

IO1 Modul 2

“Wiederverwendung von Wasser aus Kläranlagen”

Von der Universität Rovira i Virgili



Substance of circular Economy concept as Efficacious
Determinant for the development of Successful entrepreneurship

2020-1-ES01-KA202-083137



Inhaltsverzeichnis

Einführung	2
Kreislaufwirtschaft in Kläranlagen	3
Welches sind die wichtigsten Verfahren der Abwasserbehandlung?.....	5
Innovation und Kreislaufwirtschaft in Kläranlagen: Herausforderungen und Hindernisse.....	7
Ausbringung von Klärschlamm.....	8
Notwendige Maßnahmen vor der Ausbringung von Klärschlamm.....	9
Nährstoffrückgewinnung.....	10
Neue Technologien zur Nährstoffrückgewinnung	11
Rückgewonnenes Wasser.....	12
Aufbereitetes Wasser für industrielle Prozesse.....	13
Rückgewonnenes Wasser für die Bewässerung.....	14
Energierückgewinnung.....	17
Fallbeispiele.....	19
Fallbeispiel 1: Vom Abwasser zum landwirtschaftlichen Wasser - eine innovative Technologie zur Kombination von Aufbereitung und Wiederverwendung in der Landwirtschaft.....	19
Fallstudie 2: Eine fortschrittliche Abwasserbehandlungstechnologie zur Beseitigung gefährlicher organischer Schadstoffe	21
Fallstudie 3: Wassersparende Verfahren für die Textilproduktion.....	22
Referenzen	24
Quiz.....	27



Einführung

Wir stehen heute vor vielen Herausforderungen bei der Ressourcenversorgung und der Abfallverwertung. Um dies zu bewältigen, befasst sich der europäische politische Diskurs mit der Anwendung der Kreislaufwirtschaft und fordert einen Schwerpunkt auf Innovation in Bezug auf die Wirtschaft und insbesondere die Industrie. Kläranlagen können aufgrund der Integration von Energieerzeugung und Ressourcenrückgewinnung bei der Produktion von sauberem Wasser ein wichtiger Bestandteil der Kreislaufwirtschaft sein. In naher Zukunft sollen Kläranlagen zu "ökologisch nachhaltigen" technologischen Systemen werden. In letzter Zeit haben viele Initiativen und Neugründungen im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft erheblich zugenommen.

In diesem Modul befassen wir uns mit einer der größten Herausforderungen im Abwasserbereich: die Umwandlung von Abwasser in verschiedene Ressourcen durch Initiativen, die die Kreislaufwirtschaft fördern.

Ziel dieses Moduls ist es, die Anwendung neuer Konzepte und Technologien zur Verbesserung der langfristigen Nachhaltigkeit des Abwassermanagements vorzustellen. Es werden innovative Erfahrungen mit der Anwendung der Kreislaufwirtschaft im Abwasserbereich vorgestellt, um das Wissen von Unternehmern und Start-ups zu verbessern und sie für deren Anwendung zu inspirieren.

In diesem Modul stellen wir gemeinsame Ansätze zwischen Initiativen der Kreislaufwirtschaft und der Abwasserwirtschaft vor, untersuchen Bereiche mit gemeinsamen Möglichkeiten und zeigen auf, wie die Anwendung von Ideen der Kreislaufwirtschaft einen größeren Wert schaffen kann. Außerdem werden Projekte, Ansätze und Ziele identifiziert, die sowohl auf eine nachhaltige Wasserwirtschaft als auch auf eine Kreislaufwirtschaft ausgerichtet sind.

Am Ende dieses Moduls werden Sie Folgendes gelernt haben:

- Die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und Kläranlagen
- Die wichtigsten Verfahren der Abwasserbehandlung
- Die Anwendung der Kreislaufwirtschaft in einer Kläranlage: Herausforderungen und Hindernisse
- Am Ende des Moduls haben wir 3 Fallstudien eingefügt, die im Detail analysiert werden.

Für ein vollständiges Verständnis dieses Moduls empfehlen wir einige Vorkenntnisse zu diesem Thema.



Kreislaufwirtschaft in Kläranlagen

Die "Agenda 2030" der Vereinten Nationen hat den allgemeinen Zugang zu sauberem Wasser als eines der Ziele für nachhaltige Entwicklung definiert und fordert die Regierungen auf, Kläranlagen zu errichten, um die Wasserqualität zu verbessern und den Zugang zu Trinkwasser für Menschen mit schwerwiegenden wasserbezogenen Problemen zu gewährleisten. Die Wasserressourcen auf der ganzen Welt werden zunehmend verschmutzt, weil es keine strengen Vorschriften für die Abfallentsorgung in der Industrie gibt. Industrien und Fabriken, die ihre Abfälle, Schwermetalle, Farbstoffe, organische Stoffe, Bakterien und toxisches Material in die Gewässer einleiten, verschmutzen das Wasser weiter.

Grundsätze der Kreislaufwirtschaft

Um eine Initiative im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft in Betracht zu ziehen, ist es notwendig, den Zusammenhang zwischen Kreislaufwirtschaft und Abwasserbehandlung aufzuzeigen. Um UnternehmerInnen dabei zu helfen, sich auf den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu konzentrieren und gemeinsam mit ExpertInnen für Wassersysteme Lösungen zu entwickeln, muss es ein gemeinsames Verständnis der Schlüsselkonzepte geben.

Die Kreislaufwirtschaft besteht aus Aktivitäten, bei denen Werte in Form von Energie, Arbeit und Material erhalten bleiben. Die Kreislaufwirtschaft entsteht hauptsächlich durch drei "Aktionen", die so genannten 3R-Prinzipien: Reduzierung, Wiederverwendung und Wiederverwertung / Recyceln.

- 1) Das Prinzip der **Reduzierung** zielt darauf ab, den Einsatz von Primärenergie, Rohstoffen und Abfällen zu minimieren, indem die Effizienz von Produktions- (so genannte Ökoeffizienz) und Verbrauchsprozessen verbessert wird, z. B. durch die Einführung besserer Technologien in Kläranlagen.
- 2) Der Grundsatz der **Wiederverwendung** bezieht sich auf "jeden Vorgang, bei dem Produkte oder Komponenten für denselben Zweck wiederverwendet werden, für den sie konzipiert wurden". So hat z. B. die Wasserknappheit in trockenen und halbtrockenen Regionen in einigen Teilen der Welt zur Wiederverwendung von Wasser als alternative Wasserversorgung geführt.
- 3) Der Grundsatz des **Wiederverwertens / Recyclens** bezieht sich auf "jedes Verwertungsverfahren, bei dem Abfallstoffe zu Produkten, Materialien oder Stoffen wiederaufbereitet werden, sei es für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck. Das Recycling von Klärschlamm bietet beispielsweise die Möglichkeit, noch zu brauchbare Ressourcen zu nutzen und die Menge der zu behandelnden und /oder zu entsorgenden Abfälle zu verringern, wodurch auch die damit verbundenen Umweltauswirkungen reduziert werden.

Innerhalb des WWTP-Rahmens können die **3R-Prinzipien** durch **drei weitere**, von der Ellen MacArthur Foundation [1] **entwickelte Prinzipien** ergänzt werden:

- 1) **Proper Design** unterstreicht die Bedeutung der Planungsphase bei der Suche nach Lösungen zur Vermeidung von Abfällen und Verunreinigungen. Dieses Prinzip wird in Kläranlagen angewandt, um die Menge an Energie, Mineralien und Chemikalien zu optimieren, die in den Betriebssystemen verwendet werden.
- 2) **Ressourcen weiterhin zu nutzen** bedeutet, dass die Leistung der Ressourcen in den Kläranlagen optimiert wird (Nutzung und Wiederverwendung von Wasser, Energie, Rückgewinnung von Nährstoffen und Chemikalien). Zum Beispiel:
 - **Optimierung der Energie- oder Ressourcenentnahme** aus dem Wassersystem,

- **Maximierung der Wiederverwendung** des Wassers. Nach den geltenden nationalen Rechtsvorschriften in der ganzen Welt sind die Wiederverwendungszwecke vielfältig und reichen von der Landwirtschaft über die Industrie, den städtischen Bereich, die Freizeitgestaltung und den Umweltschutz bis hin zum menschlichen Verbrauch. Gegenwärtig werden etwa 80 % des Abwassers ohne jegliche Behandlung in die Wasserstraßen der Welt eingeleitet.
 - **Optimierung der Wertschöpfung an den Schnittstellen des Wassersystems** (Valorisierung von Klärschlamm) mit anderen Systemen wie der Landwirtschaft und anderen Nutzungen,
 - **Rückgewinnung von Nährstoffen** aus Abwässern und deren Verwendung als Düngemittel.
- 3) **Regeneration des Naturkapitals** - Dieser Grundsatz beruht auf der Tatsache, dass wir die Umwelt nicht nur schützen, sondern aktiv verbessern müssen. Was wir tun müssen, ist:
- Erhaltung und Verbesserung des Naturkapitals (z. B. Vermeidung von Umweltverschmutzung, Qualität des Abwassers usw.) und
 - eine möglichst geringe Beeinträchtigung der natürlichen Wassersysteme durch menschliche Interaktionen und Nutzung gewährleisten.

WASTE WATER AND CIRCULAR ECONOMY



Quelle: Eigene Illustration

Legende:

Waste Water and Circular Economy = Abwasser und Kreislaufwirtschaft

Wastewater = Abwasser

Waster resource recovery facility = Abfallverwertungsanlage

Water = Wasser

Sludge = Klärschlamm

Phosphorous = Phosphorous

Energy = Energie

Biosolidis = Biosolidis



Welches sind die wichtigsten Verfahren der Abwasserbehandlung?

Bei der Abwasserbehandlung wird das Wasser so aufbereitet, dass es direkt wiederverwendet oder mit minimalen negativen Auswirkungen auf die Umwelt in den Wasserkreislauf eingeleitet werden kann. Abwasser ist voll von Verunreinigungen wie Bakterien, Chemikalien und anderen Giftstoffen. Die Behandlung zielt darauf ab, die Verunreinigungen auf ein akzeptables Maß zu reduzieren, damit das Wasser wieder in die Umwelt eingeleitet werden kann. Die Verfahren zur Abwasseraufbereitung sind wie folgt:

Physikalische/chemische Behandlungsverfahren

Physikalische Verfahren **entfernen Feststoffe** aus dem Abwasser, wenn es durch Siebe (oder Filtermedien) fließt, oder Feststoffe werden durch Schwerkraftabsetzung oder Luftflotation entfernt. Die Partikel werden dann an der Oberfläche eingeschlossen und entfernt. Bei der Abwasserreinigung können auch Chemikalien eingesetzt werden, um die Schadstoffe so zu verändern, dass sie besser entfernt werden können. Die Veränderungen können dazu führen, dass die Stoffe Flocken oder eine schwerere Partikelmasse bilden, um die Entfernung durch physikalische Verfahren zu erleichtern. Der Schlamm - der feste Abfall, der sich an der Oberfläche der Tanks absetzt - wird von großen Abstreifern entfernt und in die Mitte der zylindrischen Tanks geschoben und später zur weiteren Behandlung aus den Tanks gepumpt. Das restliche Wasser wird dann zur Zweitbehandlung (auch biologisches Verfahren genannt) gepumpt.

Biologische Behandlungsverfahren

Biologische Behandlungsverfahren (auch Belebtschlammverfahren genannt) sind Systeme, bei denen Mikroorganismen eingesetzt werden, um organische Schadstoffe aus dem Abwasser abzubauen. Luft wird in Belebungsbecken gepumpt, die das Abwasser mit den Mikroorganismen vermischen, wodurch sich Bakterien und andere Mikroben ausbreiten und die verbleibenden organischen Stoffe verzehren. Die Mikroorganismen verstoffwechseln Nährstoffe, Kolloide und gelöste organische Stoffe, was zu einem gereinigten Abwasser führt. Überschüssige Mikroben werden durch physikalische Prozesse aus dem gereinigten Abwasser entfernt. Bei diesem Prozess entstehen große Partikel, die sich am Boden der Becken absetzen (biologischer Schlamm).

Behandlung von Biofeststoffen

Die Feststoffe, die sich nach der Erst- und Zweitbehandlung absetzen, werden in die Vergärungsanlagen geleitet. Die Gärbehälter werden bei Raumtemperatur beheizt. Die festen Abfälle werden dann behandelt, wo sie einer anaeroben Vergärung unterzogen werden. Bei diesem Prozess entstehen Methangase und nährstoffreiche Biofeststoffe, die wiederverwertet und an örtliche Unternehmen abgegeben werden. Das Methangas, ein Nebenprodukt der Behandlung von Biofeststoffen, wird in der Regel in den Kläranlagen als Energiequelle genutzt. Es kann zur Stromerzeugung in Motoren oder einfach zum Antrieb von Anlagen verwendet werden. Das Gas kann auch in Heizkesseln verwendet werden, um Wärme für die Vergärungsanlagen zu erzeugen.

Tertiäre Behandlung

In der tertiären Behandlungsstufe können bis zu 99 % der Verunreinigungen aus dem Abwasser entfernt werden. Die Behandlung richtet sich nach dem Verwendungszweck des Wassers (Trinkwasser, Landwirtschaft, Industrie usw.). So entsteht ein Abwasser, das fast Trinkwasserqualität



hat. Leider ist dieses Verfahren in der Regel **etwas teuer, da es spezielle Geräte, Chemikalien, eine ständige Energieversorgung und gut ausgebildete und hochqualifizierte Fachkräfte erfordert.**

Desinfektion

Nach den physikalisch-chemischen und biologischen Prozessen befinden sich im restlichen gereinigten Abwasser noch Mikroorganismen. Um diese zu beseitigen, muss das Abwasser in Tanks desinfiziert werden, die eine Mischung aus **Chlor und Natriumhypochlorit** enthalten. Der Ablauf (das gereinigte Abwasser) wird später über die örtlichen Wasserstraßen in die Umwelt entlassen. Dieses Wasser kann nun in der Industrie, zur Bewässerung und für andere Zwecke verwendet werden.

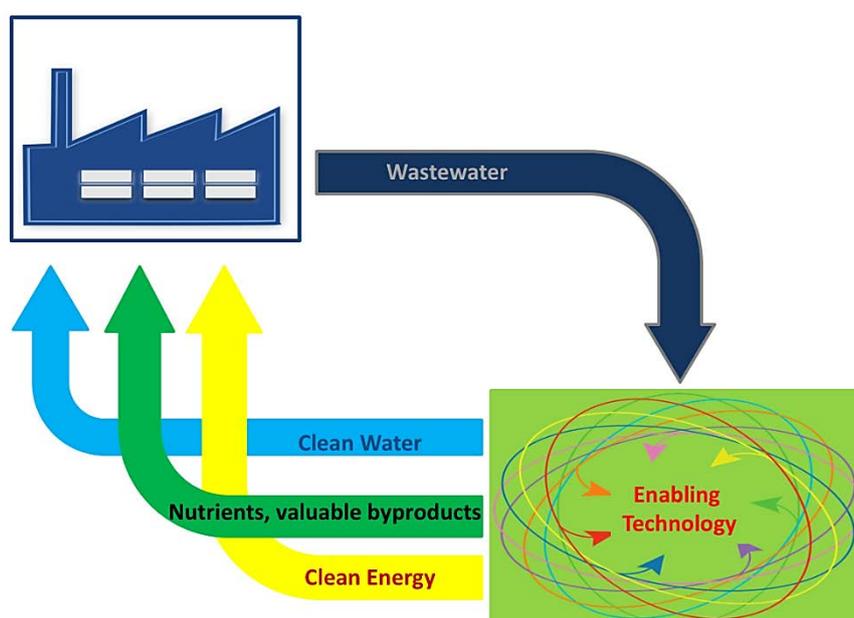


Quelle: <https://pixabay.com/images/search/wastewater%20treatment%20plant/>

Innovation und Kreislaufwirtschaft in Kläranlagen: Herausforderungen und Hindernisse

Das Wassersystem ist Teil von Umwelt-, Landwirtschafts-, Industrie- und Gemeindesystemen. Zu wissen, wie diese Systeme miteinander verbunden sind, ist entscheidend für die Identifizierung von Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft, die innerhalb des Wassersystems und anderer damit verbundener Systeme bestehen.

Kläranlagen können aufgrund der Integration von Energieerzeugung und Ressourcenrückgewinnung bei der Produktion von sauberem Wasser ein wichtiger Bestandteil der Kreislaufwirtschaft sein [2, 3]. In naher Zukunft werden Kläranlagen zu "ökologisch nachhaltigen" technologischen Systemen werden. Derzeit bestimmen der globale Nährstoffbedarf und die Rückgewinnung von Wasser und Energie aus Abwasser die Entwicklung der Abwasserindustrie [4-6]. Diese Abbildung von Cerahelix.com zeigt den Wasserkreislauf in einem Kreislaufwirtschaftsmodell:



Quelle: <https://www.cerahelix.com/news/treat-reuse-extract-create-and-repeat-the-circular-economy-explained-using-the-water-cycle-as-an-example/>

Legende:

Wastewater = Abwasser

Enabling Technolog = Grundlagentechnologie

Clean Water = Sauberes Wasser

Nutrients, valuable byproducts = Nährstoffe, wertvolle Nebenerzeugnisse

Clean Energy = Saubere Energie



Um der Herausforderung zu begegnen, die Abwasserverschmutzung angesichts des Bevölkerungswachstums, der Veränderungen bei den industriellen Verfahren und der technologischen Entwicklungen zu verringern, hat die US-Umweltschutzbehörde (US EPA) ein Dokument erstellt, das Informationen über die jüngsten Fortschritte und innovativen Techniken für jedermann zugänglich macht [7]. Das Ziel des Dokuments ist einfach: **ein Leitfaden für Personen, die Informationen über innovative und neue Abwasserreinigungstechnologien suchen**. Der Leitfaden listet neue Technologien auf, bewertet ihre Vorzüge und Kosten und nennt Quellen für weitere technologische Untersuchungen. Dieses Dokument soll als Leitfaden für EigentümerInnen/EntsorgerInnen, BetreiberInnen, PlanerInnen und BeraterInnen dienen.

In den nächsten Abschnitten stellen wir die wichtigsten Ressourcen vor, die aus Kläranlagen gewonnen werden können, und zeigen die Möglichkeiten für UnternehmerInnen auf, während wir die Stärken und Schwächen dieser Verfahren aufzeigen.

Ausbringung von Klärschlamm

Biofeststoffe (Klärschlämme) bestehen aus für die Landwirtschaft wertvollen Bestandteilen (organische Stoffe, Stickstoff, Phosphor, Kalium und Mikronährstoffe wie Kalzium, Schwefel und Magnesium) sowie aus Schadstoffen wie Schwermetallen, organischen Verbindungen und Krankheitserregern. Obwohl sie eine wertvolle Ressource sein können, müssen sie mit Vorsicht verwendet werden. Sie enthalten oft Mikroorganismen, die Krankheiten, chemische Verunreinigungen oder andere instabile Stoffe übertragen können.

Klärschlämme können den Boden anreichern und Handelsdünger ergänzen oder ersetzen. Klärschlamm wird an verschiedenen Orten ausgebracht, z. B. auf landwirtschaftlichen Flächen, in Wäldern, bei der Sanierung von Bergwerken und auf anderen Flächen, in Parks und auf Golfplätzen. Die Ausbringung von Klärschlamm hat deutlich positive Auswirkungen auf die **Bodenfruchtbarkeit** und gewährleistet eine nachhaltigere Nutzung. Neben dem hohen Nährwert verbessern Klärschlämme die Bodeneigenschaften (**Bodenverbesserung**), indem sie die **organische Substanz des Bodens, die Aggregation der Bodenpartikel, die Bodenstruktur und die Porosität** erhöhen und die **Schüttdichte** verringern.

Die Ausbringung von Klärschlamm ist in Europa und anderen Ländern weit verbreitet [8]. Das mit der Ausbringung von Klärschlamm verbundene Risiko hängt von der Herkunft der Schadstoffbelastung ab, die in die Kläranlagen gelangt (kommunale oder industrielle Belastung). Die Hauptprobleme im Zusammenhang mit der Entsorgung von Klärschlamm sind **Gesundheits- und Sicherheitsfragen**, Geruchsbelästigung und andere Bedenken der Öffentlichkeit. Darüber hinaus kann sich eine übermäßige Ausbringung auf dem Land durch die **Auswaschung von Nährstoffen** negativ auf die Grundwasserqualität auswirken. Aus diesem Grund hat das amerikanische Umweltbundesamt (EPA) auf der Grundlage der Bundesnormen für die Verwendung oder Entsorgung von Klärschlamm einen Leitfaden für die Ausbringung von Klärschlamm entwickelt. Mit diesem Bundesprogramm soll sichergestellt werden, **dass Klärschlamm auf eine Weise verwendet oder entsorgt wird, die sowohl die menschliche Gesundheit als auch die Umwelt schützt**. Teil 503, Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (Normen für die Verwendung oder Entsorgung von Klärschlamm) legt die allgemeinen Anforderungen, Schadstoffgrenzwerte, Betriebsnormen und Bewirtschaftungspraktiken sowie die Häufigkeit der Überwachung, Aufzeichnungen und Berichterstattungspflichten für Klärschlamm fest, der auf dem Land ausgebracht, auf einer oberirdischen Deponie gelagert oder in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt wird [9].



Notwendige Maßnahmen vor der Ausbringung von Klärschlamm

Um die in der Gesetzgebung vorgeschlagenen Vorschriften zu erfüllen, muss Klärschlamm in den Kläranlagen behandelt (**entwässert und stabilisiert**) werden, bevor er entweder zur Bodendüngung oder zur Landgewinnung aufgebracht wird. Die Verfahren zur Behandlung von Klärschlämmen vor ihrer Ausbringung auf den Boden sind anaerobe oder aerobe Faulung, Kompostierung, Trocknung und chemische Behandlung (meist alkalische Behandlung).

- Die **anaerobe Vergärung** (im Allgemeinen) ist ein natürlich vorkommender biologischer Prozess, bei dem eine große Anzahl **anaerober Bakterien organische Stoffe in Methan und Kohlendioxid** (ein als **Biogas** bezeichnetes Gemisch) umwandelt. Dieser Prozess stabilisiert die organische Substanz in den Abwasserfeststoffen, reduziert Krankheitserreger und Gerüche und verringert die Gesamtmenge an Feststoffen/Schlamm, indem ein Teil der flüchtigen Feststoffe (VS) in Biogas umgewandelt wird.
- **Anaerobe Vergärung**. Der Prozess kann in drei separate Schritte unterteilt werden, die jeweils von einer anderen Gruppe von Mikroorganismen durchgeführt werden:
 - 1) **Hydrolyse**, bei der Proteine, Zellulose, Lipide und andere komplexe organische Stoffe in kleinere Moleküle **aufgespalten** und durch die Nutzung von Wasser zur Aufspaltung der chemischen Bindungen der Stoffe **löslich** gemacht werden
 - 2) **Fermentation flüchtiger Säuren**, bei der die Hydrolyseprodukte in **organische Säuren** umgewandelt werden, und zwar durch die biochemischen Prozesse der **Acidogenese** (bei der Monomere in Fettsäuren umgewandelt werden) und der **Acetogenese** (die Fettsäuren werden in Essigsäure, Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt)
 - 3) **Methanformation**, bei der die während der Gärung entstandenen organischen Säuren in Methan und Kohlendioxid umgewandelt werden.
- **Kompostierung**. Die Kompostierung von Abwasserrückständen ist ein **bio-thermischer aerober Prozess**, bei dem der organische Anteil der Rückstände um etwa 25 Prozent abgebaut wird. Vor der Kompostierung ist eine **Entwässerung** der Rückstände erforderlich. Durch die Entwässerung wird nicht nur das Volumen des Überschusses verringert, sondern auch die Menge an Feuchtigkeit, die durch die bei der **Zersetzung des organischen Anteils** des Rückstands entstehende Wärme verdunstet. Das Problem bei der Kompostierung von Rohrückständen ist der stärkere Geruch der Rückstände mit einem höheren Anteil an organischem Material. Zur Geruchskontrolle können verschiedene Methoden eingesetzt werden. Im Allgemeinen wird der Geruch durch Zugabe von Branntkalk (CaO) kontrolliert, um den pH-Wert der Rückstände zu verändern. Wenn der Geruch weiterhin ein Problem darstellt, kann das einfache Verfahren, Luft durch den Komposthaufen zu saugen und die Luft in einen Biofilter zu leiten, den Geruch weiter reduzieren.

Trocknung. Die Art und Population der Mikroorganismen variiert während des Kompostierungsprozesses. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Kompostierungsumgebung so zu steuern, dass die Mikroorganismen gedeihen können. Zu den Parametern der Kompostierungsumgebung gehören die **Temperatur des Komposthaufens**, der Feuchtigkeitsgehalt des Komposts, **der Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt** im Komposthaufen und die **Verfügbarkeit von Nährstoffen** wie Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Mikroorganismen. Diese Parameter müssen überwacht werden, da sie die Vitalität der Mikroorganismen beeinflussen. Sauerstoff wird dem Komposthaufen durch Luftzufuhr zugeführt. Die Menge der zugeführten Luft hängt vom Feuchtigkeitsgehalt des Komposthaufens ab. Je höher der Feuchtigkeitsgehalt ist, desto mehr Luft wird benötigt. Ein Mindestgehalt an Sauerstoff muss eingehalten werden, während der Kohlendioxidgehalt einen Höchstwert nicht überschreiten darf.



Quelle: <https://pixabay.com/images/search/sewage%20sludge%20composting/>

Nährstoffrückgewinnung

Bei der **Nährstoffrückgewinnung** werden **Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor aus verbrauchten Wasserströmen zurückgewonnen, die andernfalls entsorgt würden**, und in einen umweltfreundlichen Dünger für ökologische und landwirtschaftliche Zwecke umgewandelt. Dieses Verfahren trägt zur **Reinigung des Abwassers** bei, indem es diese Nährstoffe entfernt und sie schließlich in ein **effizientes, wiederverwendbares Ausgangsmaterial umwandelt**. Mit diesen Zielen vor Augen wurden in der Abwasserindustrie verschiedene Verfahren entwickelt, um diese Nährstoffe optimal zurückzugewinnen.

Die Rückgewinnung von Nährstoffen bietet Kommunen die Möglichkeit, Einnahmen zu erzielen und gleichzeitig landwirtschaftliche Betriebe mit veredeltem, verwertbarem Phosphor zu versorgen - einer zunehmend knappen natürlichen Ressource. Darüber hinaus ermöglicht es den Abwasserbetrieben, nicht nur als Kläranlage zu fungieren, sondern letztlich als Mittel zur **Ressourcenrückgewinnung**, wodurch sich die Wahrnehmung der traditionellen Abwasserbehandlung ändert. Das Nährstoffrecycling aus Kläranlagen wirkt sich positiv auf die Umwelt aus, da es den Bedarf an konventionellen Düngemitteln auf fossiler Basis und damit auch den Wasser- und Energieverbrauch reduziert.

Die Rückgewinnung von Nährstoffen aus dem Abwasser kann **aus Rohabwasser, vorbehandelten Abwasserströmen und Klärschlamm (Biosolids)** erfolgen [10].

Derzeit wird **Phosphor (P)** in Kläranlagen hauptsächlich durch chemische **Verfahren** wie die **Struvit-Kristallisation** zurückgewonnen, z. B. durch die Technologien Pearl, NuReSys und AirPrex, die in großem Maßstab eingesetzt werden [11]. Gegenwärtig werden in Europa mehr als 2000 Mg P/Jahr technisch zurückgewonnen [12]. Die Hauptprobleme im Zusammenhang mit der Struvitkristallisation sind die **hohen Chemikalienkosten** und die **ungewollte Struvitbildung**, die Ventile, Rohre, Pumpen usw. verstopft. Auch wenn die hohen Betriebskosten die wirtschaftliche Durchführbarkeit der Nährstoffrückgewinnung einschränken, könnte das System eine breite Palette anderer Vorteile



bieten. So könnte die Nährstoffrückgewinnung aus dem Abwasser die **Produktion von Schlamm** und unerwünschten Ausfällungen erheblich reduzieren, so dass die mit den unerwarteten Substanzen verbundenen Entsorgungskosten besser kontrolliert oder sogar gesenkt werden könnten. Außerdem könnte die Nährstoffrückgewinnung aus dem Abwasser die **Entwässerung** des behandelten Schlamms verbessern und die **Ablagerungsgeschwindigkeit** verringern, was beides zu einer **Verbesserung des Abwassermanagements** führt [14]. Die Nährstoffrückgewinnung könnte auch die **Ammonium- und Phosphatkonzentration** im Abwasser einer Kläranlage **verringern** und damit die Eutrophierung der Gewässer verhindern. Allerdings würden sowohl die Vorteile für die Umwelt als auch die staatlichen Vorschriften nicht dazu dienen, die Nährstoffrückgewinnung auszulösen, wenn es keine ausreichenden wirtschaftlichen Anreize gibt.

Neue Technologien zur Nährstoffrückgewinnung

Neben der chemischen Methode zur Rückgewinnung von P aus Kläranlagen (die im vorigen Abschnitt erläutert wurde) gibt es neue Technologien, die ebenfalls zur Rückgewinnung von Nährstoffen bei der Abwasserbehandlung eingesetzt werden können, und deren Mechanismen, einschließlich **biologischer Technologien, Membransysteme und fortgeschrittener Membransysteme**. Sie wurden kürzlich von Ye et al. zusammengefasst [15].

Dieselben AutorInnen legten auch eine wirtschaftliche Analyse dieser Nährstoffrückgewinnungssysteme vor und verglichen sie im Hinblick auf positive und negative Aspekte. Sie stellten fest, dass **membranbasierte Technologien zur Nährstoffrückgewinnung** wirtschaftlich und technisch machbar sind. **Osmotische Membranbioreaktoren (OMBR)** und **bioelektrochemische Systeme (BES)** werden aufgrund ihres geringen Membranverschmutzungspotenzials und ihres geringen Energieverbrauchs besonders bevorzugt. Im Vergleich zu **aeroben OMBR-basierten Hybridsystemen** weisen **anaerobe OMBR (AnOMBR)** ebenfalls eine geringe Membranverschmutzung auf. Diese Ergebnisse beruhen jedoch auf wenigen Studien zu AnOMBR-basierten Systemen; weitere Untersuchungen zur Nährstoffrückgewinnung durch AnOMBR-Hybridsysteme müssen durchgeführt werden, bevor ihre Vorteile vollständig bestätigt werden können.

Ye et al. 2020 wiesen darauf hin, dass **mikrobielle Brennstoffzellen (MFC)** als fortschrittliche Technologie für die Nährstoffrückgewinnung **Strom erzeugen** und einen hohen pH-Bereich für die chemische Abscheidung bieten könnten [15]. Die Technologie ist sehr vielversprechend für die Rückgewinnung von Nährstoffen. Daher sollten die MFC und ihre Modifikationen für die Rückgewinnung von Nährstoffen in der Abwasserbehandlung umfassend erforscht werden.

In diesem Szenario sind **die Vorwärtsosmose (FO), die Membrandestillation (MD) und die Elektrodialyse (ED)** die drei wichtigsten Membrantechnologien, die für die Nährstoffrückgewinnung eingesetzt werden. MD- und ED-Verfahren sind mit MFCs kompatibel, während MFCs zur Rückgewinnung von Nährstoffen aus verdünntem Abwasser eingesetzt werden. Eine solche Integration könnte zweifellos die **Qualität und Quantität der zurückgewonnenen Nährstoffe erhöhen** und ist in der Zukunft realisierbar. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Erhöhung der **anaeroben Freisetzung von Phosphat** in den vorhandenen Tanks in ausreichender Menge [16]. Darüber hinaus können die Eigenschaften der Feed-Lösung die Leistung des Membranbioreaktors bestimmen, da sie sich direkt auf die Schlammeigenschaften, das Fouling der Membran und den Permeatfluss auswirken [17]. Die Rolle der Feed-Lösung in OMBR-Systemen ist jedoch noch nicht ausreichend untersucht worden. Es ist notwendig, weitere Studien durchzuführen, um die Durchführbarkeit verschiedener Abwasserquellen in Bezug auf die Nährstoffrückgewinnung zu bewerten und gegebenenfalls eine geeignete Vorbehandlung für die Zulauflösung vorzuschlagen. In



diesem Fall können sowohl die technische Durchführbarkeit des Nährstoffrückgewinnungssystems als auch seine Leistung verbessert werden.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass neue Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung **wirtschaftlicher Abwasserbehandlungssysteme** führen, insbesondere zu Hybridsystemen auf der Grundlage **osmotischer Membranbioreaktoren (OMBR)** und **bioelektrochemischer Systeme (BES)**. Dies kann neue Möglichkeiten für UnternehmerInnen und ExistenzgründerInnen schaffen.

Rückgewonnenes Wasser

Warum gereinigtes Abwasser wiederverwenden?

Nur 2,5 % des auf unserem Planeten verfügbaren Wassers ist Süßwasser. Mit dem raschen Anstieg der Weltbevölkerung, der Beschleunigung der Urbanisierung und der globalen Erwärmung wird diese Ressource immer knapper. Die **übermäßige Entnahme von Wasser** ist eine der Hauptursachen für die Wasserknappheit. Die Hauptbelastung durch den Wasserverbrauch konzentriert sich auf die Bewässerung und den Bedarf der Haushalte, einschließlich des Tourismus. Die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser als alternative Quelle für die Wasserversorgung wird inzwischen von internationalen, europäischen und nationalen Nachhaltigkeitsstrategien anerkannt. Das UN-Ziel für eine nachhaltige Entwicklung im Bereich Wasser (SDG 6) sieht eine deutliche Steigerung des Recyclings und der sicheren Wiederverwendung bis 2030 vor. Die Wiederverwendung von Wasser ist eine der obersten Prioritäten im strategischen Umsetzungsplan der Europäischen Innovationspartnerschaft für Wasser, und die Maximierung der Wiederverwendung von Wasser ist ein spezifisches Ziel in der Mitteilung "Blueprint to safeguard Europe's water resources". Die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser kann erhebliche ökologische, soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen. Dem Blueprint zufolge kann die Wiederverwendung von Wasser den Zustand der Umwelt sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht verbessern und den Druck durch den Ersatz von Wasserentnahmen verringern. Im Vergleich zu alternativen Quellen der Wasserversorgung wie Entsalzung oder Wassertransfer erfordert die Wiederverwendung von Wasser häufig geringere Investitionskosten und Energie, wodurch die Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Die Wiederverwendung von Wasser kommt dem Wassersektor im weiteren Sinne zugute, der eine Schlüsselkomponente der ökoindustriellen Landschaft der EU ist. Die Wiederverwendung von Wasser birgt ein erhebliches Potenzial für die **Schaffung von grünen Arbeitsplätzen in der Wasserindustrie. Schätzungen zufolge könnten bei einer Steigerung der Wachstumsrate in der EU-Wasserindustrie um 1 % bis zu 20 000 neue Arbeitsplätze entstehen** [18]. Derzeit macht die Menge des jährlich wiederverwendeten behandelten kommunalen Abwassers etwa 2,4 % der behandelten kommunalen Abwässer und weniger als 0,5 % der jährlichen Süßwasserentnahme in der EU aus. Das Potenzial in der EU ist jedoch viel höher und wird auf das Sechsfache der derzeitigen Menge geschätzt. Sowohl in den südlichen Mitgliedstaaten wie Spanien, Italien, Griechenland, Malta und Zypern als auch in den nördlichen Mitgliedstaaten wie Belgien und Deutschland gibt es bereits zahlreiche Initiativen zur Wiederverwendung von Wasser für **Bewässerung, industrielle Zwecke und zur Anreicherung von Grundwasser**. Zypern und Malta verwenden bereits mehr als 90 % bzw. 60 % ihrer Abwässer wieder, während Griechenland, Italien und Spanien zwischen 5 und 12 % ihrer Abwässer wiederverwenden, was eindeutig auf ein Potenzial für eine weitere Verbreitung hinweist.

Die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen für die Landwirtschaft und die Bewässerung von Grundstücken, für industrielle Zwecke, für die Toilettenspülung und die Auffüllung des Grundwassers ist ein Schlüsselement der derzeit umgesetzten Strategie, die auf die Freigabe von Süßwasser für den häuslichen Gebrauch, die Verbesserung der Abwasserqualität der Kläranlagen und folglich auf eine bessere Qualität des Flusswassers für die Trinkwasserentnahme abzielt [19]. Die Verwendung von gereinigtem Abwasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft ist seit vielen Jahren bekannt und kann die Wasserversorgung sicherstellen, um damit **Bedarf der Landwirtschaft** zu decken und den **lokalen Wasserbedarf zu verringern**. Darüber hinaus verringern die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe den Bedarf an Handelsdünger. **Es wird empfohlen, Abwässer aus der Zweitbehandlung für die Bewässerung von Non-Food-Kulturen zu verwenden, während Abwässer aus der Drittbehandlung für die Bewässerung von Nahrungsmittelkulturen eingesetzt werden.**

Die Wiederverwendung von kommunalem Abwasser kann **geplant (direkt oder indirekt)** oder ungeplant erfolgen, was meist mit nicht trinkbaren Verwendungen zusammenhängt. Es gibt jedoch auch Fälle von ungeplanter Wiederverwendung für trinkbare Zwecke. Die Wiederverwendung von kommunalem Wasser betrifft hauptsächlich die Bewässerung von Haushalten und die gewerbliche Nutzung für Brandschutz, Autowäsche, Toilettenspülung usw. **Die Hauptprobleme im Zusammenhang mit der städtischen Wiederverwendung sind: Risiken für die menschliche Gesundheit und hohe Kosten für duale Systeme für die Bereitstellung von aufbereitetem Wasser** [20]. Bei der indirekten Trinkwassernutzung wird hochwertiges Kläranlagenabwasser direkt in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer eingeleitet, um die Trinkwasserversorgung zu verbessern. Eine andere Lösung ist die direkte Trinkwassernutzung (pipe to pipe), bei der das gereinigte Abwasser direkt in ein **Wasserverteilungssystem** eingeleitet wird [21].

Die direkte Trinkwassernutzung erhöht jedoch die Betriebskosten aufgrund der sehr hohen Anforderungen an die Abwasserqualität erheblich. Auch die fehlende soziale Akzeptanz spielt eine wichtige Rolle.



Quelle: <https://pixabay.com/images/search/water%20garden/?page=2>

Aufbereitetes Wasser für industrielle Prozesse

Je nach den Anforderungen an die Wasserqualität, den Platzverhältnissen und den finanziellen Erwägungen gibt es verschiedene Methoden für das Recycling oder die Wiederverwendung von



industriellem Wasser. **Zu den Vorteilen gehören die Verringerung der Frischwasserkosten, der Abwasserströme und der Größe des Wasser-Fußabdrucks.** Zusammen mit der verbesserten Produktionskapazität aufgrund der höheren Verfügbarkeit von sauberem Wasser können auch die betriebliche Effizienz und Nachhaltigkeit gesteigert werden.

Technologien

Bei der Abwasseraufbereitung sind **Mikrofiltration (MF), Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (RO)** die in der Industrie am häufigsten angewandten Membrantrennverfahren. Auch die **Vorwärtsosmose (FO)** wurde kürzlich als fortschrittliche Membrantechnik für die Abwasseraufbereitung eingeführt. Eine Reihe anderer fortschrittlicher Wasserreinigungstechnologien wie **Aktivkohle, Ionenaustausch, Deionisierung, Elektrodeionisierung, UV (Ultraviolett), Ozondesinfektion und Chemikaliendosierung** werden für industrielle Anwendungen eingesetzt.

In der Abwasserbehandlung hat sich die Membrantechnologie als Schlüsseltechnologie für die Abtrennung von Schadstoffen aus verschmutzten Quellen erwiesen [22]. Membranen sind selektive Barrieren, die zwei unterschiedliche Phasen voneinander trennen und den Durchgang bestimmter Komponenten ermöglichen, während andere zurückgehalten werden. Das Mittel, das Membranprozesse in Gang setzt, kann ein **Druckgefälle und ein chemisches oder elektrisches Potenzial über der Membran sein.** Membranverfahren beruhen auf einer **physikalischen Trennung**, in der Regel ohne Phasenwechsel und ohne Zugabe von Chemikalien in den Zufuhrstrom, und stellen somit eine Alternative zu herkömmlichen Verfahren der Abwasserbehandlung dar (d. h. Destillation, Fällung, Koagulation/Flockung, Adsorption durch Aktivkohle, Ionenaustausch, biologische Behandlung usw.) [22, 23]. **Der geringe Energieverbrauch, die Verringerung der Anzahl der Verfahrensschritte, die größere Trennleistung und die höhere Qualität des Endprodukts** sind die **Hauptvorteile dieser Verfahren** [22-24]. Allerdings schränkt die **begrenzte chemische, mechanische und thermische Beständigkeit der Membranen ihre Anwendung ein.** Es wurden große Anstrengungen unternommen, um sowohl den Durchfluss als auch die Selektivität der Membranen zu verbessern. Darüber hinaus haben sich einige ForscherInnen auf die **Kontrolle der Membranverschmutzung** konzentriert, welches das Hauptproblem bei der Anwendung von Membranen in der Abwasseraufbereitung darstellt. Infolgedessen hat sich die Leistung erheblich verbessert, und die kommerziellen Märkte für Membranen sind in den letzten Jahren gewachsen.

Der Erfolg von Membranverfahren in der Abwasserbehandlung ist auf die Kompatibilität zwischen verschiedenen Verfahren in integrierten Systemen zurückzuführen. Die Abwasserbehandlung durch integrierte Systeme bietet heutzutage die Möglichkeit, umweltschädliche Auswirkungen zu reduzieren, den Grundwasser- und Energieverbrauch zu senken und wertvolle Verbindungen als Nebenprodukt zurückzugewinnen. **Der Membranbioreaktor (MBR), der Membranfiltration mit biologischer Behandlung kombiniert, gilt als eines der erfolgreichsten hybriden Membransysteme in der Abwasserbehandlung.**

Druckbetriebene Membranverfahren, MBRs sowie eine Kombination von Membranverfahren in Hybridsystemen zur Abwasserbehandlung werden in verschiedenen Branchen eingesetzt.

Rückgewonnenes Wasser für die Bewässerung

Die **Landwirtschaft** ist bei weitem der **größte Wasserverbraucher** weltweit. Auf die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen entfallen 70 % des weltweit verbrauchten Wassers. In mehreren Entwicklungsländern macht die **Bewässerung** bis zu 95 % des gesamten Wasserverbrauchs aus und



spielt eine wichtige Rolle für die Nahrungsmittelproduktion und die Ernährungssicherheit. Die zukünftigen landwirtschaftlichen Entwicklungsstrategien der meisten dieser Länder hängen von der Möglichkeit ab, die Bewässerungswirtschaft zu erhalten, zu verbessern und auszuweiten.

Die Wiederverwendung von Wasser wird in mehreren EU-Mitgliedstaaten, aber auch in Israel, Kalifornien, Australien und Singapur erfolgreich praktiziert. Allerdings wird diese Praxis in der EU bisher unter ihrem Potenzial eingesetzt. **Das begrenzte Bewusstsein für die potenziellen Vorteile** bei den Interessengruppen und der breiten Öffentlichkeit sowie das **Fehlen eines unterstützenden und kohärenten Rahmens** für die Wasserwiederverwendung wurden als zwei der Haupthindernisse für eine weitere Verbreitung dieser Praxis in der EU ermittelt. Aus diesen Gründen hat die Kommission 2018 eine Verordnung vorgeschlagen, um die Wiederverwendung von Wasser zu fördern, wenn sie kosteneffizient und sicher für Gesundheit und Umwelt ist.

Die **neue Verordnung über Mindestanforderungen an die Wiederverwendung von Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung** ist kürzlich in Kraft getreten und soll die Wiederverwendung von Wasser in der EU fördern und erleichtern [25]. Die Kommission hat auch verschiedene Schlüsseldokumente erstellt, die unter ec.europa.eu [18] zu finden sind.

Potenzielle Krankheitserreger müssen aus dem Abwasser entfernt werden. Wenn die pathogenen Organismen bei der Behandlung nicht spezifisch verarbeitet werden, sollte die Verwendung des behandelten Abwassers sorgfältig geprüft werden. **Verschiedene Parameter beeinflussen die effiziente Entfernung von pathogenen und Indikator-Mikroorganismen** [26]. Die Bewertung von Technologien zur Entfernung von Krankheitserregern basiert meist auf Indikatoren für fäkale Verunreinigungen, wie z. B. Gesamtcoliforme, thermotolerante Coliforme oder *Escherichia coli*. **Chlor, Ultraviolett (UV), Ozon, Reifungsteiche, CW, Membranfiltration, Tiefbettfiltration und elektrochemische Verfahren sind Techniken, die zur Desinfektion eingesetzt werden** [26]. Was den Einsatz von **Oxidationsmitteln zur Desinfektion, Natriumhypochlorit (NaClO) und Ozon** betrifft, so finden sich in der Literatur mehrere Praxisbeispiele, die sich auf Rückgewinnungssysteme für die Bewässerung beziehen. Die **Ultraviolettbehandlung** wird in mehreren Leitlinien als die beste verfügbare Technologie zur Desinfektion von aufbereitetem Wasser empfohlen, die nicht mit übermäßigen Kosten verbunden ist, insbesondere bei Anwendungen mit hohem bis mittlerem Kontakt zur Wiederverwendung [26]. Was die biologische Behandlung anbelangt, so werden **Reifeteiche** in mehreren Leitlinien, darunter auch von der WHO, als die beste Praxis angesehen [27]. Diese Methode hat einige Vor- und Nachteile. Weitere Informationen finden Sie unter TheWaterTreatments.com [28].

Als Alternative zu Bettfiltration und chemischer Behandlung ist **die Membranfiltration** eine Technologie, die häufig als wirksam für die Entfernung von Krankheitserregern aus Abwasser für die Bewässerung angesehen wird. Die Ergebnisse zeigen, dass eine vollständige Reduzierung von Viren mit einer **Ultrafiltrationsmembran (UF)** möglich ist, was bedeutet, dass auf ein chemisches Desinfektionsverfahren verzichtet werden könnte [27].

Endokrin wirksame Chemikalien (EWCs) haben in den letzten Jahren aufgrund ihrer schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Tier zunehmend an Aufmerksamkeit gewonnen. Das Vorhandensein von EWCs in Bewässerungswasser und landwirtschaftlichen Böden kann zu einer Verunreinigung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen führen und ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen. Neue Technologien zur Entfernung von EWCs aus Abwässern bieten neue Möglichkeiten für Unternehmer und Start-ups.



Quelle: <https://pixabay.com/images/search/agriculture%20water/?pagi=2>



Energierückgewinnung

Die Energierückgewinnung in Kläranlagen ist ein wichtiger politischer Hebel für die Nachhaltigkeit, da sie den **Kohlenstoff-Fußabdruck** der Abwasserbehandlung **erheblich verringern kann**. Die Abwasserbehandlung erfordert einen **erheblichen Energieverbrauch**. Eine Analyse der im Abwasser enthaltenen chemischen und thermischen Energie zeigt, dass bis zu 14 Mal mehr Energie vorhanden ist, als für die Behandlung benötigt wird. Obwohl es sich dabei größtenteils um minderwertige Wärme handelt, **sollte es theoretisch immer noch möglich sein, in Kläranlagen eine positive Energiebilanz zu erzielen**.

In Kläranlagen kann die **Energierückgewinnung** durch [29-30] Folgendes erfolgen:

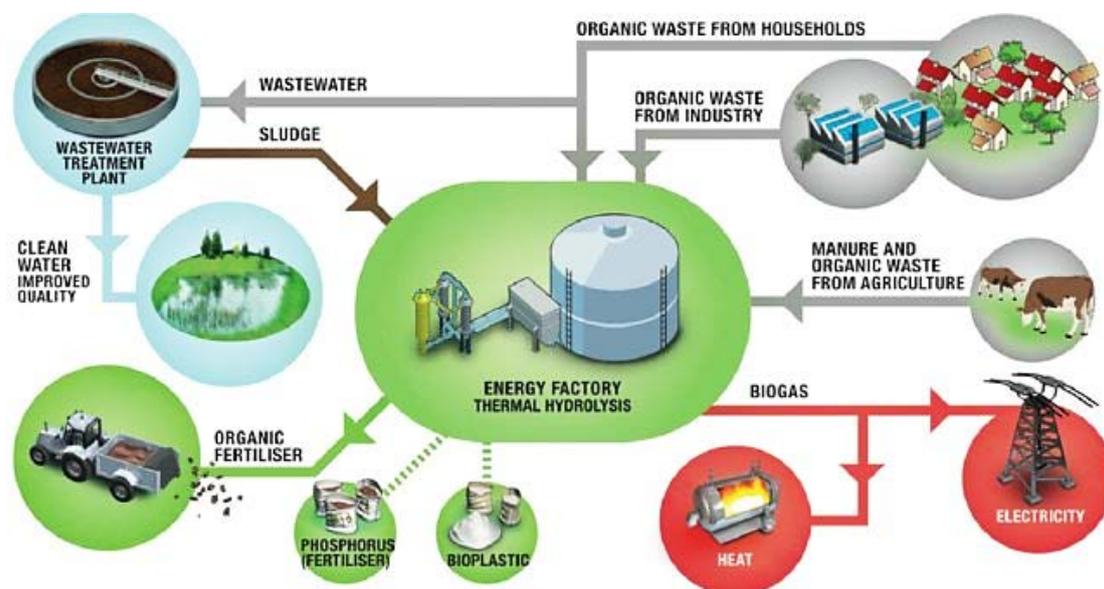
- **Erzeugung von Biogas**. In einem Fermenter wird durch **anaerobe Vergärung (AD)** Biogas erzeugt, das die Hauptenergiequelle in Kläranlagen darstellt. Das Biogas kann zum Heizen und/oder zur Stromerzeugung verwendet werden. **Die Steigerung der Effizienz der anaeroben Vergärung** ist eine gängige Praxis, um die Energieautarkie von Kläranlagen zu erhöhen.
- **Wärmepumpen** in Kläranlagenabwässern, und
- Energierückgewinnung aus verschiedenen Hochtemperaturströmen durch **Wärmetauscher**

Zu der **Optimierung von anaeroben Vergärung** gehören verschiedene Vorbehandlungsmethoden für Klärschlamm, die auf eine höhere biologische Abbaubarkeit des Schlammes abzielen. Die derzeit gängigsten auf dem Markt erhältlichen Technologien sind **mechanische und thermische Vorbehandlungsverfahren**. **Thermische Hydrolyse (THP)-Technologien** wie Cambi, Biothelys, Exelys sind die am häufigsten eingesetzten Technologien zur Verbesserung der anaeroben Faulung in Kläranlagen. Die erste Kläranlage in Nordamerika (Washington, DC, USA), die die Cambi-Technologie einsetzte, verzeichnete eine 50%ige Steigerung der Biogasproduktion. **Die Co-Vergärung von Klärschlamm mit anderen biologisch abbaubaren Abfällen** ist eine weitere Option, die eine Reihe von wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen bietet. Die Co-Vergärung von organischen Abfällen in Kombination mit Klärschlamm ermöglicht es den Kläranlagen nicht nur, energieneutral zu arbeiten, sondern auch die Kosten für die kommunale und industrielle Bewirtschaftung organischer Abfälle zu senken. So wird beispielsweise in Mossberg (Deutschland) seit 10 Jahren eine Co-Vergärung von Klärschlamm mit sechs verschiedenen Co-Substraten durchgeführt. Die Wärme- und Energieproduktion in der Kläranlage von Mossberg ist deutlich höher als der interne Bedarf der Kläranlage. Die überschüssige Energie wird in das Netz eingespeist, während die überschüssige Wärme zur Trocknung von entwässertem Klärschlamm aus anderen Kläranlagen verwendet wird.

Die von den bestehenden autarken Kläranlagen am häufigsten genutzten Technologien sind die „**Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)**“, die gleichzeitig Strom und Wärme aus Biogas erzeugt. Zuverlässige und wirtschaftliche Wärmequellen für den Einsatz in **Wärmepumpen** sind die Abwässer aus kommunalen Kläranlagen [31]. Die Wärme aus **Kläranlagen kann zum Heizen und Kühlen von Wohn, Sozial- und Verwaltungsgebäuden der Anlage und/oder benachbarter Infrastruktur genutzt werden**.

In der dänischen Stadt Odense liefert eine Kläranlage Wärme und elektrische Energie für eine Bevölkerung von fast 400.000 EinwohnerInnen und hat eine 150-prozentige Energiepositivität erreicht, wodurch sie Strom und Wärme für das lokale Netz erzeugt. Ermöglicht wurde die Umstellung durch eine sorgfältige Analyse historischer Betriebsdaten, die eine Reihe von Energieoptimierungsoptionen aufzeigte, von denen viele eher durch Änderungen der Betriebsstrategien als durch umfangreiche Anlagenerneuerungen umgesetzt wurden. Seit den ersten Änderungen wurde eine Reihe von Verbesserungen an der Anlage vorgenommen, so dass eine

Energiebilanz von 200 % erreicht werden konnte. Die technischen Maßnahmen basierten auf einer sehr klaren Einstellung zur "Kohlenstoffneutralität" im gesamten Unternehmen, was wiederum zur Entwicklung und Festlegung eines sehr ehrgeizigen Umweltziels des Unternehmens führte [32].



Quelle: <https://www.billundbiorefinery.com/>

Legende:

Wasterwater Treatment Plant = Abwasserbehandlungsanlage

Wastewater = Abwasser

Sludge = Klärschlamm

Organic waste from Households = Organische Abfälle von Haushalten

Organic Waste from Industry = Organische Abfälle von der Industrie

Manure and organic waste from Agriculture = Gülle und organische Abfälle aus der Landwirtschaft

Biogas = Biogas

Electricity = Elektrizität

Heat = Hitze

Energy Factory Thermal Hydrolysis = Energiefabrik – thermische Hydrolyse

Bioplastic = Bioplastik

Phosphorus (Fertiliser) = Phosphorus (Düngemittel)

Organic Fertiliser = Organisches Düngemittel

Clean Water Improved Quality = Klares Wasser/ verbesserte Qualität



Fallbeispiele

Wir stellen hier 3 Fallstudien von UnternehmerInnen und Start-ups vor. Die hier vorgestellten Fallstudien wurden auf der Grundlage ihrer **Innovationskraft** und der von ihnen verwendeten **Technologie**, der **Kreislauffähigkeit**, der **Replizierbarkeit**, des **Ausmaßes der Auswirkungen** und der **Reichweite** ausgewählt. In jeder Fallstudie heben wir die wichtigsten Herausforderungen und möglichen Lösungen hervor.

Fallbeispiel 1: Vom Abwasser zum landwirtschaftlichen Wasser - eine innovative Technologie zur Kombination von Aufbereitung und Wiederverwendung in der Landwirtschaft

Herausforderung

Wie wir bereits erwähnt haben, ist die Landwirtschaft der bei weitem größte Wasserverbraucher. Die Verwendung von gereinigtem Abwasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft kann den landwirtschaftlichen Bedarf ersetzen und den lokalen Wasserstress verringern. Andererseits hängen die zukünftigen landwirtschaftlichen Entwicklungsstrategien der meisten Entwicklungsländer von der Möglichkeit ab, die Bewässerungslandwirtschaft zu erhalten, zu verbessern und auszuweiten.

Im **Projekt RichWater** hat eine Gruppe kleiner Start-up-Unternehmen ihr Wissen gebündelt, um ein integriertes Konzept für die Kombination von **Aufbereitung und Bewässerung in einem einzigen System zu entwickeln, das die Nährstoffe optimal nutzen kann**. Ihr Ziel ist die Entwicklung eines kommerziellen Prototyps in Südspanien zur Wiederverwendung von kommunalen Abwässern für Bewässerungszwecke. Ziel ist es, eine Win-Win-Situation für zwei Sektoren (Abwasserbehandlung und Landwirtschaft) zu schaffen, indem öffentliche Abwässer in ein wertvolles Endprodukt umgewandelt werden.

Das integrierte System besteht aus einem kostengünstigen und energieeffizienten **MBR (Membranbioreaktor)**, der pathogenfreies und nährstoffreiches Bewässerungswasser erzeugt.

Das Klärsystem ist angeschlossen an:

- Das **Mischmodul** (für maßgeschneidertes Mischen mit Frischwasser und Zusatzdünger)
- Die **Düngungseinheit**
- Ein **Überwachungs-/Steuermodul** mit Bodensensoren zur Gewährleistung einer bedarfsgerechten und fallweisen Düngung.

Durch die Kombination dieser Module ist ein komplettes und schlüsselfertiges System für die sichere Wiederverwendung von Abwasser in der Landwirtschaft verfügbar.

Ergebnisse

- Produktion von gereinigtem Abwasser (d.h. wiedergewonnenem Wasser),
- Geringer Energieverbrauch
- Bewässerung von 3 Zielkulturen im Versuchsfeld: Tomate, Mango und Avocado,

- Aufbereitetes Wasser liefert 50 % der wichtigsten Makronährstoffe (N, P, K) für die Zielkulturen,
- Agronomische Studien zum Vergleich von Kulturen, die mit Abwasser und konventionellem Wasser bewässert werden.
- Kosten-Nutzen-Analyse und Machbarkeitsstudie,
- Marktstrategie.

Gelernte Lektionen

Die Anwendung der Grundsätze der Kreislaufwirtschaft hat gezeigt, dass wiedergewonnenes Wasser für die Bewässerung verwendet werden kann. Gleichzeitig können die Zielpflanzen mit 50 % der wichtigsten Makronährstoffe (N, P, K) versorgt werden. Obwohl die anfänglichen Investitionen hoch sind, ist der Energieverbrauch gering und führt dennoch zu einem wirtschaftlichen Nettonutzen.



Quelle: <https://richwater.eu/gallery/>



Fallstudie 2: Eine fortschrittliche Abwasserbehandlungstechnologie zur Beseitigung gefährlicher organischer Schadstoffe

Herausforderung

Hormonaktive Stoffe finden sich in Antibabypillen, Kosmetika, Waschpulver und vielen anderen Produkten, die normalerweise im Haushalt verwendet werden. Wenn endokrine Disruptoren in die Natur und anschließend ins Abwasser gelangen, werden Fische, Kakerlaken und Schnecken intersexuell. Die Verweiblichung von Fischen wurde in jüngster Zeit in Dänemark und anderen Ländern festgestellt. Um zu verhindern, dass solche hormonell wirksamen Stoffe aus den Auslässen von Kläranlagen in die Natur gelangen, ist eine kosteneffiziente Methode erforderlich. Eine Gruppe kleiner UnternehmerInnen hat gemeinsam ein System entwickelt, mit dem sich pathogene Mikroorganismen und endokrine Stoffe aus dem Abwasser entfernen lassen.

Die Grundidee ist die **Einführung fortschrittlicher Fotooxidationsverfahren** in Kläranlagen unter Verwendung von UV-Lampen. Das Licht von Ultraviolettlampen ist in der Lage, Bakterien zu zerstören und chemische Stoffe mit Hilfe von Oxidationsmitteln, z. B. Ozon oder Chlordioxid, aus dem Abwasser zu entfernen.

Auf diese Weise können Kläranlagen ungefährliche Abwässer produzieren. Merkmale der Methode sind:

- Einfaches System zur **Desinfektion** von Abwässern,
- Einfaches System zur **Entfernung von endokrinen Disruptoren** und anderen gefährlichen Verbindungen,
- **Flexibles System,**
- **Einfach** zu installieren,
- **Fortschrittliche Prozesssteuerungstechnologie,**
- **UV-Lampen** mit hoher Energieintensität,
- **Niedrige Investitionskosten,**
- **Niedrige Betriebskosten,**
- Umwelt und Gesundheit,
- Ausgezeichnete Badequalität,
- **Keine Risiken** für die empfindliche Wasserfauna und die Ökosysteme.

Ergebnisse

- **Desinfektion:** Dieses System hat gezeigt, dass es möglich ist, das Abwasser aus Kläranlagen frei von pathogenen Mikroorganismen zu halten, die Qualität der Badegewässer zu gewährleisten und die EG-Richtlinie zu erfüllen.
- **Entfernung von endokrinen Stoffen:** Das System eignet sich für die Entfernung von hormonell wirksamen Stoffen und anderen gefährlichen Verbindungen aus dem behandelten Abwasser (Entfernungsrate von 99,8 %).

Gelernte Lektionen

Die vorgeschlagene technische Lösung hat gezeigt, dass es möglich ist, mit geringem Kapitaleinsatz die Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie zu erfüllen und sicherzustellen, dass der Gehalt an endokrinen Disruptoren mit östrogenen Aktivität im Abwasser gering ist. Diese Erfahrung schafft Möglichkeiten für UnternehmerInnen und Start-ups, andere technische Lösungen auf der Grundlage der Endnutzung von Wasser zur Beseitigung von Wasserschadstoffen umzusetzen.

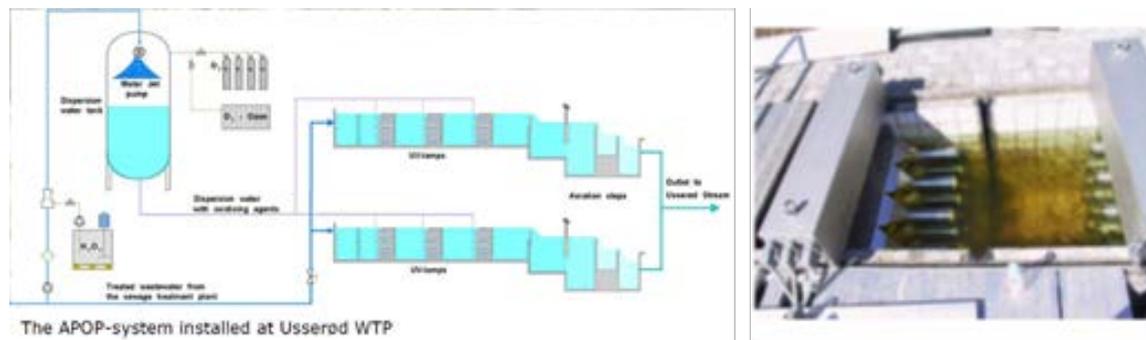


Abbildung: APOP System (das APOP- System installiert als ussered WTP)

Quelle: <https://www.slideshare.net/NIDHISRIVASTAVA52/advanced-photo-catalytic-oxidationwastewater>

Fallstudie 3: Wassersparende Verfahren für die Textilproduktion

Herausforderung

Wasser ist eine wichtige Ressource in Produktionsprozessen, auch **im Textilsektor**. Die Textilindustrie ist bei praktisch allen Herstellungsschritten auf Wasser angewiesen. Farbstoffe, Spezial- und Veredelungschemikalien, die bei der Herstellung von Kleidung verwendet werden, werden alle in Wasserbädern auf die Stoffe aufgetragen. Das bedeutet, dass zum **Färben, Ausrüsten und Waschen von Kleidung große Mengen Wasser** verbraucht werden. Die Verringerung des Wasserverbrauchs durch die Einführung nachhaltiger Produktionsverfahren kann daher sowohl für Unternehmen als auch für die Gemeinden, in denen sie tätig sind, von Vorteil sein. Als Reaktion auf den Wasserverbrauch und die Wasserverschmutzung durch die Textilindustrie haben viele Unternehmen begonnen, nach alternativen Lösungen zu suchen.

Hier stellen wir eine Fallstudie über Wassersparmaßnahmen in Färbeanlagen in einer Textilfabrik in Kroatien vor. Junge UnternehmerInnen analysierten alle Prozesse und wählten die besten Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs im Unternehmen aus. Sie konzentrierten sich auf die **Wasch- und Spülprozesse**, da beide Prozesse in der Textilindustrie wichtig sind, um Verunreinigungen im Gewebe auf ein vorgegebenes Niveau zu reduzieren. **Um den Wasserverbrauch in diesen Prozessen zu senken, wurden erfolgreiche Methoden zur Batch- und kontinuierlichen Wasserreduzierung gefunden.** Die in einem Wassereinsparungsprogramm verwendete Ausrüstung ist relativ kostengünstig; in den meisten Fällen genügen einige Ventile, Rohre, kleine Pumpen und Tanks. Die Betriebskosten dieser Systeme sind im Allgemeinen sehr niedrig. Die **routinemäßige Wartung** und in einigen Fällen auch der Strom für die Pumpen können teurer sein. Maßnahmen zur Wassereinsparung führen zu [33]:

- Senkung der Verarbeitungskosten,
- Verringerung der Kosten für die Abwasserbehandlung,
- Verringerung des thermischen Energieverbrauchs,
- Verringerung des Verbrauchs an elektrischer Energie,
- Verringerung der Schadstoffbelastung.

Ergebnisse

Durch die Anwendung dieser Maßnahmen konnten **erhebliche Einsparungen beim Wasser selbst** (90 % des Wassers) sowie bei den Kosten für die Ableitung und den Zulauf des Wassers erzielt werden.

Diese integrativen Techniken können auch in anderen Textilindustrien eingesetzt werden. Die Amortisationszeit für ein Wassersparsystem hängt von der eingesparten Wassermenge, den Abwassergebühren und den Kosten für Rohwasser und Abwasseraufbereitung ab.

Gelernte Lektionen

Wassereinsparung und -wiederverwendung sind eine Notwendigkeit für die Textilindustrie. Es ist möglich, die in den Textilfabriken verbrauchte Wassermenge zu reduzieren. Dies senkt die Kosten für die fertigen Textilerzeugnisse, da die Gebühren für Frischwasser und Abwasser gesenkt werden. Die für die Verarbeitung von Textilien benötigte Wassermenge ist von Fabrik zu Fabrik unterschiedlich und hängt von der Art des Stoffes, des Verfahrens, der Ausrüstung und des Farbstoffs ab. Das schafft viele Möglichkeiten für UnternehmerInnen und Start-ups, ihren Wasserverbrauch an ihr eigenes Textilgeschäft anzupassen.



Quelle: <https://www.euronews.com/next/2017/03/20/dyed-without-waste-developing-a-process-to-save-water-in-the-textile-industry>



Referenzen

- [1] ARUP, Ellen MacArthur Foundation, AnteaGroup, Water and Circular Economy: A White Paper. 2018. [Online]. Available: https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/w/water_and_circular_economy_whitepaper.pdf
- [2] H. Rashidi, A. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini, N. M. Nik Sulaiman, J. Tookey, and N. A. Hashim, "Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 845–856, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.104.
- [3] W. Mo and Q. Zhang, "Energy-nutrients-water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants," *J. Environ. Manage.*, vol. 127, pp. 255–267, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.007.
- [4] Commission Staff Working Document, Summary of the Responses to the Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus [COM(2013) 517], 2014. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD\(2014\)263%20final.pdf](http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD(2014)263%20final.pdf).
- [5] D. Cordell, J. O. Drangert, and S. White, "The story of phosphorus: Global food security and food for thought," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 2, pp. 292–305, 2009, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- [6] European Commission, EU Reference Scenario Energy, Transport and GHG emissions, Trends to 2050. 2016. [Dataset] Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf
- [7] A. R. Lemos, "Emerging-Tech-Wastewater Treatment-Management," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/emerging-tech-wastewater-treatment-management.pdf>
- [8] Eurostat 2017, Sewage sludge production and disposal, 2017. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=env_ww_spd
- [9] US-EPA, "Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503," *Off. Enforc. Compliance Assur.*, pp. 1–61, 1994. Available: <https://www.epa.gov/biosolids/guide-land-appliers-requirements-federal-standards-use-or-disposal-sewage-sludge-40-cfr>
- [10] Q. Zhang, J. Hu, D. J. Lee, Y. Chang, and Y. J. Lee, "Sludge treatment: Current research trends," *Bioresour. Technol.*, vol. 243, pp. 1159–1172, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.070.
- [11] S. Hukari, L. Hermann, and A. Nättorp, "From wastewater to fertilisers - Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling," *Sci. Total Environ.*, vol. 542, pp. 1127–1135, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.064.
- [12] C. Kabbe, F. Kraus and C. Remy, *Review of promising methods for phosphorus recovery and recycling from wastewater. In Proceedings of the International Fertiliser Society*. UK, London, 23–24, pp. 1–29, 2015.
- [13] W. Moerman, M. Carballa, A. Vandekerckhove, D. Derycke, and W. Verstraete, "Phosphate removal in agro-industry: Pilot- and full-scale operational considerations of struvite crystallization," *Water Res.*, vol. 43, no. 7, pp. 1887–1892, 2009, doi: 10.1016/j.watres.2009.02.007.
- [14] Z. Bradford-Hartke, J. Lane, P. Lant, and G. Leslie, "Environmental Benefits and Burdens of Phosphorus Recovery from Municipal Wastewater," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 14, pp. 8611–8622, 2015, doi: 10.1021/es505102v.
- [15] Y. Ye et al., "Nutrient recovery from wastewater: From technology to economy," *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 11, no. April, p. 100425, 2020, doi: 10.1016/j.biteb.2020.100425.



- [16] S. Daneshgar, A. Buttafava, A. Callegari, and A. G. Capodaglio, "Economic and energetic assessment of different phosphorus recovery options from aerobic sludge," *J. Clean. Prod.*, vol. 223, pp. 729–738, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.195.
- [17] W.J. Gao, M.N. Han, X. Qu, C. Xu, B.Q. Liao, "Characteristics of wastewater and mixed liquor and their role in membrane fouling", *Bioresour. Technol.*, vol. 128, pp. 207-214, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.075.
- [18] European Commission, Water Reuse - Environment. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>
- [19] S. Lyu, W. Chen, W. Zhang, Y. Fan, and W. Jiao, "Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 39, pp. 86–96, 2016, doi: 10.1016/j.jes.2015.11.012.
- [20] L. Pintilie, C. M. Torres, C. Teodosiu, and F. Castells, "Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 139, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.209.
- [21] N.N. Li, A.G. Fane, W.W. Ho and T. Matsuura, *T. Advanced Membrane Technology and Applications, Chapter: Membranes for Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, 2008. doi: 10.1002/9780470276280
- [22] E. Drioli and L. Giorno, *Membrane Operations: Innovative Separations and Transformations*, Wiley-VCH, 2009. doi: 10.1002/9783527626779
- [23] C. de Moraes Coutinho, M. C. Chiu, R. C. Basso, A. P. B. Ribeiro, L. A. G. Gonçalves, and L. A. Viotto, "State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review," *Food Res. Int.*, vol. 42, no. 5–6, pp. 536–550, 2009, doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.010.
- [24] D. Norton-Brandão, S. M. Scherrenberg, and J. B. van Lier, "Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies," *J. Environ. Manage.*, vol. 122, pp. 85–98, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.012.
- [25] The European Parliament and the Council, "Regulation (EU) 2020/741, Minimum requirements for water reuse," *Off. J. Eur. Union*, vol. 177/33, no. May 2020, pp. 32–55, 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741&qid=1623137719230>
- [26] D. Bixio and T. Wintgens, European Commission, Water Reuse System - Management Manual - AQUAREC, , Directorate-General for Research, European Commission Brussels, Belgium. 2006. [Online]. Available: <https://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Water%20Reuse%20System%20Management%20Manual.%20AQUAREC.pdf>
- [27] WHO, Guidelines for the Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection. WHO Technical Reporting Service, Rome, Italy. (Executive summary), 1989.
- [28] Water Treatment, Advantages and Disadvantages of WSP Systems, in Sewage Treatment. [Online]. Available: <https://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/advantages-disadvantages-wsp-systems/>
- [29] K. Zhang and K. Farahbakhsh, "Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse," *Water Res.*, vol. 41, no. 12, pp. 2816–2824, 2007, doi: 10.1016/j.watres.2007.03.010.
- [30] G. Bertanza, M. Canato, and G. Laera, "Towards energy self-sufficiency and integral material recovery in waste water treatment plants: Assessment of upgrading options," *J. Clean. Prod.*, vol. 170, pp. 1206–1218, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.228.



[31] G. Zhen, X. Lu, H. Kato, Y. Zhao, and Y. Y. Li, "Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2016, pp. 559–577, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.187.

[32] O. Culha, H. Gunerhan, E. Biyik, O. Ekren, and A. Hepbasli, "Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review," *Energy Build.*, vol. 104, pp. 215–232, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.013.

[33] M. A. Shaikh, "Water conservation in textile industry," *Pakistan Text. J.*, vol. 58, no. 11, pp. 48–51, 2009. [Online]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SHAKIH%202009%20Water%20conservation%20in%20the%20textile%20industry.pdf



Quiz

1. Wählen Sie aus der folgenden Liste das Wort aus, das kein Merkmal der 3R-Prinzipien der Kreislaufwirtschaft darstellt:

- a. Verringerung
- b. Wiederverwendung
- c. Wiederverwertung
- d. **Neu ausrichten**

2. Industrien und Fabriken verschmutzen das Wasser mit:

- a. Schwermetallen
- b. Farbstoffen
- c. Organischen Stoffen
- d. **Alle der oben genannten Punkte**

3. Welches der folgenden Verfahren ist ein Klärwerksprozess?

- a. Physikalische/chemische Behandlung
- b. Biologische Behandlung
- c. Tertiäre Behandlung
- d. **Alle der oben genannten Punkte**

4. Warum wird behandeltes Abwasser wiederverwendet?

- a. **Weil mit dem raschen Anstieg der Weltbevölkerung, der Beschleunigung der Urbanisierung und der globalen Erwärmung diese Ressource knapp wird.**
- b. Weil die Entsalzung geringere Investitionskosten und Energie erfordert, was die Treibhausgasemissionen reduziert.
- c. Weil die Wiederverwendung von Abwasser keine Behandlung erfordert
- d. Alle oben genannten Punkte

5. Welcher der folgenden Sätze ist nicht zutreffend?

- a. **Da Klärschlämme sehr nützliche Stoffe für die Landwirtschaft enthalten, können sie ohne Kontrolle verwendet werden.**
- b. Die EU hat Regulierungsmaßnahmen für die Ausbringung von Klärschlamm im Boden eingeleitet.
- c. Biofeststoffe verbessern die Bodeneigenschaften, indem sie die organische Substanz des Bodens, die Aggregation der Bodenpartikel, die Bodenstruktur und die Porosität erhöhen und die Schüttdichte verringern.



d. Die Hauptprobleme im Zusammenhang mit der Entsorgung von Klärschlamm sind Gesundheits- und Sicherheitsfragen, Geruchsbelästigung und andere Bedenken der Öffentlichkeit.

6. Kann die Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser aus Rohabwasser, halbbehandelten Abwasserströmen und Klärschlamm erfolgen?

- a. **Ja**
- b. Nein

7. Für die Nährstoffrückgewinnung bieten die membranbasierten Technologien eine hohe technische und wirtschaftliche Machbarkeit. Welches der folgenden Verfahren wird nicht für die Nährstoffrückgewinnung eingesetzt?

- a. Vorwärtsosmose
- b. Membrandestillation
- c. Elektrodialyse
- d. **Kristallisationsverfahren**

8. Welche Verfahren können zur Entfernung von Krankheitserregern aus Abwasser eingesetzt werden?

- a. Rohabwasser
- b. **Ultraviolette (UV) Lampen**
- c. Gereinigtes Wasser
- d. Klärschlamm

9. In Kläranlagen kann die Energierückgewinnung mit verschiedenen Methoden erfolgen. Wählen Sie aus der folgenden Liste die Antwort aus, die falsch ist.

- a. Biogaserzeugung
- b. **Filter aus Sand und Anthrazit**
- c. Wärmepumpen in Kläranlagenabwässern
- d. Energierückgewinnung aus verschiedenen Hochtemperaturströmen durch Wärmetauscher

10. Welche der folgenden Abwasserbehandlungen wird nicht als Wasserreinigungstechnologie für den Einsatz in der Industrie verwendet?

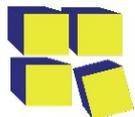
- a. Mikrofiltration
- b. Umkehrosmose
- c. Ionenaustausch
- d. **Alle der oben genannten Punkte**



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI



Centrum Wspierania
Edukacji
i Przedsiębiorczości



QUARTER MEDIATION



LUDOR
ENGINEERING



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

"The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

Project Number: 2020-1-ES01-KA202-083137