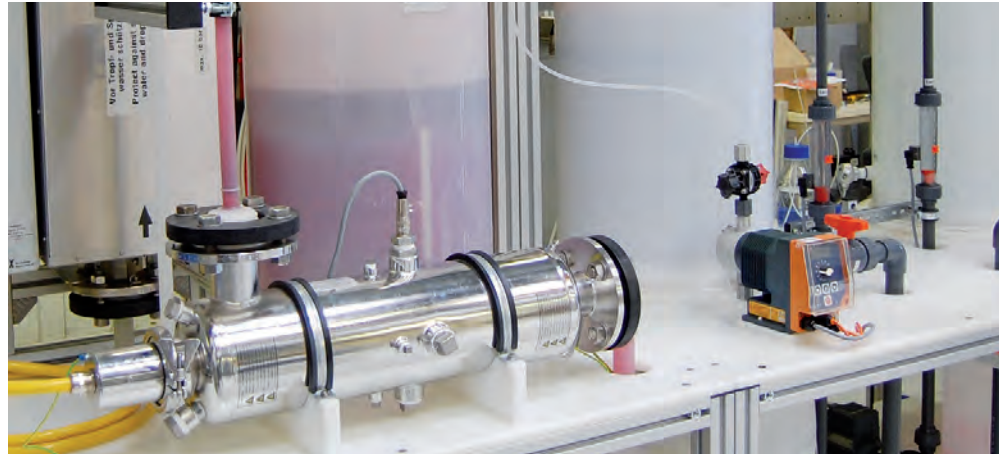
toxisch auf die Mikroorganismen einer biologischen Reinigungsstufe wirkt oder äußerst diskontinuierlich anfällt.

AOP-Prozesse ermöglichen damit die Schließung von Prozesswasserkreisläufen und können den Frischwasserbedarf stark reduzieren. In vielen Fällen empfiehlt sich auch eine Verfahrenskombination mit einer oxidativen Behandlung und einem angepassten Biofilter. Die Möglichkeit, Kombinationsbehandlungen im Labor und Technikum des IGB zu testen, ist eines unserer Alleinstellungsmerkmale.





Laborzelle zur anodischen Oxidation und kathodischen Reduktion.



Testanlage zur AOP Behandlung: UV-ClH₂O₂-Behandlung, Ozonbehandlung, Fentonoxidation und Kombinationsprozesse.

Kontakt und Info

Dipl.-Ing.
Christiane Chaumette
Tel. +49 711 970-4131
christiane.chaumette@
igb.fraunhofer.de

[www.igb.fraunhofer.de/
aop](http://www.igb.fraunhofer.de/aop)

Welcher AOP-Prozess ist geeignet?

Generell kann die Bildung der reaktiven Hydroxylradikale durch Dosierung von Oxidationsmitteln wie Ozon und Wasserstoffperoxid erreicht werden, aber auch durch Energieeintrag mittels Plasmatechnik, Photokatalyse mit UV-A- oder UV-C-Strahlung, Ultraschall oder elektrischem Strom sowie durch Kombination solcher Verfahren. Die Verfahren mit Wasserstoffperoxid dosierung (Fentonreaktion, UV/H₂O₂ und O₃/H₂O₂) und insbesondere die Ozonbehandlung sind bereits im Industriemaßstab etabliert. Für diese Referenzprozesse bieten wir Kosten-schätzungen und Untersuchungen mit dem Abwasser des Kunden an.

Eine grobe Kostenabschätzung über Literaturdaten ist dabei für unsere Kunden oft bereits sehr hilfreich. Regelmäßig analysieren wir neben dem Abbau der organischen Verunreinigung auch die Reaktionsprodukte und deren weiteren (oxidativen oder biologischen) Abbau, um eine Aussage über die generelle Eignung des AOP-Prozesses für das spezifische Prozesswasser zu erhalten.



Entkeimung von Wasser mit UV-Licht.

Desinfektion

Zur Versorgung des Menschen mit sicherem Trinkwasser ist ein Entkeimungsschritt notwendig. Auch für Brauchwasser in der pharmazeutischen und Lebensmittelindustrie wird qualitativ hochwertiges, hygienisch einwandfreies Wasser in Trinkwasserqualität benötigt. Neben der klassischen Technik der Chlorung oder der Behandlung mit Ozon hat sich die Entkeimung mit UV-Licht als

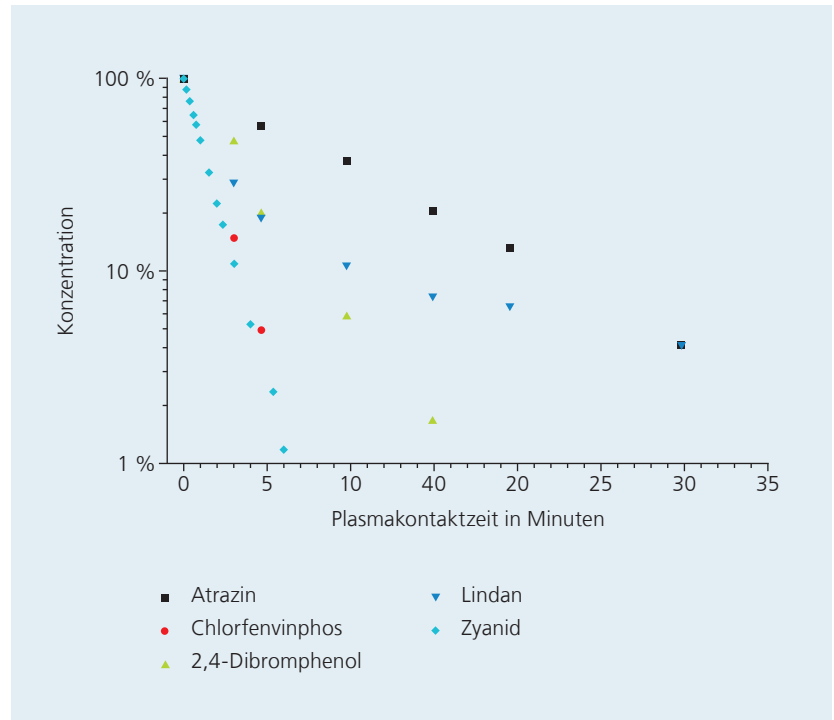
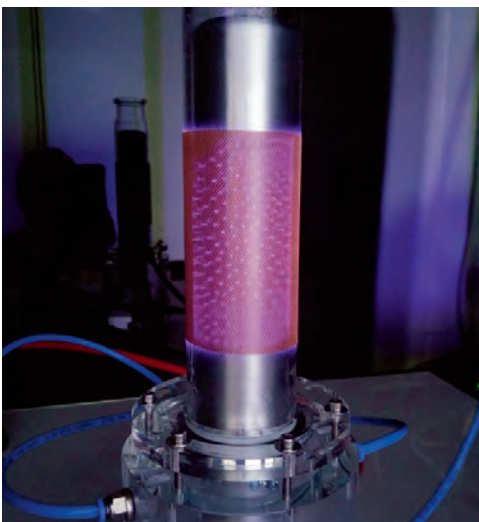
zuverlässiges und umweltverträgliches Verfahren etabliert. Derzeit kommen vor allem röhrenförmige Niederdruck-Quecksilberdampf lampen zum Einsatz, die Strahlung der Wellenlänge 254 nm emittieren.

Gerne beraten wir Sie mit unserem interdisziplinären Expertenteam auch zu Hygienekonzepten.

Plasmatechnologische AOP-Prozesse

In einem Plasma werden durch Anlegen einer Hochspannung aus der umgebenden Luft und dem Luftsauerstoff Ionen, hochreaktive Radikale und kurzwellige Strahlung gebildet, die Abwasserinhaltsstoffe abbauen können. Die spezielle Konstruktion des Plasmareaktors gewährleistet eine effiziente Übertragungsrates der im Plasma gebildeten hochreaktiven Spezies in das mit Schadstoffen belastete Wasser. Dies wird dadurch realisiert, dass das Plasma in unmittelbarem Kontakt mit einem fließenden Wasserfilm gebildet wird.

Ein Vorteil des Plasmaverfahrens ist, dass eine feste Kontaktfläche fehlt und die behandelte Wasseroberfläche ständig erneuert wird. Die Reinigung von Oberflächen zur Entfernung von Biofilmen oder Sedimenten entfällt somit. Im Rahmen des von der EU im FP7 geförderten Projekts »WaterPlasma« (FKZ 262033) konnte in Kooperation mit verschiedenen Partnern gezeigt werden, dass Schadstoffe wie Atrazin, Lindan, 2,4-Dibromphenol und Chlorfenvinphos (Pestizid) sowie Zyanide sehr schnell und effektiv in einem offenen Plasmareaktor abgebaut werden. Im Rahmen eines weiteren Vorhabens (BMBF-WasserPlasmax, FKZ 13N13172) konnte kürzlich auch der Abbau perfluorierter Tenside sowie verschiedener Pharmaka gezeigt werden. In dem aktuellen Projekt »AtWaPlas« (BMBF, FKZ 02WQ1601B) wird gezielt der Abbau von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFAS) aus realem Grund-, Sicker- und Waschwasser mit einem Atmosphären-Wasserplasma analysiert.



Abbau von Atrazin, Chlorfenvinphos, 2,4-Dibromphenol, Lindan und Zyanid in einem offenen Wasser-Plasmareaktor.

Wir untersuchen den Abbau von Schadstoffen in Ihrem Prozess- oder Abwasser mit verschiedenen Plasmaprozessen im Labormaßstab, charakterisieren die Abbauprodukte und skalieren den Prozess entsprechend Ihrer Anforderungen.

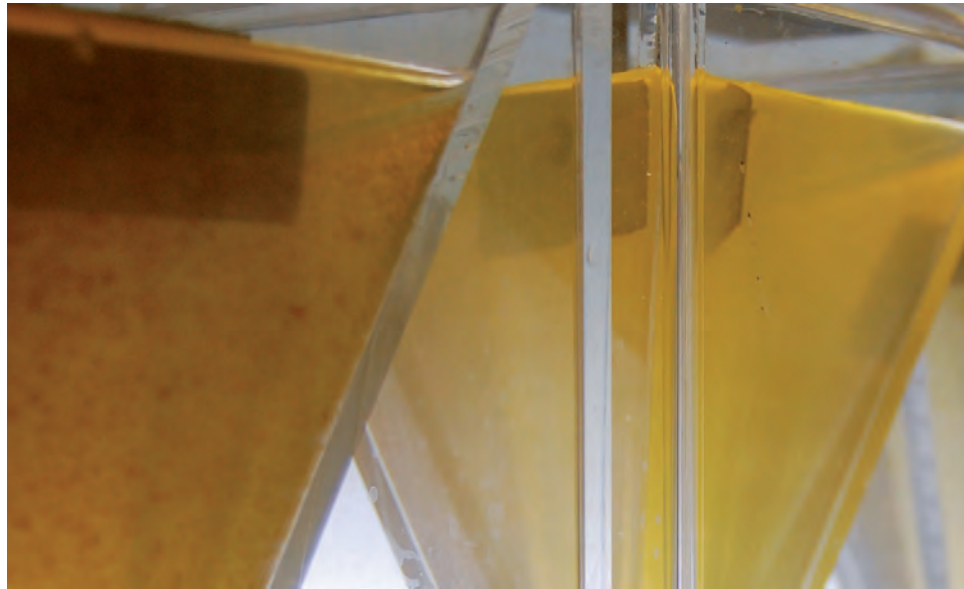
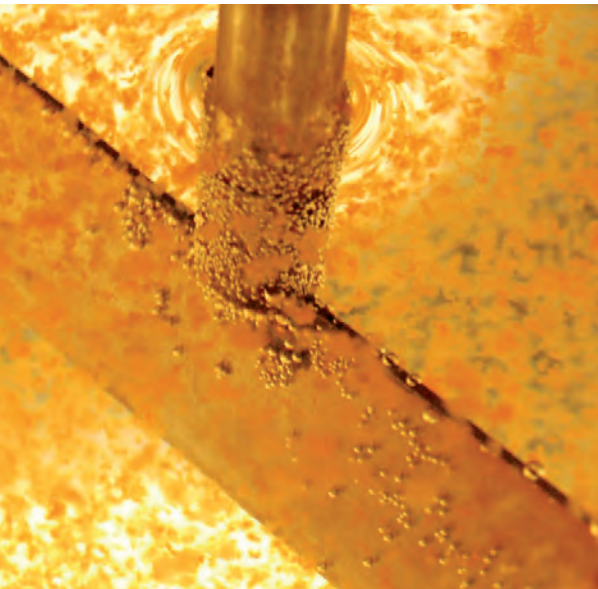
Kontakt und Info

Dr. Jakob Barz
Tel. +49 711 970-4114
jakob.barz@igb.fraunhofer.de

www.igb.fraunhofer.de/wasserplasma

Laboraufbau eines Plasmareaktors zur Wasserreinigung.

Elektrokoagulation



*von links nach rechts:
Elektrolytisch generiertes
Eisenhydroxid.*

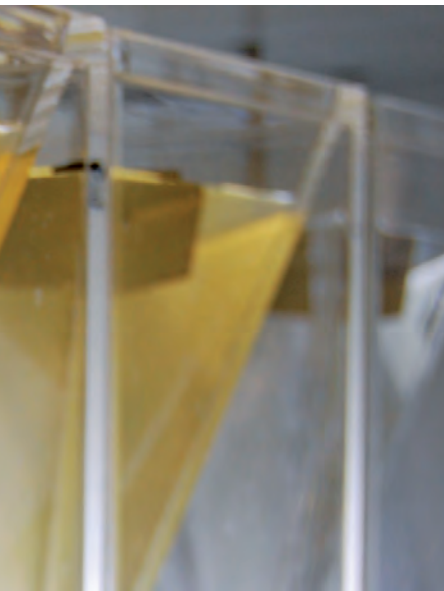
Elektrokoagulation.

*Abscheidung von Hydroxid-
Flocken.*

*EpF-Demonstrationsanlage
zur kontinuierlichen Behand-
lung von bis zu 5 m³/h
Prozessabwasser.*

Bei der Elektrokoagulation wird das zu behandelnde Wasser durch einen Reaktor geleitet, in dem Metallelektroden von einem elektrischen Strom durchflossen werden. Im Zuge elektrochemischer Reaktionen lösen sich diese Opferelektroden unter Freisetzung ihrer Metallionen auf und es entstehen Metallhydroxidflocken. Diese elektrolytisch gebildeten Metallhydroxidflocken haben ein hohes Adsorptionsvermögen und können fein verteilte, nicht sedimentationsfähige Partikel im Größenbereich weniger Mikrometer und kleiner an sich binden. Bei der Hydroxidflockenbildung kommt es zudem zu Mitfällungs- und Einschlussfällungsreaktionen, bei denen neben der Trübung auch gelöste organische und anorganische Stoffe entfernt werden. Die ausgefällten Stoffe lassen sich mit den Metallhydroxidflocken mechanisch durch Sedimentation oder Filtration abscheiden.

Die Elektrokoagulation ersetzt herkömmliche chemische Flockungs-Fällungstechniken mit dem Vorteil, dass die Flockungsmittel elektrolytisch aus Feststoffelektroden direkt am Ort des Bedarfs in gelöster Form bereitgestellt und bedarfsabhängig dosiert werden. Als Elektrodenmaterial können Eisen oder Aluminium aus Standardblechen eingesetzt werden, welche kostengünstig, stets verfügbar und einfach zu handhaben sind. Es wird gezielt nur das Metallion dem zu behandelnden Wasser beigefügt, eine Aufsalzung findet nicht statt. Die Kosten für Einkauf, Handhabung und das Dispergieren von Flockungs- und Flockungshilfsmitteln entfallen.



Anwendungsbeispiele

Halbierung der Aufbereitungskosten für Papierabwasser

Für einen Papierhersteller konnten wir dessen Anlage zur Reinigung des Prozessabwassers optimieren und deren Kapazität erweitern. Eine herkömmliche Flockung mit Metallsalz wurde durch eine Anlage nach dem Prinzip der Elektrokoagulation ersetzt. Durch die Einsparung von Chemikalien wie Flockungsmitteln, Polyelektrolyten und Natronlauge konnten die Kosten für die Abwasseraufbereitung halbiert werden.

Entfernung fein suspendierter Stoffe aus Farbabwässern

In einer Machbarkeitsstudie für einen Flugzeughersteller wurde Farbabwasser aus Lackieranlagen mittels Elektrokoagulation erfolgreich aufbereitet. Die Trübung des Abwassers wurde um 95 Prozent reduziert, der CSB-Wert (chemischer Sauerstoffbedarf) um 75 Prozent. Ähnliche Untersuchungen wurden im Auftrag von Farbherstellern durchgeführt. Dabei konnten wir zeigen, dass auch hier die Trübung, der CSB-Wert und der Geruch deutlich reduziert werden konnten.

Leistungsangebot

Wir bieten unseren Kunden

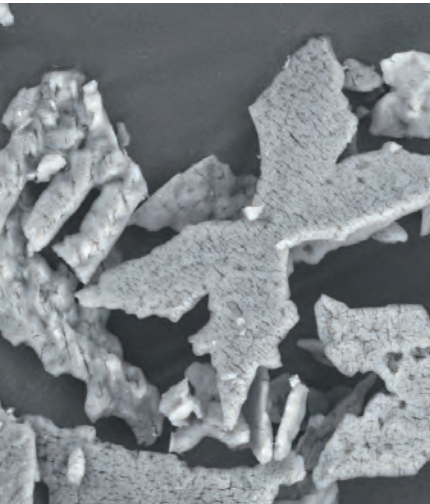
- Beratung zu wahrscheinlichen Entfernungsleistungen und Energiebedarfen
- Beratung zur Einbindung von Elektrokoagulationsanlagen in bestehende Wasserbehandlungssysteme
- Laboruntersuchungen zur Flockung/Fällung zum Vergleich der chemischen und elektrochemischen Fällung mit Abschätzung des Material-, Chemikalien- und Strombedarfs sowie der pH-Wert- und Leitfähigkeitsentwicklung (Salzfracht)
- Erprobung vor Ort oder Versuchsplanung und Unterstützung zur Erprobung durch den Kunden selbst
- Marktstudie kommerzieller Anbieter

Kontakt und Info

Dipl.-Ing.
Christiane Chaumette
Tel. +49 711 970-4131
christiane.chaumette@
igb.fraunhofer.de

[www.igb.fraunhofer.de/
elektrokoagulation](http://www.igb.fraunhofer.de/elektrokoagulation)

Entsalzung



*oben:
Gefällte Struvitkristalle,
REM-Aufnahme.*

*unten:
Aus Abwasser zurückgewonnenes Struvit kann als langsam N und P freisetzender Dünger eingesetzt werden.*

Anorganische Salze fallen beispielsweise bei der Gewinnung und Aufarbeitung von Erzen, in der Galvanik oder der Produktion von Düngemitteln an. Organische Salze entstehen unter anderem durch neutralisierte Säuren, etwa in der biologischen Abwasserreinigung. Da sich durch vermehrte Kreislaufführung die Konzentration von Salzen in Prozessabwässern erhöht, müssen sie vor einer Einleitung zunehmend entfernt werden. Salze können, wenn sie in ausreichend reiner Form zurückgewonnen werden, direkt als Wertstoff wiederverwendet werden.

Während bei Destillation, Nanofiltration und Umkehrosmose das Wasser verdunstet oder durch eine Membran gedrückt wird und die Salze in einem Konzentrat zurückbleiben, trennen Ionenaustausch und elektrophoretische (Membran-)Verfahren die Salze aus dem Wasserstrom ab. Daher sind letztere Verfahren in einigen Fällen besonders energieeffizient. Bei elektrophoretischen Membranverfahren werden die geladenen Teilchen aus einer wässrigen Lösung im elektrischen Feld durch Ionenaustauschmembranen transportiert oder in Adsorbentien zwischengespeichert. Die Trennprozesse lassen sich wirtschaftlich zur Wertstoffgewinnung, zum Recycling von Prozesshilfsstoffen und zur Abwasserbehandlung in die Prozesskette integrieren.

Eine grobe Kostenabschätzung, die wir mithilfe von Wasseranalysedaten, Herstellerpreisangaben und Simulationssoftware aufstellen können, ist für unsere Kunden oft bereits sehr hilfreich. Unsere wissenschaftliche Beratung erfolgt dabei technologieoffen und herstellerunabhängig im Interesse des Kunden.

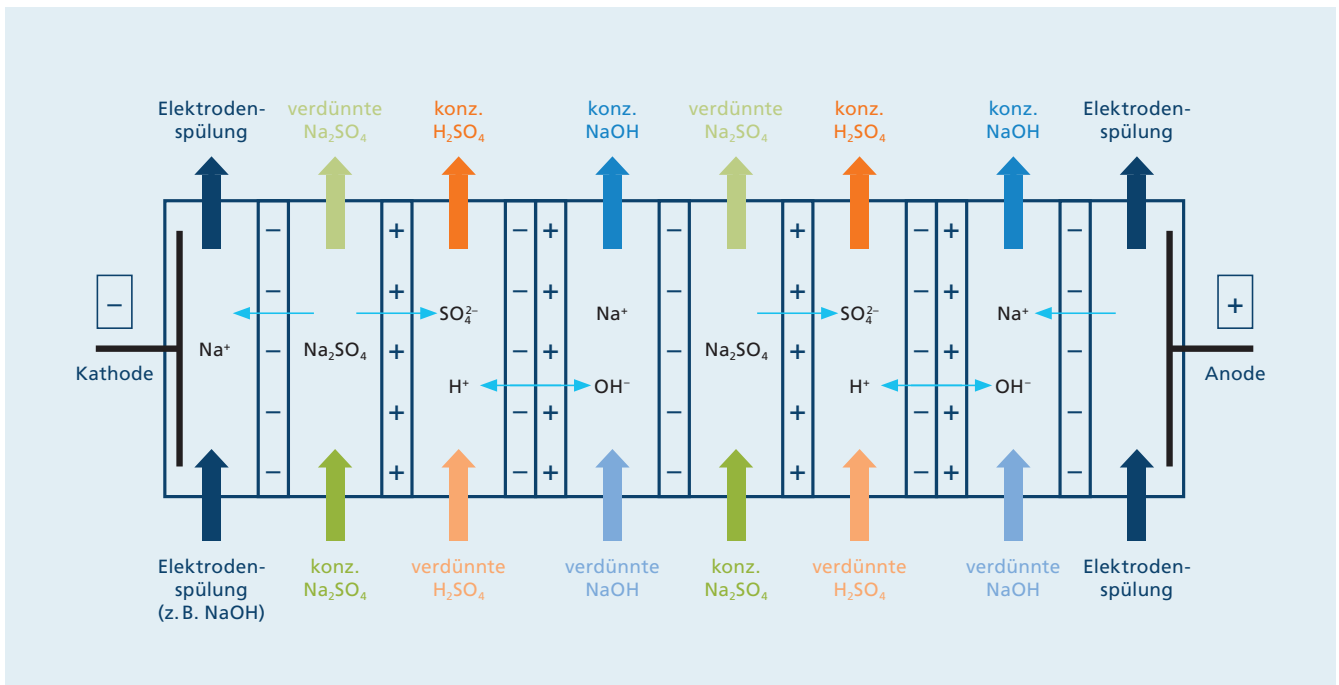
Elektrodialyse

Die Elektrodialyse ist ein Verfahren zur Trennung von geladenen und ungeladenen Stoffen und eignet sich daher, um Salze, Säuren oder Laugen aus (Ab-)Wasserströmen abzutrennen und aufzukonzentrieren. Zudem können Salze in ihre korrespondierenden Säuren und Laugen umgewandelt werden. Die dazu notwendige Trennung der Ionen erfolgt durch ein über Anode und Kathode angelegtes elektrisches Feld sowie aufeinanderfolgende Ionenaustauschmembranen.

In vielen industriellen Produktionen ist es notwendig, Säuren und Laugen in wässrigen Prozessen zuzugeben. Dies erhöht jedoch die Salzkonzentration bzw. die Leitfähigkeit, weshalb durch die Akkumulation bzw. den Anstieg die Rückführungsrate des Wassers im Kreislauf limitiert ist. Darüber hinaus sind die Säuren und Laugen auch für den Prozess selbst verloren. Mittels der Elektrodialyse können diese nun einerseits zurückgewonnen und andererseits auch das von der Salzfracht entlastete Wasser rückgeführt werden.

Kapazitive Deionisation

Ein weiteres Verfahren zur Abtrennung von Ionen aus einer wässrigen Lösung ist die kapazitive Deionisation. Dabei werden die abzutrennenden Ionen in Adsorberelektroden gespeichert und in einer anschließenden Regenerationsphase als Konzentrat abgegeben. Bei diesem Verfahren finden keine Elektrodenreaktionen wie Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung statt. Das Verfahren benötigt nur geringe Zellspannungen von unter 2 V und ist besonders zur Entsalzung niedrig bis moderat konzentrierter Lösungen energieeffizient.



Schematischer Aufbau eines Elektrodialysemoduls zur Gewinnung von Säure und Lauge aus Salzlösung.

Rückgewinnung von Phosphatsalzen durch elektrochemische Fällung (Struvit, K-Struvit)

Abwässer enthalten neben der organischen Fracht auch größere Mengen an Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor, Magnesium oder Kalium. Sie werden mit großem Aufwand und einem teilweise enormen Energieverbrauch durch Nitrifikation, Denitrifikation und biologische Phosphorelimination aus Abwässern entfernt, damit sie nicht in die Oberflächengewässer gelangen und hier zur Eutrophierung führen. Gleichzeitig steigt die Nachfrage nach Nahrungsmitteln und damit der Bedarf an Nährstoffen für die Düngemittelproduktion.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am IGB zielen daher darauf, auch die anorganischen Nährstoffe aus kommunalen und industriellen Abwässern wiederzugewinnen. Hierzu hat das IGB einen elektrochemischen Prozess (ePhos®) entwickelt und patentieren lassen, mit dem Stickstoff und Phosphor mittels einer Magnesium-Opferelektrode als Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit) ausgefällt werden. Die Phosphorkonzentrationen im Auslauf einer biologischen Klärstufe konnten mit am Fraunhofer IGB realisierten Pilotanlagen um 99,7 Prozent auf unter 2 mg/L gesenkt werden. Das Produkt Struvit ist in der Landwirtschaft direkt als hochwertiges Düngemittel einsetzbar.

Kontakt und Info

Dr.-Ing. Carsten Pietzka
Tel. +49 711 970-4115
carsten.pietzka@
igb.fraunhofer.de

www.igb.fraunhofer.de/entsalzung

Thermische Verfahren



Verdampfung durch Druckreduktion.

Thermische Wasseraufbereitungsverfahren wie Erhitzen, Destillation und Rektifikation (thermische Stofftrennung) finden breiten Einsatz in Industrie und Gewerbe. Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass die Technologien oft relativ einfach und robust gestaltet sind und sich die thermische Energieversorgung meist ohne großen Aufwand durch Befeuerung, Prozessdampf oder elektrische Beheizung realisieren lässt. Auf der anderen Seite sind thermische Aufbereitungsverfahren energieintensiv, was im Zuge eines verantwortungsvollen Umgangs mit Energieressourcen und steigenden Kostendrucks neue technische Lösungen notwendig macht.

Ziel von Forschung und Entwicklung am Fraunhofer IGB ist es daher, durch die Optimierung und Kombination verschiedener Verfahren effiziente und kostengünstige thermische Aufbereitungsverfahren zu realisieren, um auch Abwärme oder solarthermisch erzeugte Wärme nutzen zu können. Verfahren für die Konzentrierung von Industrieabwässern und die Rückgewinnung von Lösemitteln sind Beispiele für Verfahren, die am Fraunhofer IGB bearbeitet werden.

Vakuumverdampfung zur Volumenreduzierung

In vielen kleinen und mittleren Industriebetrieben fallen stark verunreinigte Abwässer an, die nicht ins kommunale Abwassernetz eingeleitet werden dürfen. Die Verunreinigungen sind teilweise so komplex und schwer abbaubar (Schwermetalle, Cyanid-Salze, Lösemittel, komplexe chemische Verbindungen), dass sie selbst mit AOP-Verfahren nicht effizient abgebaut werden können. Daher werden diese Abwässer üblicherweise zur Entsorgung an externe Dienstleister abgegeben und kostspielig als Sondermüll verbrannt. Da sich die Entsorgungskosten nach dem Abwasservolumen richten, wirkt sich der Wasseranteil entscheidend auf diese aus.

In diesem Fall bietet eine Vakuumverdampfung zur Konzentrierung der Schadstoffe deutliche Einsparpotenziale – durch eine effiziente Reduzierung des Abwasservolumens. Durch Temperaturerhöhung und Unterdruck werden bei der Vakuumverdampfung auch kontaminierende Inhaltsstoffe volatil, beispielsweise Lösemittel. Diese können durch eine fraktionierende Destillation zurückgewonnen werden. Das Prinzip dieses thermischen Trennverfahrens ist, Wasser und andere flüchtige Bestandteile durch Verdampfen und Kondensieren zu entfernen – bei gleichzeitiger Rückhaltung der restlichen Abwasserinhaltsstoffe. Das am IGB entwickelte Verfahren ist sehr einfach und robust aufgebaut, kann mit Niederdrucktemperaturabwärme betrieben werden und kommt ohne kostenintensive Komponenten aus.

Konzentrierung direkt im Entsorgungsbehälter

Zusammen mit einem Industriepartner hat das Fraunhofer IGB dieses Prinzip der Verdampfung unter Vakuum für verschiedene Abwässer aus der galvanischen Industrie, aus der Farbstoffherstellung und aus der Druckwalzenreinigung untersucht und in einer mobilen Prototypanlage umgesetzt. Das innovative Anlagendesign ermöglicht die Eindampfung des Abwassers direkt in einem gebräuchlichen Entsorgungsbehälter und minimiert somit den Aufwand für Umfüll- und Reinigungsarbeiten. Aufgrund der durch das

Vakuum reduzierten Siedetemperatur lassen sich für diesen Prozess Wärmeströme ab einer Temperatur von ca. 50°C–60°C, aber auch sonstige Abwärme niedriger Temperatur oder solare Wärme nutzen. 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 wieder in der Produktion oder auch zu Spülzwecken eingesetzt werden.

Trennung von Mehrstoffsystemen durch Batch-Destillation

Die Destillation ist der wichtigste Prozess zur Trennung homogener Flüssigkeitsgemische. Batchbetriebene Einheiten ermöglichen die Destillation und Rektifikation von verschiedenen Produkten oder mehreren Mischungen in nur einem Gerät. Mit der Batch-Destillation werden in der Regel eher geringe Mengen, aber Produkte mit hoher Wertschöpfung aufgetrennt. Die Herausforderung dabei besteht darin, die bestmögliche Prozessführung zu finden, um beispielsweise die Produktivität zu erhöhen oder die Produktreinheit zu verbessern.

Das Fraunhofer IGB entwickelt innovative Konzepte zur Integration von Batch-Destillationsanlagen in bestehende Prozesse. Mithilfe komplexer Simulationswerkzeuge und einer automatisierten Laboranlage optimieren wir unterschiedliche Betriebsführungskonzepte, um eine gezielte Produktqualität bei gleichzeitig reduziertem Energieaufwand zu erreichen.

Die Technologie wird in der pharmazeutischen Industrie häufig zur Lösungsmittelrückgewinnung oder zur Aufreinigung wertvoller volatiler Stoffe eingesetzt. Zudem eignet sie sich für den Einsatz in Anlagen zur Abwasseraufbereitung, wenn geringere Mengen eines Wertstoffes zurückzugewinnen sind.



oben:
Mehrstufiger
Vakuumverdampfer.

unten:
Getrennte Fraktionen mittels
Batch-Destillation.

Kontakt und Info

Dr.-Ing. Antoine Dalibard
Tel. +49 711 970-4130
antoine.dalibard@
igb.fraunhofer.de

www.igb.fraunhofer.de/
thermische-
wasseraufbereitung

Kombination verschiedener Verfahren und Systemintegration

Prinzipiell ist bei der Aufbereitung und Kreislaufführung von Prozesswasser zwischen der Abtrennung von Stoffen, etwa zur (Rück-) Gewinnung von Inhaltsstoffen, und dem Abbau von Schadstoffen zu unterscheiden. Somit ergibt sich in vielen Anwendungsfällen bereits aus diesem Umstand heraus, dass die Aufbereitung in mindestens zwei Prozessstufen erfolgen muss. Aber auch innerhalb einer Stufe, z. B. dem Stoffabbau, kann es notwendig sein, mehrere Teilprozesse vorzusehen.

Die Notwendigkeit Ressourcen zu schonen, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Hier spielt v. a. eine werterhaltende und selektive Abtrennung von Inhaltsstoffen eine immer größere Rolle. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung typischer industrieller Prozesswässer ist eine solche Stofftrennung in einem Schritt üblicherweise nicht möglich.

Wir unterstützen unsere Kunden bei der Kombination und Integration verschiedener Verfahren zu effizienten, aufeinander abgestimmten Lösungen.

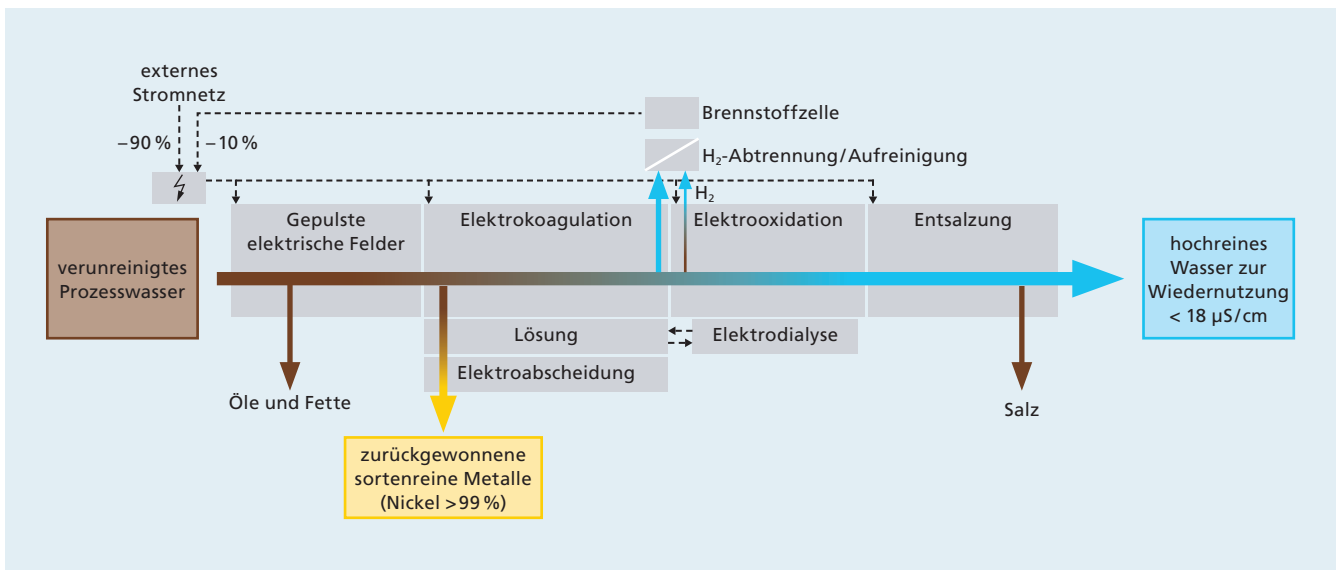
Unser Alleinstellungsmerkmal ist die Bündelung von Wissen zu den biologischen, chemischen und physikalischen Grundlagen mit Detailkenntnissen einzelner Teilprozesse und deren Automatisierung sowie langjähriger verfahrenstechnischer Expertise vom Labor bis zum Pilotmaßstab. Über verschiedene Netzwerke gestalten wir zudem Technologiestrategien, etwa zum Umbau der globalen Energieversorgung und einer kreislauforientierten industriellen Wertschöpfung, und regulatorische Richtlinien mit.

An Ihrem Bedarf orientiert, stellen wir unsere Kompetenzen selektiv und zielgerichtet zur Verfügung. Dabei profitieren Sie von unseren Vorerfahrungen. Weitere spezielle Kompetenzen und Technologien können über unsere Vernetzung mit anderen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern bereitgestellt werden.

*links:
Verfahrensintegration.*

*rechts:
Wertstoffe werden aus
Abwasser zurückgewonnen.*





Anwendungsbeispiel

Effiziente Reinigung von Prozesswasser in der Galvanikindustrie

In dem von der EU geförderten Projekt »ECOWAMA« hat das Fraunhofer IGB gemeinsam mit europäischen Partnern ein mehrstufiges Verfahren für die Reinigung von Prozesswässern der metall- und kunststoffverarbeitenden Industrie entwickelt. Diese sind reich an organischer Fracht wie Ölen und Fetten, Salzen, aber auch Metallen wie Nickel, Kupfer, Zink und Edelmetallen. Ziel der elektrophysikalischen und elektrochemischen Behandlung dieser Prozesswässer mit verschiedenen aufeinander abgestimmten Verfahren war die Rückgewinnung sortenreiner Wertstoffe, besonders der Metalle, sowie die Bereitstellung hochreinen Wassers für eine Wiederverwendung im Produktionsprozess.

Für die Reinigung des Abwassers setzt das Konsortium auf elektrophysikalische und elektrochemische Verfahren, weil so auf die Zudosierung von Chemikalien verzichtet werden kann. In einem ersten Schritt werden Öle und Fette mit gepulsten elektrischen Feldern abgetrennt: Fein dispergierte Öltröpfchen bewegen sich im elektrischen Feld zu den jeweils entgegengesetzt geladenen Elektroden und fließen dort zu größeren Öltröpfen zusammen, die mechanisch abgetrennt werden können. Partikuläre Verunreinigungen werden im nachfolgenden Schritt mittels Elektrokoagulation abgetrennt.

Die hier eingesetzten Eisenelektroden geben Eisenionen ins Wasser ab, welche ihrerseits zu Eisenhydroxidflocken reagieren. Die Metalle werden mit diesen Flocken gefällt, über Elektrodialyse wieder gelöst und anschließend in elementarer Form zurückgewonnen. In einer dritten elektrochemischen Zelle werden mittels elektrooxidativer Prozesse, beispielsweise über eine Diamantelektrode, gelöste organische Bestandteile abgebaut. Schließlich entfernt eine vierte Stufe mit kapazitiver Deionisation auch gelöste Salze, indem Kationen und Anionen an den entsprechend geladenen Elektroden konzentriert und abgeschieden werden. Bei der Elektroflokkung und Elektrooxidation entsteht Wasserstoff als Nebenprodukt der elektrolytischen Wasserspaltung. Dieser wird abgetrennt, gereinigt und mittels einer Brennstoffzelle zur ergänzenden Energieversorgung des Systems genutzt.

Rückgewinnung von Metallen.



Info

[www.igb.fraunhofer.de/
systemintegration](http://www.igb.fraunhofer.de/systemintegration)

Leistungsangebot

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB bietet wissenschaftliche Beratung und Erprobungen im Bereich der Wasseraufbereitung. Durch die optimale Infrastruktur ist eine schnelle Analyse der Wasserproben ebenso gegeben wie die integrierte Systembetrachtung. Gerne bieten wir auch Untersuchungen zur Anpassung von Prozessen an variierende Anforderungen und fachkundige Unterstützung bei Pilotierung und Betrieb. Eine Kooperation kann in vielfältiger Weise Gestalt annehmen, ob in Form eines Einzelauftrags oder als Verbundprojekt, zu dem auch externe Partner und weitere Unternehmen hinzugezogen werden.

Leistungsangebot im Überblick

Analytik, Abbauuntersuchungen, Machbarkeitsstudien

- Umfassende, moderne Analytik zur Charakterisierung von Prozesswasser
- Mikrobiologische Qualitätsbewertung von Wasser
- Wissenschaftliche Untersuchungen zu biologischen (aeroben, anaeroben), mechanischen, elektrolytischen und oxidativen Verfahren sowie Membranverfahren zur Wasseraufbereitung
- Markt- und Technologiestudien, Machbarkeitsstudien zur stofflich-energetischen Verwertung und Aufbereitung von Prozesswasser

Prozess- und Anlagenentwicklung

- Ermittlung von Auslegungsparametern, Berechnung der Wirtschaftlichkeit
- Planung von technischen Pilotanlagen auf Grundlage von Versuchen im Technikumsmaßstab
- Anpassungsentwicklung von Prozessen zur Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung
- Erstellen angepasster Konzepte zum Wassermanagement mit Fokus auf Wiedergewinnung von Ressourcen und spezifische Behandlung
- Systemanalyse und -optimierung
- Integration von Prozessschritten in vorhandene Produktions- und Aufbereitungsketten
- Prozesssteuerung mit voller Datenhoheit, Datenspeicherung mit weltweitem Zugriff ohne signifikante Kosten
- Echtzeit- und prädiktive Steuerungssysteme; Einbindung von Anlagentechnik ohne IoT-Schnittstelle in das »Internet of Things«



Kontakt

Bitte kontaktieren Sie unser
Prozesswasser-Team unter
processwater@igb.fraunhofer.de
oder wenden Sie sich an
Christiane Chaumette.

Dipl.-Ing. Christiane Chaumette
Tel. +49 711 970-4131
christiane.chaumette@igb.fraunhofer.de

Dr. Benjamin Wriedt
Tel. +49 711 970-4008
benjamin.wriedt@igb.fraunhofer.de

Wir verbinden Biologie und Technik

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB entwickelt und optimiert Verfahren, Technologien und Produkte für Gesundheit, nachhaltige Chemie und Umwelt. Dabei setzen wir auf die Kombination biologischer und verfahrenstechnischer Kompetenzen, um Lösungen für eine auf den Patienten zugeschnittene Gesundheitsversorgung, eine nachhaltige Bioökonomie sowie eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft zu erarbeiten. Unseren Kunden bieten wir Forschungsleistungen von der Machbarkeitsstudie bis zur anwendungsreifen Entwicklung, ergänzt durch ein breites Spektrum an Analyse- und Prüfleistungen. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Tel. +49 711 970-4401
Fax +49 711 970-4200
info@igb.fraunhofer.de
www.igb.fraunhofer.de

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

