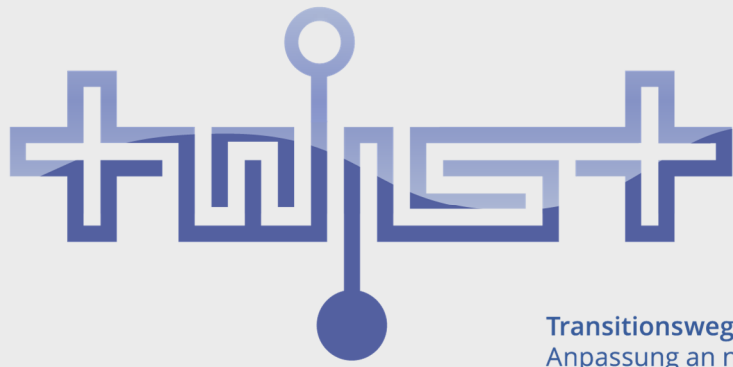
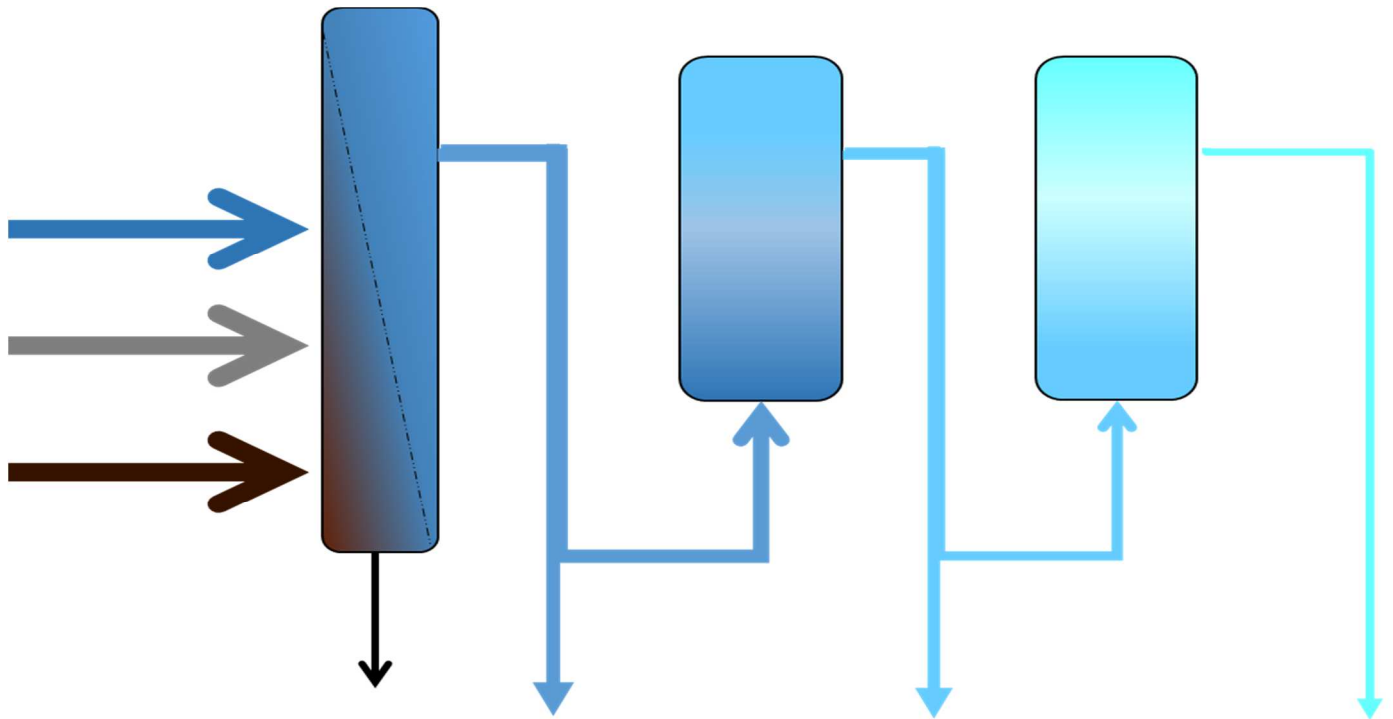




Transitionswege WasserInfraStruktursysteme:
Anpassung an neue Herausforderungen im städtischen und ländlichen Raum



Fit-for-Purpose-Aufbereitung

Barbara Zimmermann

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung
gemeinnützige GmbH

15.11.2016

GEFÖRDERT VOM



1 Hintergrund

Die Weiterentwicklung der Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme als Reaktion auf bzw. unter dem Gesichtspunkt von Wandelprozessen wie Klimawandel und demographischem Wandel sind ein stetiger Prozess. Ein Umdenken in Politik und Gesellschaft hin zu mehr Ressourceneffizienz und Umweltschutz haben die technologische Entwicklung und den Einsatz von Kreislaufführung sowie die Gewinnung und Verwendung von Nebenprodukten insbesondere im industriellen Sektor vorangetrieben. Die Umsetzung ähnlicher Ansätze in der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorgung wie z.B. Energie- und Nährstoffgewinnung oder Wasserwiederverwendung stößt auf vielfältige Herausforderungen, die auf unterschiedlichen Ebenen (Gesellschaft Politik, Technologie) angesiedelt sind.

Der Begriff „Fit-for-Purpose“ beschreibt den Ansatz aus einer Rohwasserressource Wasser für verschiedene Verwendungszwecke herzustellen. In der „US-EPA-Guideline for Water Reuse“ wird diese Terminologie eingesetzt um die Behandlung/Aufbereitung von Abwasser und die Verwendungsmöglichkeiten nach unterschiedlichen Aufbereitungsstufen zu beschreiben (Abbildung 1–1).

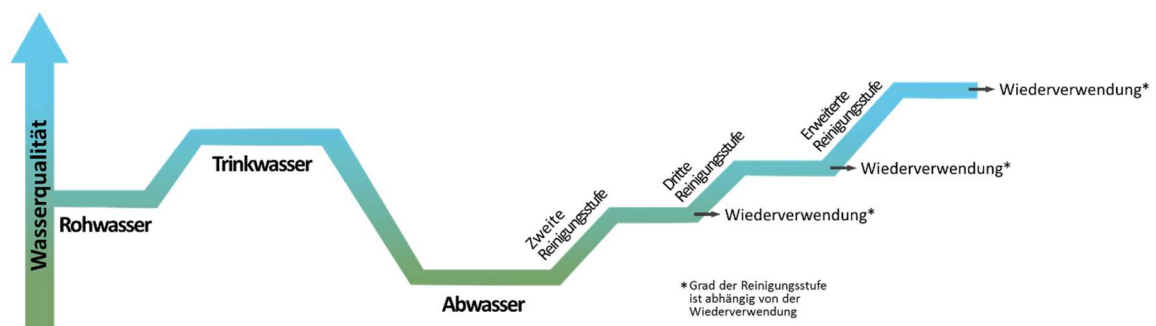


Abbildung 1–1: Prinzip einer Fit-for-Purpose Aufbereitung (nach Guidelines for Water Reuse – EPA/600/R12/618. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency (2012), übersetzt)

2 Zielsetzung innerhalb des Forschungsvorhabens TWIST++

Im TWIST++-Projekt sind folgende übergeordnete Ziele mit der Weiterentwicklung der „Fit-for-Purpose“-Aufbereitung für die Anwendung in semi- und dezentralen Systemen sowie in Kombination mit Technologien zur Nährstoffrückgewinnung und für die Nutzung von unterschiedlichen Rohwasserressourcen verbunden:

- Beitrag zur Flexibilisierung der Wasserinfrastruktursysteme durch neue Technologien der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung
- Entlastung von Ressourcen und Infrastrukturen durch Wasserwieder- bzw. –weiterverwendung
- Entlastung von Oberflächenwasser und Grundwasser durch Verbesserung der Wasserqualität bei Einleitung oder Versickerung
- Verbesserung bzw. höhere Sicherheit der Qualität des Betriebswassers um nachteiligen Auswirkungen vorzubeugen und Vorbehalte von Anwendern abzubauen
- Bereitstellung von unterschiedlichen Betriebs- und Prozesswasserqualitäten um die Möglichkeiten einer Wieder- bzw. Weiterverwendung zu erweitern

Die konkrete Zielsetzung für die Weiterentwicklung der „Fit-for-Purpose“-Aufbereitung im Projekt TWIST++ bestand in der

- Kombination von Technologien um eine möglichst hohe Flexibilität bezüglich der Zu- und Ablaufqualitäten sowie der Volumenströme zu erreichen
- Auswahl der Technologien mit dem Ziel einen dezentralen Einsatz in kleinen Anlagen und bei diskontinuierlichem Betrieb zu ermöglichen
- Fokussierung auf häusliche Abwasser-Teilströme:
 - Regenwasser: Nutzung als hochwertiges Betriebswasser oder Bewässerungswasser
 - Grauwasser: Nutzung als Betriebswasser mit unterschiedlichen Qualitätsanforderungen, Bewässerungswasser, Einleitung/Versickerung
 - Schwarzwasser: Weitergehende Behandlung des Ablaufs einer anaeroben Behandlungsstufe mit den Zielen das Einleiten in einen Vorfluter zu ermöglichen - unter Berücksichtigung der Kombination/Kombinierbarkeit mit Technologien der Nährstoffrückgewinnung
- Ermittlung grundlegender Auslegungsparameter
- Betrachtung von Einsatzmöglichkeiten in (Klein)-Gewerben für Regenwasser/Grauwasser und Kreislaufführung/Weiternutzung von gewerblichen Wasserströmen



3 Untersuchungen

Zunächst wurde eine Auswahl an Technologien getroffen, die in praktischen Versuchen im Technikums- und Labormaßstab mit den Beispielwässern (Regenwasser, Grauwasser stark/schwach-belastet, Ablauf einer anaeroben Schwarzwasserbehandlung und Kläranlagenablauf) untersucht wurden. In die theoretische Betrachtung wurde auch die dezentrale Trinkwasseraufbereitung aus Grund- und Oberflächenwasser mit einbezogen.

Für die Versuche wurden die Verfahren Flockung, Ultrafiltration und Adsorption ausgewählt. Der Auswahl der Verfahrensstufen lagen Überlegungen zu Grunde die Aufbereitung der genannten sehr unterschiedlichen Rohwässer mit einem modular aufgebauten Verfahrenskonzept in einer Anlage umzusetzen. In den Versuchen wurde auf eine biologische Stufe verzichtet und untersucht, in wie weit die Aufbereitung mit physikalisch-chemischen Verfahren möglich ist. Eine biologische Stufe ist meist auf größere Volumina und möglichst konstante Betriebsbedingungen angewiesen.

Die **Flockung** oder auch die Fällung sind klassische Verfahren der Wassertechnologie zur Entfernung von feindispersen oder gelösten Stoffen. Fein disperse Stoffe werden mit Hilfe des Flockungsmittels (und ggf. Flockungshilfsmittels) zu größeren leicht abtrennbaren Agglomeraten verbunden. Bei der Fällung werden gelöste Ionen in schwer lösliche Verbindungen überführt. In Becherglasversuchen (in Anlehnung an DVGW Arbeitsblatt W218) wurden verschiedene Flockungsmittel (FM) mit unterschiedlichen Rohwässern getestet. Es wurden Rohwässer für den gleichen Wassertyp aus verschiedenen Quellen ausgewählt, um die unterschiedliche Belastung des Wassers zu berücksichtigen.

Die Kombination Flockung und Flockenabscheidung durch Mikro- oder **Ultrafiltration** ist bereits zahlreich in Pilotanlagen und großtechnisch umgesetzt worden. Vorteile der Membranfiltration gegenüber der Sedimentation und auch der klassischen Tiefenfiltration sind die sichere Abtrennung von Partikeln ohne das Risiko von Flockenabtrieb oder eines Filterdurchbruchs. Bei Trenngrenzen $< 0,02 \mu\text{m}$ wurde bei einigen UF-Membranen sogar ein Rückhalt von Viren bestätigt. Die Flockung vor einer Membranfiltration führt durch die elektrostatische Neutralisation und Agglomeration des organischen Materials in der Regel zu einer besseren Filtrierbarkeit. Durch geringere Wechselwirkungen mit der Membran und veränderte Deckschichtbildung verringert sich das Membranfouling. In der Wasseraufbereitung werden meist anionische Membranen verwendet mit einer eher negativen Membranoberfläche, da die meisten natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffe negativ geladen sind und somit ein geringeres Fouling erwartet wird.



Für die halbtechnischen Versuche wurde eine UF-Membran aus PES als Kapillarmodul (Innendurchmesser = 3 mm) ausgewählt. Dieses Modul kann im in-out, sowie out-in Modus betrieben werden und wird sowohl im Bereich Trinkwasser als auch zur Abwasserreinigung z.B. in einem MBR-Verfahren eingesetzt. Die Versuchsanlage umfasste neben dem in-out betriebenen Membranmodul (X-Flow Compact 1.6 - 3MM, Firma Pentair X-Flow) eine Flockungsmitteldosierung mit statischem Mischer und Reaktionsstrecke (In-line-Flockung) und eine Reinigungseinheit zur Filtratrückspülung und chemisch unterstützten Rückspülung. Als Flockungsmittel wurde Eisen(III)chlorid ausgewählt, da es bereits in Kombination mit diesem Modultyp erprobt worden war und ein breites Spektrum an Möglichkeiten für eine Weiterverwendung des eisenhaltigen Schlammes besteht. Die Anlage war mit einer Feed-Pumpe (20 – 100 l/h) und einer Crossflowpumpe (1 m³/h) ausgestattet. Filtrationszeit, Volumenstrom und FM-Dosiermenge konnten variiert werden. Da mit dieser Anlage in kurzer Zeit verschiedene Rohwässer getestet werden sollten und die ausgewählten Versuchswässer nur in begrenzter Menge mit relativ hohem logistischen Aufwand zur Verfügung standen, wurden Batchversuche von 2 – 7 h durchgeführt. Zum Einfahren der Anlage und zur Ermittlung der Versuchseinstellungen wurde Kläranlagenablauf verwendet.

Zur weiteren Behandlung des UF-Filtrats wurden Sorptionsversuche mit den Materialien **Aktivkohle**, granuliertes **Eisenhydroxid** und natürlicher **Zeolith** durchgeführt. Die Adsorption beruht auf elektrostatischen und elektrodynamischen Wechselwirkungen zwischen einem adsorbierbaren Stoff und dem Sorptionsmittel. Aufgrund der unpolaren Eigenschaften von Aktivkohle, können unpolare (organische) Wasserinhaltsstoffe aus der Wasserphase entfernt werden. Granuliertes Eisenhydroxid (GEH) wird zur Arsen- und Phosphatentfernung eingesetzt, weist jedoch auch eine gewisse Affinität zu gelösten organischen Verbindungen auf. Natürliche Zeolithe besitzen Ionen, die unter anderem gegen Ammonium-Ionen ausgetauscht werden können und werden zur Ammoniumentfernung eingesetzt. Aufgrund der Einfachheit in Konstruktion und Bedienung sowie Unempfindlichkeit gegenüber toxischen Substanzen ist die Sorption eine erfolgreiche Technik in der Wasseraufbereitung für die Wasserwiederverwendung. Zunächst wurden die Materialien und die Reihenfolge durch Isothermenversuche ermittelt. Die Isothermen wurden mit dem gemahlten Material und bei einer Kontaktzeit von 48 h durchgeführt. Anschließend wurde in zwei stichprobenartigen Kleinfilterversuchen (d = 50 mm; H = 500 mm) das Adsorptions- und Durchbruchverhalten im Filter für die Filtrate von Grauwasser und Anaerobablauf untersucht. Die Filter wurden im Aufstrom mit einer Kontaktzeit von 10 bzw. 20 min betrieben. Bei einer täglichen Betriebszeit von ca. 8 h wurde über mehrere Tage jeweils ein Volumen von ca. 200 l durchgesetzt.



Zur Bewertung der Wasserqualität wurde eine Matrix mit Zielparametern erstellt, die für eine Wiederverwendung im Haushalt die Orientierungswerte des Berliner Senats (Innovative Wasserkonzepte, Betriebswassernutzung in Gebäuden. Berlin.: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2007)) oder darüber hinaus die Indikatorparameter der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2011) enthielt. Für das Behandlungsziel einer Einleitung in Gewässer, wurden die Abwasserverordnung (AbwV, 1997) sowie aktuelle verschärfte Vorgaben z.B. für Phosphat angestrebt.

4 Ergebnisse

Insgesamt wurden die Aufbereitungsverfahren separat oder in Kombination anhand von 15 verschiedenen Rohwässern untersucht. Zu den einzelnen Verfahren wurden insgesamt drei Studien- und Masterarbeiten angefertigt:

- Robert Jahn: Recherche und Untersuchungen zur Entwicklung eines Verfahrenskonzeptes und einer Versuchsanlage zur dezentralen Fit-for-Purpose-Aufbereitung von häuslichen Abwasserteilströmen. Studienarbeit an der Fachhochschule Magdeburg - Stendal (2015)
- Sandra Kiel: Entwicklung einer Fit-for-Purpose-Aufbereitung zur Einbindung in semi- und dezentrale Wasserinfrastrukturen: Erprobung und Betriebsoptimierung an einer halbtechnischen Versuchsanlage. Masterarbeit an der Universität Duisburg-Essen (2015)
- Till Sieker: Versuche zur Entfernung von organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffen aus Abwasserteilströmen mittels Adsorption/Ionenaustausch. Masterarbeit an der Universität Duisburg Essen (2016)

In Tabelle 4–1 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und vereinfacht dargestellt.



Tabelle 4–1: Ergebnisse der Untersuchungen zur Fit-for-Purpose Aufbereitung

Wassertyp	Charakteristische Merkmale	Ergebnisse der Aufbereitung	Schlussfolgerung
Regenwasser (Dachablauf)	Ionenarm, geringe pH-Wert-Pufferung, calcitlösend und korrosiv Saisonbedingt/standortbedingt - hohe Partikelfracht - Färbung durch organische Stoffe Kann Bakterien, Ammonium und Schwermetalle enthalten	Verringerung der Färbung bis auf Trinkwasserniveau durch Flockung möglich. pH-Wert Verschiebung schon bei geringen FM-Zugabemengen. Korrosive Eigenschaften werden verstärkt. Partikel- und Bakterienrückhalt durch die Membran bei Kontamination des Rohwassers. Stabiler Filtrationsbetrieb bei hohem Membranflux und langen Filtrationsintervallen zwischen den Rückspülungen.	Flockung meist nicht notwendig, jedoch optional vorsehen zur Verringerung der Färbung; Verwendung von schwach sauren Flockungsmitteln oder pH-Wert Korrektur vorsehen Geeignete Betriebsweise der Membranstufe: Deadend-Betrieb Ammoniumentfernung durch Einsatz von Zeolith erforderlich
Grauwasser (schwachbelastet, aus Dusche und Handwaschbecken)	Zugrundeliegende Ionenmatrix entspricht dem verwendeten Trinkwasser Zusätzlicher Eintrag Körperpflegeprodukte Partikel (Haut, Haare, Sand) Ammonium Schwankende Wassertemperatur	Aerober Abbau der biologisch abbaubare Substanzen innerhalb weniger Tage Flockung verringert Färbung und CSB geringfügig, die Phosphatkonzentration jedoch deutlich. Stabiler Filtrationsbetrieb bei mittlerem Membranflux Ammoniumentfernung durch Einsatz von Zeolith erforderlich	Flockung meist nicht notwendig, optional zur Verringerung der Färbung und Phosphatkonzentration Geeignete Betriebsweise der Membranstufe: Crossflow- oder Deadend-Betrieb mit Flockung Ammoniumentfernung durch Einsatz von Zeolith erforderlich Für Betriebswasser: Aktivkohleadsorption erforderlich um BSB₅ zu verringern

Grauwasser (starkbelastet, gesamtes Grauwasser aus Haushalten)	Unterschied zu schwach belastetem Grauwasser: Ereignisbedingt hohe Schmutzfracht aus: - Waschmaschine - Küchenabfluss - Spülmaschine	Aerober Abbau der biologisch abbaubaren Substanzen innerhalb weniger Tage Flockung verringert Färbung, CSB und Phosphatkonzentration deutlich. Membran-Filtrationsbetrieb bei mittlerem Membranflux, Flockung und kurzen Filtrationszyklen Weitere CSB-Entfernung und Entfärbung mittels Aktivkohleadsorption notwendig Ammoniumentfernung durch Einsatz von Zeolith erforderlich	Flockung zur Stabilisierung des Filtrationsbetriebs und zur Phosphatentfernung vorsehen Geeignete Betriebsweise der Membranstufe: Deadend-Betrieb mit Flockung Ammoniumentfernung durch Einsatz von Zeolith erforderlich Aktivkohleadsorption erforderlich um den Einleitgrenzwert für BSB₅ zu erreichen
Anaerob behandeltes Schwarzwasser (Ablauf CSTR-Reaktor)	Toilettenabwasser ggf. mit Co-Substrat aus organischen Küchenabfällen, sehr kohlenstoff-, stickstoff- und phosphatreich. Anaerober Abbau des Kohlenstoffs zur Energiegewinnung (Biogas), dennoch hoher CSB und hohe Ammoniumkonzentration Insgesamt hohe Leitfähigkeit, stabiler pH-Wert	Langsamer aerober Abbau der biologisch abbaubaren Substanzen Kein Einfluss der Flockung mit anorganischen Salzen, Flockenbildung mit organischen Flockungsmitteln, Flockung/Fällung durch pH-Wert Verschiebung mit Kalkmilch Membran-Filtrationsbetrieb bei niedrigem Membranflux, Partikel und Bakterienrückhalt Entfernung von CSB, Ammonium und Phosphat durch Adsorption/ Ionenaustausch	Membranfiltration bei geringem Flux und häufigen Reinigungsintervallen ohne Flockung im Deadend-Betrieb möglich Adsorptionsstufen in der Reihenfolge Aktivkohle → GEH → Zeolith Alternativ zur Phosphat und Ammoniumentfernung durch Sorption ist Nährstoffrückgewinnung sinnvoll

Die Ergebnisse der im Labor und halbtechnisch durchgeführten Versuche haben orientierenden Charakter und zeigen, dass die ausgewählten Verfahrenskombinationen dazu eingesetzt werden können

- Regenwasser und schwach belastetes Grauwasser zu hochwertigem Betriebswasser aufzubereiten.
- die Einhaltung schärfere Einleitgrenzwerte für Oberflächengewässer zu ermöglichen.
- Stark belastetes Grauwasser und anaerob behandeltes Schwarzwasser weitergehend zu behandeln, sodass schärfere Einleitgrenzwerte erreicht oder der Einsatz als Betriebswasser möglich werden

Die gleiche Anlagentechnik ist somit für verschiedene Anwendungszwecke einsetzbar. Da die ausgewählten Verfahren rein auf physikalisch-chemischen Prinzipien beruhen, muss keine Adaptionsphase berücksichtigt werden. Vor einem Wechsel des zu behandelnden Wassers von stärker zu schwächer belastetem Zulaufwasser sind jedoch eine intensive chemische Reinigung der Membranmodule, Installationen und Rohrleitungen sowie ein Austausch der Adsorbermaterialien durchzuführen um Verschleppungseffekte zu vermeiden. Der Einsatz desselben Systems für die genannten extrem unterschiedlichen Verwendungszwecke hat zur Folge, dass die Komponenten je nach Anwendung nicht in ihrem optimalen Bereich betrieben werden. So liegt der Membranflux beispielsweise während der Filtration von starkbelastetem Grauwasser bei ca. 15 l/m²h wohingegen bei der Regenwasserfiltration der Membranflux bis zu 100 l/m²h betragen kann, was bei der Auslegung von Pumpen, Rohrleitungen und Installationen berücksichtigt werden muss. Hier bietet der modulare Ansatz den Vorteil durch Hinzuschalten oder Umfahren einzelner Bausteine die Flexibilität der Gesamtanlage zu erhöhen. Bei der Verwendung als Betriebswasser ist zudem eine abschließende Desinfektion (z.B. UV-Desinfektion) vorzusehen, um die Sicherheit in der Anwendung zu erhöhen.

Die Rückstände, die bei einer Fit-for-Purpose-Aufbereitung nach dem beschriebenen Verfahrenskonzept entstehen, sind

- Rückspülwasser oder Konzentrat mit hohem Partikelgehalt und ggf. Flockungsmittel
- Reinigungslösung mit erhöhtem Salzgehalt und ggf. Oxidationsmittel
- Aktivkohle, beladen mit organischen Wasserinhaltsstoffen
- Granuliertes Eisenhydroxid, beladen mit organischen Wasserinhaltsstoffen und Phosphat
- Natürlicher Zeolith, beladen mit Ammonium



Als Entsorgungswege für die flüssigen Reststoffe ist je nach Gesamtkonzept eine Ableitung mit dem Schwarzwasserstrom möglich. Die „Verdünnung“ des Schwarzwassers und die erhöhte Fe- oder Al-Konzentration bei einem Einsatz von anorganischen Salzen als Flockungsmittel sind so gering, dass nach ersten Einschätzungen die Schwarzwasserbehandlung nicht beeinträchtigt wird. Ist im Gesamtkonzept jedoch eine Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)-Fällung nach einer anaeroben Schwarzwasserbehandlung vorgesehen, so können erhöhte Metallkonzentrationen durch Mitfällung die MAP-Qualität verringern. Für die festen Rückstände ist, je nach Menge, eine Entsorgung über den Hausmüll möglich. Eine weitere Möglichkeit wäre die Sammlung der Adsorbermaterialien und Regenerierung bzw. Reaktivierung für einen Wiedereinsatz. Die beladenen Materialien können jedoch auch als Wertstoff angesehen werden und z.B. als Bodenverbesserer oder Düngemittel dienen, dies wurde in diesem Projektrahmen jedoch nicht weiter überprüft.

Die kurzen Versuchsphasen waren auf die Untersuchung der physikalisch-chemischen Verfahren abgestimmt. Bei den hohen Nährstoffgehalten einiger Versuchswässer und bei längeren Betriebsphasen, ist zu erwarten, dass natürliche biologische Abbauprozesse innerhalb der Anlage stattfinden. Für eine Betrachtung dieser biologischen Prozesse und deren Auswirkungen sind Versuchsphasen von mehreren Wochen bis Monaten unter realen Bedingungen notwendig.

5 Ausblick

Vor- und Nachteile

Die beschriebene rein physikalisch-chemische Aufbereitung von stark verschmutzten Wässern ist durch den Reinigungsaufwand und den Verbrauch an Adsorbermaterial im Vergleich zu biologischen Prozessen kostenintensiv. Bei gleichmäßigen Frachten, konstanten Durchsätzen bzw. einer Vergleichmäßigung in entsprechend dimensionierten Tanks ist eine biologische Aufbereitungsstufe in der Regel die günstigere. Das Einsatzgebiet der beschriebenen Verfahrenskombination ohne biologische Aufbereitungsstufe sind daher nährstoffarme Wässer (z.B. Regenwasser oder aerob vorbehandeltes Grauwasser), kurzfristige Anwendungen mit schwankenden Frachten und Volumenströmen oder besondere Anforderungen an die Wasserqualität. Zur Regenwasseraufbereitung werden ähnliche Systeme bereits angeboten, wobei eine Anpassung der Membranmodule an höhere Feststofffrachten und eine Erweiterung der Adsorptionsstufe einen flexiblen Einsatz für unterschiedliche Wässer ermöglichen würden.



Als Vorteile des getesteten Systems sind zu nennen:

- Betrieb mit biologischer Stufe (als Membran-Bioreaktor) und Betrieb ohne biologische Stufe mit dem gleichen Membranmodul möglich
- Platzsparende Erweiterung bereits bestehender Anlagen zur Verbesserung der Ablaufqualität oder zur Kapazitätserweiterung
- Betrieb auch bei schwankenden Volumenströmen und Wasserqualitäten durch effiziente Reinigung (erhöhte Reinigungsfrequenz des Membranmoduls sowie einfachen Austausch) oder modulare Erweiterung
- Kurze Einfahrphase, unempfindlich gegenüber toxischen Stoffen
- Einfach erweiterbar durch Adsorptions- bzw Ionenaustauscherstufen um die erforderliche Wasserqualität einzustellen

Weitere Kombinationsmöglichkeiten

Eine Kombinationsmöglichkeit der Fit-for-Purpose-Aufbereitung mit einer anaeroben Schwarzwasserbehandlung und anschließender N- und P- Rückgewinnung erscheint sinnvoll, wenn eine Vorreinigung durch UF und/oder Adsorption die Qualität der Produkte verbessert. Ein hohes Potenzial bietet auch die Kombination mit weiteren physikalisch-chemischen Verfahren wie z.B. der Elektrokoagulation, die ebenfalls zur Abwasserbehandlung eingesetzt wird.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für eine Fit-for-Purpose-Aufbereitung sind gewerbliche oder industrielle Anwendungen, bei denen Kreislaufführung oder Wieder- bzw. Weiterverwendung von Prozesswasserströmen eine Reinigung des Wassers erfordern. Auch bei Anlagen oder Teilbereichen, die vorrübergehend nicht in Betrieb sind (z.B. Saisonbetrieb), können mit Hilfe der Fit-for-Purpose-Aufbereitung die Qualität des Stagnationswassers in Rohrleitungen verbessert oder temporäre Abwasserströme behandelt werden.

Der modulare Ansatz bietet die Möglichkeit bestehende Verfahrensketten um Bausteine zu erweitern, wodurch weitere Anwendungen bei der Prozess- oder Betriebswasseraufbereitung entstehen. So ist z.B. die Herstellung von entsalztem Wasser durch den Einsatz von Umkehrosmose-Membranmodulen oder Ionenaustauschern als Erweiterung nach einer Vorbehandlung durch UF und Adsorption möglich. Auch die Wasserqualität z.B. hinsichtlich organischer Mikroverunreinigungen bei Einleitung oder Versickerung kann durch den Einsatz von Aktivkohle verbessert werden.



Anschrift
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Barbara Zimmermann
Moritzstraße 26, D-45476 Mülheim an der Ruhr
Internet: <http://www.iww-online.de/>
E-Mail: b.zimmermann@iww-online.de

