

IO1-module

“Het hergebruik van water uit afvalwaterzuiveringsinstallatie”

door Universitat Rovira i Virgili



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

2020-1-ES01-KA202-083137



Inhoud

Inleiding	2
Circulaire economie in afvalwaterzuiveringsinstallaties.....	3
Wat zijn de belangrijkste afvalwaterzuiveringsprocessen?	5
Innovatie en circulaire economie in afvalwaterzuiveringsinstallaties: uitdagingen en belemmeringen.	7
Landtoepassing van biologische vaste stoffen	8
Behandelingen die nodig zijn voor het op het land brengen van biologische vaste stoffen .	9
Nutriëntenterugwinning	11
Nieuwe technologieën in nutriëntenterugwinning.....	12
Teruggewonnen water	13
Teruggewonnen water voor industriële processen	15
Teruggewonnen water voor irrigatie	16
Energieterugwinning	18
Casestudy's	20
Casestudy 1: Van afvalwater naar landbouwwater - een innovatieve technologie om behandeling en hergebruik in de landbouw te combineren	21
Casestudy 2: Een geavanceerde technologie voor de behandeling van afvalwater voor de verwijdering van gevaarlijke organische verontreinigingen	23
Casestudy 3: Waterbesparende processen voor textielproductie	25
Referenties	27
Quiz.....	30



Inleiding

We worden nu geconfronteerd met veel uitdagingen op het gebied van de levering van hulpbronnen en de assimilatie van afval. Om daaraan het hoofd te bieden, gaat het Europese politieke discours in op de toepassing van de circulaire economie en roept het op tot focus op innovatie in relatie tot het bedrijfsleven en vooral de industrie. Afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's) kunnen een belangrijk onderdeel zijn van circulaire duurzaamheid door integratie van energieproductie en terugwinning van hulpbronnen tijdens de productie van schoon water. In de nabije toekomst moeten RWZI's 'ecologisch duurzame' technologische systemen worden. De laatste tijd zijn veel initiatieven en start-ups op het gebied van Circulaire Economie flink toegenomen.

In deze module gaan we in op een van de belangrijkste uitdagingen op het gebied van afvalwater: het omzetten van afvalwater in verschillende hulpbronnen door middel van initiatieven die de circulaire economie bevorderen.

Het doel van deze module is om de toepassing van nieuwe concepten en technologieën te presenteren om de duurzaamheid van afvalwaterbeheer op lange termijn te verbeteren. Innovatieve ervaringen met het toepassen van de circulaire economie op het afvalwatergebied worden gepresenteerd om de kennis van ondernemers en start-ups te vergroten en hen te inspireren voor hun toepassing.

In deze module presenteren we gemeenschappelijke benaderingen tussen initiatieven voor de circulaire economie en afvalwater, verkennen we gebieden met gemeenschappelijke kansen en hoe het toepassen van ideeën voor de circulaire economie meer waarde kan genereren. We identificeren ook projecten, benaderingen en doelen die zijn afgestemd op zowel duurzaam waterbeheer als circulaire economie.

Aan het einde van deze module leer je:

- De principes van circulaire economie en afvalwaterzuiveringsinstallaties
- De belangrijkste afvalwaterzuiveringsprocessen
- De toepassing van circulaire economie in een RWZI: uitdagingen en barrières
- Aan het einde van de module hebben we 3 casestudies opgenomen die in meer detail worden geanalyseerd.

Voor een volledig begrip van deze module raden we aan enige voorkennis over het onderwerp te hebben.



Circulaire economie in afvalwaterzuiveringsinstallaties

De 'Agenda: 2030' van de Verenigde Naties heeft universele toegang tot schoon water gedefinieerd als een van de doelstellingen voor duurzame ontwikkeling en moedigt regeringen aan om afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's) op te richten om de kwaliteit van het water te verbeteren en de toegang tot drinkwater te waarborgen voor mensen die te maken hebben met ernstige watergerelateerde problemen. Waterbronnen over de hele wereld raken steeds meer vervuild door het ontbreken van strikte voorschriften voor industrieën voor afvalverwerking. Industrieën en fabrieken die industrieel afval, zware metalen, kleurstoffen, organische stoffen, bacteriën en giftige stoffen in waterbronnen lozen, vervuilen het water verder.

Principes van circulaire economie

Om elk initiatief met betrekking tot de circulaire economie te overwegen, is het noodzakelijk om te wijzen op de correlatie tussen circulaire economie en afvalwaterzuivering. Om ondernemers te helpen focussen op de transitie naar een circulaire economie en oplossingen te ontwikkelen met experts op het gebied van watersystemen, moet er een gemeenschappelijk begrip zijn van de belangrijkste concepten.

Circulaire economie bestaat uit activiteiten die waarde behouden in de vorm van energie, arbeid en materialen. Circulaire economie komt voornamelijk tot stand via drie belangrijke "acties", namelijk de zogenaamde 3R's Principles: Reductie, Hergebruik en Recyclen (Reduction, Reuse en Recycle).

- 1) Het **reductieprincipe** heeft tot doel de input van primaire energie, grondstoffen en afval te minimaliseren door de efficiëntie in productie- (zogenaamde eco-efficiëntie) en consumptieprocessen te verbeteren, b.v. invoering van betere technologieën in RWZI.
- 2) Het **hergebruikprincipe** verwijst naar "elke handeling waarbij producten of componenten opnieuw worden gebruikt voor hetzelfde doel waarvoor ze zijn ontworpen". Zo hebben watertekorten in aride en semi-aride regio's in sommige delen van de wereld geleid tot hergebruik van water als alternatieve watervoorziening.
- 3) Het **recyclingprincipe** verwijst naar "elke terugwinningshandeling waarbij afvalstoffen opnieuw worden verwerkt tot producten, materialen of stoffen, hetzij voor de oorspronkelijke doeleinden, hetzij voor andere doeleinden. Recycling van RWZI-slib biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om te profiteren van nog bruikbare hulpbronnen en de hoeveelheid afval die moet worden verwerkt en/of verwijderd te verminderen, waardoor ook de bijbehorende milieu-impact wordt verminderd.

Binnen het RWZI-raamwerk kunnen **drie aanvullende principes** die zijn ontwikkeld door de Ellen MacArthur Foundation [1] worden toegevoegd aan de **3R-principes**:

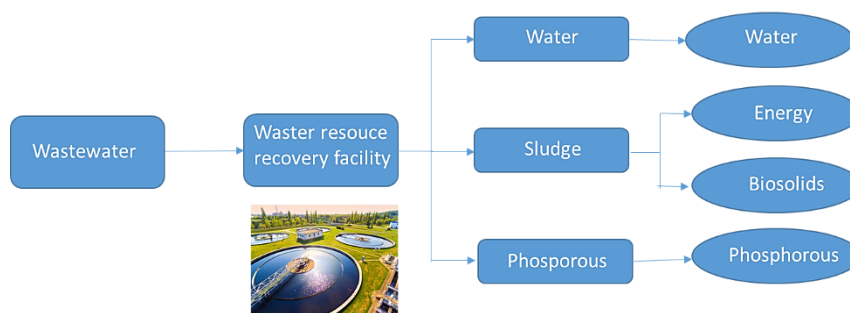
- 1) **Het juiste ontwerp** benadrukt het belang van de ontwerpfase bij het vinden van oplossingen om verspilling en verontreiniging te voorkomen. Dit principe wordt toegepast in RWZI's en optimaliseert de hoeveelheid energie, mineralen en chemicaliën die in de besturingssystemen worden gebruikt.
- 2) **Middelen in gebruik houden** betekent het optimaliseren van de prestaties van de middelen van de RWZI's (gebruik en hergebruik van water, energie, terugwinning van nutriënten en chemicaliën). Bijvoorbeeld:
 - **Optimalisatie van de winning van energie of hulpbronnen** uit het watersysteem,
 - **Maximalisering van het hergebruik ervan.** Volgens de huidige nationale wetgeving over de hele wereld zijn de hergebruikdoeleinden uiteenlopend - variërend van landbouw,



industriële, stedelijke, recreatieve, milieuvriendelijke tot zelfs menselijke consumptie. Op dit moment wordt ongeveer 80% van het afvalwater zonder enige vorm van behandeling in de waterwegen van de wereld geloosd.

- **Optimalisatie van de waarde gegenereerd in de interfaces van watersysteem** (valorisatie van zuiveringsslib) met andere systemen zoals landbouw en andere toepassingen,
 - **Terugwinning van nutriënten** uit afvalwater en hun gebruik als mest.
- 3) **Herstel van natuurlijk kapitaal** - Dit principe is gebaseerd op het feit dat we het milieu niet alleen moeten beschermen, maar ook actief moeten verbeteren. Wat we moeten doen is om:
- Behoud en verbetering van het natuurlijk kapitaal (bijv. preventie van vervuiling, kwaliteit van afvalwater, enz.), en
 - Zorgen voor minimale verstoring van natuurlijke watersystemen door menselijke interacties en gebruik.

WASTE WATER AND CIRCULAR ECONOMY



Bron: Own illustration



Wat zijn de belangrijkste afvalwaterzuiveringsprocessen?

Afvalwaterzuivering is de procedure waarbij water zodanig wordt verwerkt dat het direct kan worden hergebruikt of geloosd in de waterkringloop met een minimale negatieve impact op het milieu. Afvalwater zit vol verontreinigingen, waaronder bacteriën, chemicaliën en andere gifstoffen. De behandeling ervan is gericht op het verminderen van de verontreinigingen tot aanvaardbare niveaus om het water veilig te maken voor lozing in het milieu. De processen voor afvalwaterbehandeling zijn als volgt:

Fysische/chemische behandelingsprocessen

Fysische processen **verwijderen vaste stoffen** uit afvalwater terwijl het door schermen (of filtermedia) stroomt, of vaste stoffen worden verwijderd door bezinking door de zwaartekracht of luchtflotatie. Deeltjes worden vervolgens vastgehouden aan het oppervlak en kunnen worden verwijderd. Chemicaliën kunnen ook worden gebruikt in afvalwaterzuivering om veranderingen in de verontreinigende stoffen teweeg te brengen die het vermogen om ze te verwijderen vergroten. Veranderingen kunnen ertoe leiden dat stoffen vlokken vormen of een zwaardere deeltjesmassa om de verwijdering door fysische processen te vergemakkelijken. Het slib - het vaste afval dat aan het oppervlak van de tanks bezinkt - wordt verwijderd door grote schrapers en naar het midden van de cilindrische tanks geduwd en later uit de tanks gepompt voor verdere behandeling. Het resterende water wordt vervolgens opgepompt voor secundaire behandeling (ook wel biologisch proces genoemd).

Biologische behandelingsprocessen

Biologische zuiveringsprocessen (ook wel actiefslibproces genoemd) zijn systemen die micro-organismen gebruiken om **organische verontreinigingen uit afvalwater af te breken**. Lucht wordt in beluchtingstanks gepompt die het afvalwater mengen met het micro-organisme, waardoor bacteriën en andere microben zich verspreiden en de resterende organische stof consumeren. De micro-organismen metaboliseren voedingsstoffen, colloïden en opgeloste organische stoffen, wat resulteert in gezuiverd afvalwater. Overtollige microben worden door fysische processen uit het gezuiverde afvalwater verwijderd. Dit proces leidt tot de productie van grote deeltjes die neerslaan op de bodem van de tanks (biologisch slib).

Behandeling van biologische vaste stoffen

De vaste stof die na de primaire en secundaire behandelingsfase bezinkt, wordt naar vergisters geleid. De vergisters worden op kamertemperatuur verwarmd. De vaste afvalstoffen worden vervolgens behandeld waar ze **anaërobe worden vergist**. Tijdens dit proces worden methaangas geproduceerd en ontstaan voedingsrijke bio-vaste stoffen die worden gerecycled en ontwaterd naar lokale bedrijven. Het **methaangas**, een bijproduct van de verwerking van bio-vaste stoffen, wordt gewoonlijk gebruikt als energiebron in de zuiveringsinstallaties. Het kan worden gebruikt om **elektriciteit te produceren** in motoren of om eenvoudig fabrieksapparatuur aan te drijven. Dit gas kan ook worden gebruikt in ketels om warmte op te wekken voor vergisters.

Tertiaire behandeling

De tertiaire behandelingsfase kan tot 99 procent van de onzuiverheden uit het afvalwater verwijderen. De behandeling hangt af van het eindgebruik van het water (drinken, landbouw, industrie, enz.). Dit levert afvalwater op dat bijna de kwaliteit van drinkwater heeft. Helaas is dit

proces vaak een beetje **duur** omdat het **speciale apparatuur, chemicaliën, een constante energietoevoer en goed opgeleide en hoogopgeleide operators vereist**.

Desinfectie

Na de fysisch/chemische en biologische processen zijn er nog steeds micro-organismen in het resterende gezuiverde afvalwater. Om ze te elimineren, moet het afvalwater worden gedesinfecteerd in tanks die een mengsel van **chloor** en **natriumhypochloriet** bevatten. Het effluent (behandeld afvalwater) komt later via de lokale waterlopen in het milieu terecht. Dit water kan nu worden gebruikt in industrieën, voor irrigatie en andere doeleinden.

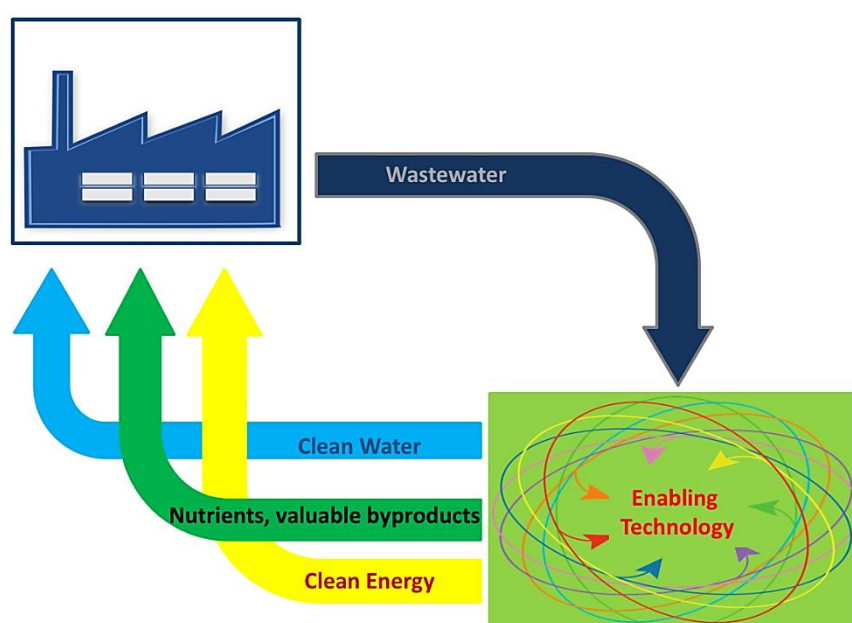


Bron: <https://pixabay.com/images/search/wastewater%20treatment%20plant/>

Innovatie en circulaire economie in afvalwaterzuiveringsinstallaties: uitdagingen en belemmeringen.

Het watersysteem maakt deel uit van milieu-, landbouw-, industriële en gemeentelijke systemen. Weten hoe deze systemen met elkaar zijn verbonden, is van cruciaal belang voor het identificeren van kansen voor de circulaire economie die zich ook binnen het watersysteem en andere gerelateerde systemen voordoen.

De afvalwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) kunnen een belangrijk onderdeel zijn van circulaire duurzaamheid door integratie van energieproductie en terugwinning van hulpbronnen tijdens de productie van schoon water [2, 3]. In de nabije toekomst zullen RWZI's 'ecologisch duurzame' technologische systemen worden. Momenteel bepalen de wereldwijde behoefte aan nutriënten en de terugwinning van water en energie uit afvalwater de ontwikkeling van de afvalwaterindustrie [4-6]. Deze figuur van Cerahelix.com toont de watercyclus in een circulaire economiemodel:



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

Om de uitdaging aan te gaan om de vervuiling van afvalwater te verminderen, vooruitlopend op de bevolkingsgroei, veranderingen in industriële processen en technologische ontwikkelingen, heeft de US Environmental Protection Agency (US EPA) een document opgesteld om informatie over recente ontwikkelingen en innovatieve technieken voor iedereen beschikbaar te maken [7]. Het doel van het document is duidelijk: **een gids bieden voor personen die op zoek zijn naar informatie over innovatieve en opkomende technologieën voor afvalwaterzuivering**. De gids somt nieuwe technologieën op, beoordeelt hun verdiensten en kosten en verschaft bronnen voor verder technologisch onderzoek. Dit document moet als richtlijn dienen voor eigenaren/nutsbedrijven, operators, planners en adviseurs van afvalwaterinstallaties.

In de volgende paragrafen presenteren we de belangrijkste middelen die kunnen worden verkregen uit RWZI's en de mogelijkheden voor ondernemers, terwijl we de sterke en zwakke punten van deze processen laten zien.



Landtoepassing van biologische vaste stoffen

Biosolids (zuiveringsslib) zijn gemaakt van verbindingen die waardevol zijn voor gebruik in de landbouw (organische stof, stikstof, fosfor, kalium en micronutriënten zoals calcium, zwavel en magnesium), en verontreinigende stoffen zoals zware metalen, organische verbindingen en ziekteverwekkers. Hoewel ze een waardevolle hulpbron kunnen zijn, moeten ze met de nodige voorzichtigheid worden gebruikt. Ze bevatten vaak micro-organismen die ziekten, chemische verontreinigingen of andere onstabiele stoffen kunnen overbrengen.

Biosolids kunnen de bodem verrijken en commerciële meststoffen aanvullen of vervangen. Biosolids-landtoepassing vindt plaats op verschillende locaties, waaronder landbouwgronden, bossen, mijnwinningslocaties en andere landen, parken en golfbanen. Landtoepassing van biovaste stoffen heeft significant positieve effecten op de **bodemvruchtbaarheid**, waardoor ze op een duurzamere manier kunnen worden gebruikt. Naast een hoge voedingswaarde verbeteren biosolids de eigenschappen van de bodem (**bodemconditionering**) door het verhogen van de **organische stof in de bodem, de aggregatie van bodemdeeltjes, de bodemstructuur en porositeit** en het verlagen van de **bulkdichtheid**.

Landtoepassing van zuiveringsslib wordt veel toegepast in Europa en andere landen [8]. Het risico verbonden aan landtoepassing van biosolids hangt af van de oorsprong van de vuilvrachten die de afvalwaterzuiveringsinstallaties binnenkomen (gemeentelijke versus industriële belastingen). De belangrijkste problemen die verband houden met de verwijdering van biovaste stoffen zijn de **gezondheids- en veiligheidskwesties**, geur, overlast en andere publieke zorgen. Bovendien kan een te hoge landtoepassing een negatieve invloed hebben op de grondwaterkwaliteit door **uitspoeling van nutriënten**. Om die reden heeft US EPA een gids ontwikkeld voor landtoepassing op basis van de federale normen voor het gebruik of de verwijdering van zuiveringsslib. De bedoeling van dit federale programma is ervoor te **zorgen dat zuiveringsslib wordt gebruikt of verwijderd op een manier die zowel de menselijke gezondheid als het milieu beschermt**. Deel 503, Normen voor het gebruik of de verwijdering van zuiveringsslib stelt de algemene vereisten, grenswaarden voor verontreinigende stoffen, operationele normen en beheerpraktijken vast, evenals de frequentie van monitoring, registratie en rapportagevereisten, voor zuiveringsslib dat op het land is aangebracht, geplaatst op een oppervlakteberging, of gestookt in een zuiveringsslibverbrandingsoven [9].



Behandelingen die nodig zijn voor het op het land brengen van biologische vaste stoffen

Om te voldoen aan de regels die door de wetgeving worden voorgesteld, moet zuiveringsslib op de RWZI's worden behandeld (**ontwaterd** en **gestabiliseerd**) vóór landtoepassing, hetzij in termen van bodembemesting of landaanwinning. De verwerkingsprocessen voor biovaste stoffen voordat ze op de bodem worden aangebracht, zijn anaërobe of aerobe vergisting, compostering, drogen en chemische behandeling (meestal alkalische behandeling).

- **Anaërobe vergisting** (in het algemeen) is een natuurlijk voorkomend biologisch proces waarbij grote aantallen anaërobe bacteriën **organisch materiaal omzetten in methaan en koolstofdioxide** (een mengsel dat biogas wordt genoemd). Dit proces stabiliseert de organische stof in de vaste stoffen van afvalwater, vermindert ziekteverwekkers en geuren, en vermindert de totale hoeveelheid vaste stoffen/slib door delen van de fractie vluchtige vaste stoffen (VS) om te zetten in **biogas**.
- **Anaërobe vertering**. Het proces kan worden onderverdeeld in drie afzonderlijke stappen, die elk worden uitgevoerd door een andere groep micro-organismen:
 - 1) **Hydrolyse**, waarbij de eiwitten, cellulose, lipiden en andere complexe organische stoffen worden **afgebroken** tot kleinere moleculen en **oplosbaar** worden door water te gebruiken om de chemische bindingen van de stoffen te splitsen
 - 2) **Vergisting van vluchtige zuren**, waarbij de producten van hydrolyse worden omgezet in **organische zuren** door de biochemische processen van **acidogenese** (waarbij monomeren worden omgezet in vetzuren) en **acetogenese** (de vetzuren worden omgezet in azijnzuur, koolstofdioxide en waterstof)
 - 3) **Methaanvorming**, waarbij de tijdens de fermentatie geproduceerde organische zuren worden omgezet in methaan en koolstofdioxide.
- **Composteren**. Het composteren van afvalwaterresiduen is een **biothermisch aëroob proces** waarbij het organische deel van het residu voor ongeveer 25 procent wordt afgebroken. Voor het composteren is het noodzakelijk om het residu te ontwateren. **Ontwatering** vermindert niet alleen het volume van het overschot, maar vermindert ook de hoeveelheid vocht die zal verdampen tijdens de warmte die wordt gegenereerd door de **afbraak van het organische deel** van het residu, het stabiliseert het ook en zet het overschot om in bruikbare biologische vaste stoffen. Het probleem bij het composteren van ruwe reststoffen is de intensere geur van de reststoffen met een hoger percentage organisch materiaal. Er kunnen verschillende methoden worden gebruikt om de geur te beheersen. Over het algemeen wordt de geur onder controle gehouden door **ongeblyste kalk** (CaO) toe te voegen om de pH van de reststoffen te veranderen. Als geur een probleem blijft, kan de eenvoudige procedure om lucht door de composthoopen te zuigen en de lucht af te voeren naar een biofilter, de geur verder verminderen.
- **Drogen**. Het type en de populatie van micro-organismen varieert tijdens het composteringsproces. Daarom is het van cruciaal belang om de composteringssomgeving te beheersen, zodat de micro-organismen kunnen gedijen. De parameters van de composteeromgeving omvatten de **temperatuur van de composthoop**, het **vochtgehalte van de compost**, het **zuurstof-** en **kooldioxidegehalte** in de composthoop en de **beschikbaarheid van voedingsstoffen**, waaronder koolstof, stikstof, fosfor en kalium voor de micro-organismen. Deze parameters moeten worden gecontroleerd omdat ze de vitaliteit van de micro-organismen beïnvloeden. Zuurstof wordt aan de composthoop toegevoerd door de introductie van lucht. De hoeveelheid toegevoerde lucht is afhankelijk van het



vochtgehalte van de composthoop. Hoe hoger het vochtgehalte, hoe meer lucht er nodig is. Er moet een minimaal zuurstofgehalte worden gehandhaafd, terwijl het kooldioxidegehalte een maximumgehalte niet mag overschrijden.



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



Nutriëntenterugwinning

Nutriëntenterugwinning is de praktijk van het **terugwinnen van nutriënten zoals stikstof en fosfor uit gebruikte waterstromen die anders zouden worden weggegooid** en deze om te zetten in een milieuvriendelijke meststof voor ecologische en agrarische doeleinden. Dit proces helpt het **afvalwater te reinigen** door deze voedingsstoffen te verwijderen en ze uiteindelijk om **te zetten in een efficiënte, herbruikbare grondstof**. Met deze doelstellingen voor ogen zijn er in de afvalwaterindustrie verschillende processen ontwikkeld om deze nutriënten optimaal terug te winnen.

Het herstelproces van nutriënten biedt gemeenten de mogelijkheid om inkomsten te genereren en tegelijkertijd agrarische bedrijven te voorzien van geraffineerde, bruikbare fosfor - een steeds schaarser wordende natuurlijke hulpbron. Bovendien stelt het afvalwaterentiteiten in staat om te dienen als meer dan alleen behandelingsfaciliteiten, maar uiteindelijk als **middelen voor het terugwinnen van hulpbronnen**, waardoor de perceptie van traditionele afvalwaterzuivering wordt getransformeerd. De recycling van nutriënten uit RWZI's heeft dus een positief effect op het milieu door de vraag naar conventionele fossiele meststoffen te verminderen en bijgevolg het verbruik van water en energie te verminderen.

Terugwinning van nutriënten uit afvalwater kan gebeuren uit **ruw afvalwater, halfbehandelde afvalwaterstromen en rioolslib** (biosolids) [10].

Momenteel wordt **fosfor (P)** op RWZI's voornamelijk gerecycled door chemische methoden zoals het **struvietkristallisatieproces**, bijvoorbeeld Pearl-, NuReSys- en AirPrex-technologieën, die op volledige schaal zijn geïmplementeerd [11]. Momenteel wordt in Europa meer dan 2000 Mg P/jaar technisch teruggewonnen [12]. De belangrijkste problemen in verband met struvietkristallisatie zijn de **hoge chemische kosten** en **onbedoelde vorming van struviet** die de kleppen, leidingen, pompen enz. verstopten. Hoewel de hoge bedrijfskosten de economische haalbaarheid van de terugwinning van nutriënten beperken, kan het systeem een groot aantal andere voordelen opleveren. Zo zou de terugwinning van nutriënten uit afvalwater de **productie van slib** en ongewenste neerslag aanzienlijk kunnen verminderen, zodat de verwijderingskosten die verband houden met de onverwachte stoffen beter kunnen worden beheerst of zelfs verlaagd. Ook zou de terugwinning van nutriënten uit afvalwater de **ontwatering** van behandeld slib kunnen verbeteren en de **snelheid van de schaalvergroting** kunnen verlagen, wat beide resulteert in een **verbetering van het afvalwaterbeheer** [14]. Het is duidelijk dat het terugwinnen van nutriënten ook de **concentratie van ammonium en fosfaat in de lozing van een afvalwaterzuiveringsinstallatie kan verminderen**, waardoor eutrofiëring in aquatische milieus wordt voorkomen. Echter, zowel milieuvordelen als overheidsvoorschriften zouden niet dienen om nutriëntenterugwinning op gang te brengen als er onvoldoende economische prikkels zijn.



Nieuwe technologieën in nutriëntenterugwinning

Naast de chemische methode om P terug te winnen uit RWZI's (toegelicht in de vorige paragraaf) zijn er nieuwe technologieën die ook kunnen worden gebruikt om nutriënten in afvalwaterzuivering en hun mechanismen terug te winnen, waaronder **biologische technologieën, membraansystemen en geavanceerde membraansystemen**. Ze zijn onlangs samengevat door Ye et al [15].

Dezelfde auteurs presenteerden ook een economische analyse van deze nutriëntenterugwinningssystemen, waarbij ze werden vergeleken in termen van positieve en negatieve aspecten. Ze ontdekten dat op **membranen gebaseerde technologieën voor het terugwinnen van nutriënten** economisch en technisch haalbaar zijn. Vooral **osmotische membraanbioreactoren (OMBR) en bio-elektrochemische (BES)** systemen genieten de voorkeur vanwege hun lage membraanvervuilingspotentieel en laag energieverbruik. In vergelijking met **aërobe OMBR-gebaseerde hybride systemen**, vertonen **anaërobe OMBR (AnOMBR)** ook een lage membraanvervuiling en energieverbruik. Deze bevindingen zijn echter gebaseerd op enkele onderzoeken naar op AnOMBR gebaseerde systemen; er moet meer onderzoek worden gedaan naar het terugwinnen van voedingsstoffen via hybride AnOMBR-systemen voordat de voordelen ervan volledig kunnen worden bevestigd.

Ye et al. 2020 wees erop dat **microbiële brandstofcellen (MFC)**, als geavanceerde technologie voor het terugwinnen van nutriënten, **elektriciteit kunnen opwekken** en een hoge pH-zone kunnen bieden voor chemische neerslag [15]. De technologie is veelbelovend voor het terugwinnen van voedingsstoffen. Daarom moeten de MFC en de modificaties ervan op grote schaal worden onderzocht om nutriënten terug te winnen in afvalwaterzuivering.

In dit scenario zijn **voorwaartse osmose (FO), membraandestillatie (MD) en elektrolyse (ED)** processen de drie belangrijkste membraantechnologieën die worden gebruikt voor de terugwinning van nutriënten. MD- en ED-processen zijn compatibel met MFC's terwijl MFC's worden toegepast om voedingsstoffen uit verdund afvalwater te winnen. Een dergelijke integratie zou ongetwijfeld de **kwaliteit en kwantiteit van de teruggewonnen nutriënten kunnen verhogen** en is in de toekomst levensvatbaar. Een ander belangrijk aspect is het verhogen van de **anaërobe vrijgave van fosfaat** in de bestaande tanks in voldoende hoeveelheden [16]. Bovendien kan de eigenschap van voeroplossing de prestatie van membraanbioreactor bepalen door directe invloed uit te oefenen op slibeigenschappen, membraanvervuiling en permeaatflux [17]. De rol van voeroplossing in OMBR-systemen is echter onvoldoende geanalyseerd. Het is noodzakelijk verdere studies uit te voeren om de haalbaarheid van verschillende afvalwaterbronnen met betrekking tot de terugwinning van nutriënten te evalueren en indien nodig de juiste voorbehandeling voor voeroplossing voor te stellen. In dit geval kunnen zowel de technische haalbaarheid van het nutriëntenterugwinningssysteem als de prestaties ervan worden verbeterd.

In de toekomst kan worden verwacht dat nieuw onderzoek leidt tot de verdere ontwikkeling van **economische afvalwaterzuiveringssystemen**, en in het **bijzonder op osmotische membraanbioreactoren (OMBR) en bio-elektrochemische systemen (BES)** gebaseerde hybride systemen.

Dit kan nieuwe kansen creëren voor ondernemers en start-ups.



Teruggewonnen water

Waarom behandeld afvalwater hergebruiken?

Slechts 2,5% van het beschikbare water op de planeet is zoet water. Met de snelle toename van de wereldbevolking, de versnelling van de verstedelijking en de opwarming van de aarde wordt deze hulpbron schaars. **Overmatige wateronttrekking** is een belangrijke oorzaak van waterschaarste. De belangrijkste druk van het waterverbruik is geconcentreerd op **irrigatie** en de **binnenlandse vraag**, inclusief toerisme. **Het gebruik van hergebruik van gezuiverd afvalwater als alternatieve bron van watervoorziening wordt nu algemeen erkend door internationale, Europese en nationale duurzaamheidsstrategieën.** UN Sustainable Development Goal on Water (SDG 6) richt zich specifiek op een substantiële toename van recycling en veilig wereldwijd hergebruik tegen 2030.

Waterhergebruik is een topprioriteit in het Strategisch Implementatieplan van het Europees innovatiepartnerschap op het gebied van water, en maximalisering van waterhergebruik is een specifieke doelstelling die is vastgelegd in de mededeling "Blauwdruk om de watervoorraden van Europa te beschermen". **Hergebruik van gezuiverd afvalwater kan aanzienlijke ecologische, sociale en economische voordelen opleveren.** Volgens de Blauwdruk kan waterhergebruik de toestand van het milieu zowel kwantitatief als kwalitatief verbeteren, door de druk te verlichten door in de plaats van onttrekking. **Vergeleken met alternatieve bronnen van watervoorziening, zoals ontzilting of wateroverdracht, vereist hergebruik van water vaak lagere investeringskosten en energie, waardoor de uitstoot van broeikasgassen wordt verminderd.**

Waterhergebruik komt ten goede aan de bredere watersector, die een belangrijk onderdeel is van het eco-industriële landschap van de EU. Waterhergebruik heeft een aanzienlijk potentieel wat betreft het **creëren van groene banen in de watergerelateerde industrie, en naar schatting zou een stijging van het groeipercentage in de EU-waterindustrie met 1% tot 20.000 nieuwe banen kunnen creëren** [18]. Momenteel is de hoeveelheid gezuiverd stedelijk afvalwater die jaarlijks wordt hergebruikt goed voor ongeveer 2,4% van het gezuiverde afvalwater van stedelijk afvalwater en minder dan 0,5% van de jaarlijkse zoetwateronttrekking in de EU. Maar het EU-potentieel is veel groter, geschat op zes keer het huidige volume. Zowel de zuidelijke lidstaten zoals Spanje, Italië, Griekenland, Malta en Cyprus als de noordelijke lidstaten zoals België en Duitsland hebben al tal van initiatieven genomen met betrekking tot hergebruik van water voor **irrigatie, industrieel gebruik** en het **aanvullen van watervoerende lagen**. Cyprus en Malta hergebruiken al respectievelijk meer dan 90% en 60% van hun afvalwater, terwijl Griekenland, Italië en Spanje tussen de 5 en 12% van hun afvalwater hergebruiken, wat duidelijk wijst op een potentieel voor verdere opname.

Het hergebruik van gezuiverde afvalwater van RWZI's voor huishoudelijk gebruik kwaliteit van het gebruikte rivierwater voor de winning van drinkwater [19]. Het gebruik van gezuiverde afvalwater voor irrigatie in de landbouw is al vele jaren bekend en kan zorgen voor watervoorziening ter **vervanging van de landbouwvraag** en vermindering van **lokale waterstress**. Het verminderen van de nutriënten in het afvalwater de noodzaak voor toepassing van commerciële meststoffen. **Het wordt aanbevolen om effluent van secundaire behandeling te gebruiken voor irrigatie van voedselgewassen.**

Hergebruik van stedelijk afvalwater kan **gepland** (direct of indirect) of **ongepland** zijn, wat meestal verband houdt met niet-drinkbaar gebruik, maar er zijn gevallen van ongepland hergebruik van drinkwater. Hergebruik van stedelijk water betreft voornamelijk residentiële irrigatie en commercieel gebruik voor brandbeveiliging, autowassen, toiletspoeling, enz. **De belangrijkste problemen in verband met stedelijk hergebruik zijn: risico's voor de menselijke gezondheid en hoge kosten van dubbele systemen voor de levering van teruggewonnen water** [20]. Bij indirect drinkwater wordt



hoogwaardig RWZI-effluent direct geloosd op grond- of oppervlaktewaterbronnen met als doel de drinkwatervoorziening te vergroten. Een andere oplossing kan direct hergebruik van drinkwater (pipe to pipe) zijn door behandeld afvalwater rechtstreeks in een **waterdistributiesysteem** te brengen [21].

Direct hergebruik van drinkwater verhoogt echter de operationele kosten sterk vanwege de zeer hoge kwaliteitseisen voor effluent. Het gebrek aan sociale acceptatie is ook belangrijk.



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



Teruggewonnen water voor industriële processen

Afhankelijk van de waterkwaliteitseisen, beperkte ruimte en budgettaire overwegingen, zijn er verschillende methoden beschikbaar voor het recyclen of hergebruiken van industrieel water.

Voordelen kunnen zijn: vermindering van zoetwaterkosten, afvalwaterstromen en de omvang van de watervoetafdruk. De operationele efficiëntie en duurzaamheid kunnen ook worden verhoogd, samen met de verbeterde productiecapaciteit door de toename van beschikbaar schoon water.

Technologieën

Vanuit het perspectief van afvalwaterzuivering zijn **microfiltratie (MF)**, **ultrafiltratie (UF)**, **nanofiltratie (NF)** en **omgekeerde osmose (RO)** de meest voorkomende membraanscheidingstechnieken die in de industrie worden toegepast. **Voorwaartse osmose (FO)** is onlangs ook geïntroduceerd als een geavanceerde membraantechniek voor afvalwaterzuivering. Een reeks andere geavanceerde waterzuiveringstechnologieën, waaronder **actieve kool**, **ionenuitwisseling**, **deïonisatie**, **elektro-deïonisatie**, **UV (ultraviolet)**, **ozondesinfectie** en **chemische dosering** worden gebruikt voor industriële toepassingen.

In de afvalwaterzuivering wordt membraantechnologie erkend als de sleuteltechnologie voor het scheiden van verontreinigingen uit verontreinigde bronnen [22]. Membranen zijn selectieve barrières die twee verschillende fasen scheiden, waardoor bepaalde componenten kunnen worden doorgelaten en andere kunnen worden vastgehouden. Het middel dat membraanprocessen initieert, kan een **drukgradiënt** en een **chemische of elektrische potentiaal** over het membraan zijn. Membraanprocessen zijn afhankelijk van een **fysieke scheiding**, meestal zonder faseverandering en toevoeging van chemicaliën in de voedingsstroom, en onderscheiden zich dus als een alternatieve afvalwaterbehandelingstechniek voor conventionele processen (dwz destillatie, precipitatie, coagulatie/flocculatie, adsorptie door actieve koolstof, ionen uitwisseling, biologische behandeling, enz.) [22, 23]. Het **lage energieverbruik**, **de vermindering van het aantal verwerkingsstappen**, **de grotere scheidingsefficiëntie** en **de hogere kwaliteit van het eindproduct** zijn de belangrijkste voordelen van deze processen [22-24]. De **beperkte chemische, mechanische en thermische weerstand van de membranen** beperkt echter hun toepassing. Er zijn grote inspanningen geleverd om zowel de flux als de selectiviteit van de membranen te verbeteren. Bovendien hebben sommige onderzoekers zich gericht op het beheersen van **membraanvervuiling**, het belangrijkste probleem bij toepassing van membranen in afvalwaterzuivering. Als gevolg hiervan zijn de prestaties aanzienlijk verbeterd en zijn de commerciële markten van membranen de afgelopen jaren uitgebreid.

Het succes van membraanbewerkingen in afvalwaterbehandeling wordt toegeschreven aan de compatibiliteit tussen verschillende bewerkingen in geïntegreerde systemen. De afvalwaterzuivering door geïntegreerde systemen suggereert tegenwoordig het verminderen van milieuschadelijke effecten, het verminderen van het grondwater- en energieverbruik en het terugwinnen van waardevolle verbindingen als bijproduct. **Membraanbioreactor (MBR), die membraanfiltratie combineert met biologische behandeling, wordt erkend als een van de meest succesvolle hybride membraansystemen in afvalwaterzuivering.**

Drukgestuurde membraanbewerkingen, MBR's, evenals een combinatie van membraanbewerkingen in hybride systemen voor de behandeling van afvalwater worden in verschillende industrieën gebruikt.



Teruggewonnen water voor irrigatie

De **landbouw** is veruit de **grootste waterverbruiker ter wereld**. Irrigatie van landbouwgronden was goed voor 70% van het water dat wereldwijd wordt gebruikt. In verschillende ontwikkelingslanden maakt **irrigatie** tot 95% van al het watergebruik uit en speelt het een belangrijke rol in de voedselproductie en voedselzekerheid. Toekomstige landbouwontwikkelingsstrategieën van de meeste van deze landen hangen af van de mogelijkheid om geïrrigeerde landbouw in stand te houden, te verbeteren en uit te breiden.

Waterhergebruik wordt algemeen en met succes toegepast in verschillende EU-lidstaten, maar ook in bijvoorbeeld Israël, Californië, Australië en Singapore. Deze praktijk wordt tot dusver echter onder haar potentieel in de EU toegepast. **Een beperkt bewustzijn van mogelijke voordelen** bij belanghebbenden en het grote publiek, en een **gebrek aan een ondersteunend en coherent kader** voor hergebruik van water werden geïdentificeerd als twee belangrijke belemmeringen die een bredere verspreiding van deze praktijk in de EU in de weg staan. Om deze redenen heeft de Commissie in 2018 een verordening voorgesteld om het hergebruik van water te stimuleren wanneer dit kostenefficiënt en veilig is voor de gezondheid en het milieu.

De nieuwe **verordening betreffende minimumeisen voor hergebruik van water voor landbouwirrigatie** is onlangs in werking getreden en zal naar verwachting het hergebruik van water in de EU stimuleren en vergemakkelijken [25]. De Commissie heeft ook verschillende belangrijke documenten opgesteld die te vinden zijn op ec.europa.eu [18].

Potentiële ziekteverwekkers moeten uit het afvalwater worden verwijderd. Wanneer pathogene organismen tijdens de behandeling niet specifiek worden verwerkt, moet het gebruik van behandeld afvalwater zorgvuldig worden geëvalueerd. **Verschillende parameters beïnvloeden de efficiënte verwijdering van pathogene en indicatormicro-organismen** [26]. De evaluatie van technologieën voor het verwijderen van pathogenen is meestal gebaseerd op fecale contaminatie-indicatoren, zoals totale coliformen, thermotolerante coliformen of *Escherichia coli*. **Chloor, ultraviolet (UV), ozon, rijpingsvijvers, CW, membraanfiltratie, diepbedfiltratie en elektrochemische methoden** zijn technieken die worden gebruikt voor **desinfectie** [26]. Als het gaat om het gebruik van **oxidanten voor desinfectie, natriumhypochloriet (NaClO) en ozon**, zijn er verschillende praktijkvoorbeelden te vinden in de literatuur met betrekking tot terugwinningssystemen voor irrigatie. **Ultraviolette behandeling** wordt door verschillende richtlijnen aanbevolen als de best beschikbare technologie voor desinfectie van teruggewonnen water die niet gepaard gaat met buitensporige kosten, met name voor hergebruiktoepassingen met hoog tot gemiddeld contact [26]. Met betrekking tot biologische behandeling worden **rijpingsvijvers** beschouwd als de beste praktijk van verschillende richtlijnen, waaronder de WHO [27]. Deze methode heeft enkele voor- en nadelen. Meer informatie is te vinden op TheWaterTreatments.com [28]

Als alternatief voor bedfiltratie en chemische behandeling, is **membraanfiltratie** een technologie die vaak als effectief wordt beschouwd voor het verwijderen van ziekteverwekkers uit afvalwater dat wordt gebruikt bij irrigatie. De resultaten geven aan dat een volledige reductie van virussen mogelijk is met een **Ultra Filtration (UF) membraan**, waardoor een chemisch desinfectieproces achterwege kan blijven [27].

Hormoonontregelende chemicaliën (EDC's) krijgen de laatste jaren steeds meer aandacht vanwege hun schadelijke effecten op mens en dier. De aanwezigheid van EDC's in irrigatiewater en



landbouwbodems kan verontreiniging van landbouwproducten veroorzaken en een risico vormen voor de menselijke gezondheid. Nieuwe technologieën voor het verwijderen van EDC's uit afvalwater bieden nieuwe kansen voor ondernemers en start-ups.



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



Energieterugwinning

Energieterugwinning bij afvalwaterzuiveringsinstallaties vormt een belangrijke beleidshefboom voor duurzaamheid, aangezien het de **CO₂-voetafdruk** van afvalwaterzuivering aanzienlijk kan **verminderen**. Afvalwaterzuivering vereist een aanzienlijk **energieverbruik**. Een analyse van de chemische en warmte-energie in afvalwater laat zien dat er tot 14 keer meer energie is dan nodig is voor de behandeling. Hoewel dit grotendeels laagwaardige warmte is, **zou het theoretisch mogelijk moeten zijn om energiepositiviteit in zuiveringsinstallaties te bereiken**.

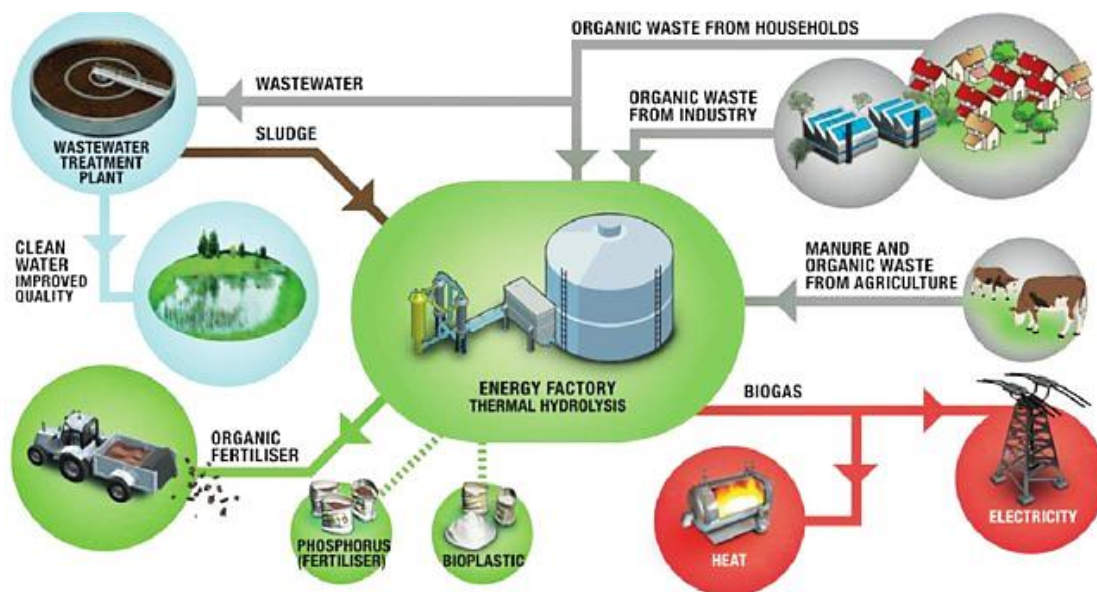
In RWZI's, kan energierugwinning worden gedaan via [29-30]:

- **Biogasproductie**. In een vergister wordt via **anaerobe vergisting (AD)** biogas gecreëerd, de belangrijkste energiebron in RWZI. Het biogas kan worden gebruikt voor verwarming en/of elektriciteitsopwekking. **Verbetering van de AD-efficiëntie** is een gangbare praktijk om de energiezelfvoorziening van RWZI's te vergroten.
- **Warmtepompen** in afvalwater van zuiveringsinstallaties, en
- Energieterugwinning uit verschillende hoge temperatuurstromen door **warmtewisselaar**

De **optimalisaties van AD** omvatten verschillende voorbehandelingsmethoden van zuiveringsslib met als doel een hogere biologische afbreekbaarheid van slib. Momenteel zijn de meest voorkomende technologieën op de markt **mechanische en thermische voorbehandelingen**. **Technologieën voor thermische hydrolyse (THP)** zoals Cambi, Biothelys en Exelys zijn de meest gebruikte technologieën om de anaerobe vergisting in RWZI's te verbeteren. De eerste RWZI in Noord-Amerika (Washington, DC, VS) die gebruikmaakte van Cambi-technologie zag een toename van 50% in de productie van biogas. **Gezamenlijke vergisting van zuiveringsslib met ander biologisch afbreekbaar afval** is een andere optie, die een reeks economische en ecologische voordelen biedt. Medevergisting van GFT-afval in combinatie met zuiveringsslib zorgt er niet alleen voor dat RWZI's energieneutraal zijn, maar verlaagt ook de kosten van gemeentelijk en industrieel GFT-beheer. Zo wordt in Mossberg (Duitsland) al 10 jaar co-vergisting van zuiveringsslib met zes verschillende co-substraten uitgevoerd. De warmte- en energieproductie op RWZI Mossberg is beduidend hoger dan de interne vraag van RWZI. Overtollige energie wordt teruggeleverd aan het net, terwijl overtollige warmte wordt gebruikt om ontwaterd slib van andere RWZI's te drogen.

Technologieën die het meest worden gebruikt door bestaande zelfvoorzienende RWZI's zijn "Gecombineerde warmte en kracht (CHP)"-technologieën, die tegelijkertijd zowel elektriciteit als warmte uit biogas opwekken. Betrouwbare en economische warmtebronnen voor gebruik in **warmtepompen (HP)** zijn het afvalwater van gemeentelijke RWZI's-installaties [31]. De warmte van **HP's kan worden gebruikt voor verwarming en koeling van woon-, sociale en administratieve gebouwen van de fabriek en/of aangrenzende infrastructuur**.

In de Deense stad Odense levert een zuiveringsinstallatie warmte en elektrische energie voor een bevolking van bijna 400.000 inwoners en heeft een energiepositie van 150 procent bereikt, waardoor elektriciteit en warmte wordt opgewekt voor het lokale elektriciteitsnet. De transformatie werd mogelijk gemaakt door een zorgvuldige analyse van historische operationele gegevens die een reeks opties voor energieoptimalisatie identificeerden, waarvan vele werden geïmplementeerd met wijzigingen in operationele strategieën in plaats van significante upgrades van de apparatuur. Sinds de eerste wijzigingen zijn er een aantal faciliteitsverbeteringen doorgevoerd die ervoor zorgen dat 200% energiepositiviteit is bereikt. De technische interventies waren gebaseerd op het aannemen van een zeer duidelijke 'koolstofneutraliteit'-mentaliteit in de hele organisatie, wat op zijn beurt leidde tot de ontwikkeling en toewijding aan een zeer agressieve bedrijfsmilieudoelstelling [32].



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



Casestudy's

We presenteren hier 3 case studies van ondernemers en start-ups. De hier gepresenteerde casestudies zijn geselecteerd op basis van hun **innovativiteit** en **technologie** die ze gebruiken, **circulariteit**, **reproduceerbaarheid**, **mate van impact** en **dekking**. In elke case study belichten we de belangrijkste uitdagingen en mogelijke oplossingen.



Casestudy 1: Van afvalwater naar landbouwwater - een innovatieve technologie om behandeling en hergebruik in de landbouw te combineren

Uitdaging

Zoals we hierboven vermeldden, is de landbouw verreweg de grootste verbruiker van water. Het gebruik van gezuiverd afvalwater voor irrigatie in de landbouw kan de landbouvvraag vervangen en lokale waterstress verminderen. Aan de andere kant hangen de toekomstige landbouwontwikkelingsstrategieën van de meeste ontwikkelingslanden af van de mogelijkheid om geïrrigeerde landbouw in stand te houden, te verbeteren en uit te breiden.

In het **RichWater-project** heeft een groep kleine startende bedrijven hun kennis gebundeld om een geïntegreerde aanpak te creëren voor het combineren van **behandeling en irrigatie in één systeem** dat maximaal voordeel kan halen uit voedingsstoffen. Hun ambitie is om een opgeschaald commercieel prototype in Zuid-Spanje te ontwikkelen om lokaal gemeenschapsafvalwater te hergebruiken voor irrigatiedoelinden. Het doel is om een win-winsituatie te creëren voor twee sectoren (de afvalwaterzuivering en de agrarische sector) door van openbaar afvalwater een waardevol eindproduct te maken.

Het geïntegreerde systeem bestaat uit een goedkope en energiezuinige MBR (**membraanbioreactor**) die ziekteverwekkervrij en voedselrijk gietwater produceert.

Het behandelingsysteem is aangesloten op:

- De **mengmodule** (voor het op maat mengen met zoetwater en aanvullende meststoffen)
- De **fertigatie-eenheid**
- Een **monitoring/control module** inclusief bodemsensoren om vraaggestuurde en hoofdlettergevoelige fertigatie te garanderen.

Door deze modules te combineren ontstaat een compleet en turnkey systeem voor veilig hergebruik van afvalwater in de landbouw.

Resultaten

- Productie van gezuiverd afvalwater (d.w.z. teruggewonnen water),
- Laag energieverbruik
- Irrigatie van 3 doelgewassen op proefveld: tomaat, mango en avocado,
- Behandeld water dat 50% van de belangrijkste macronutriënten (N,P,K) levert aan de doelgewassen,
- Agronomische studies om gewassen die geïrrigeerd zijn met afvalwater en conventioneel water te vergelijken.
- Kosten-batenanalyse en haalbaarheidsstudie,
- Marktstrategie.

Lessen geleerd

Het gebruik van de principes van circulaire economie heeft aangetoond dat teruggewonnen water kan worden gebruikt voor irrigatievoorziening. Tegelijkertijd kan 50% van de belangrijkste macronutriënten (N, P, K) aan de doelgewassen worden geleverd. Hoewel de initiële investeringen hoog zijn, is het energieverbruik laag en levert het toch netto economisch voordeel op.



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



Casestudy 2: Een geavanceerde technologie voor de behandeling van afvalwater voor de verwijdering van gevaarlijke organische verontreinigingen

Uitdaging

Hormoonontregelaars zijn te vinden in anticonceptiepillen, cosmetica, waspoeder en vele andere producten die normaal in huishoudens worden gebruikt. Door hormoonontregelaars in de natuur en vervolgens in afvalwater te lozen, worden vissen, kakkerlakken en slakken interseks. De vervrouwelijking van vissen is de laatste tijd opgemerkt in Denemarken en andere plaatsen. Om te voorkomen dat dergelijke hormoonontregelaars vanuit de RWZI's naar de natuur worden afgevoerd, is een kostenefficiënte methode nodig. Een groep kleine bedrijven werkte samen om een systeem te ontwikkelen waarmee pathogene micro-organismen en hormoonontregelaars uit afvalwater kunnen worden verwijderd.

Het basisidee is om **geavanceerde foto-oxidatieprocessen** in afvalwaterzuiveringsinstallaties te introduceren met behulp van **ultraviolette lampen**. Het licht van ultraviolette lampen is in staat om bacteriën te vernietigen en chemische stoffen uit afvalwater te verwijderen met behulp van oxidanten, b.v. ozon of chloridedioxide.

Op die manier zouden WTPP's in staat zijn om ongevaarlijk afvalwater te produceren. Kenmerken van de methode zijn:

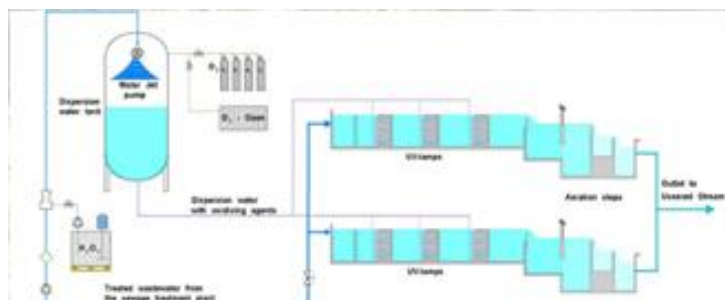
- Eenvoudig systeem voor **desinfectie** van afvalwater,
- Eenvoudig systeem voor het **verwijderen van hormoonontregelaars** en andere gevaarlijke verbindingen,
- **Flexibel systeem**,
- **Makkelijk** te installeren,
- Geavanceerde **procesbesturingstechnologie**,
- **UV-lampen** met hoge energie-intensiteit,
- **Lage kapitaalkosten**,
- **Lage operationele kosten**,
- Milieu en gezondheid,
- Uitstekende badkwaliteit,
- **Geen risico's** voor ontvangende waterfauna en ecosystemen.

Resultaten

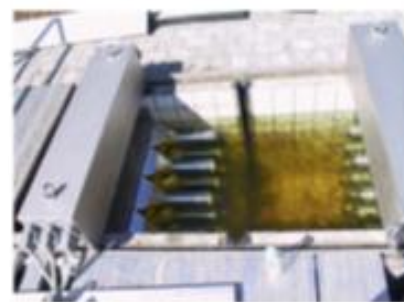
- **Desinfectie:** Dit systeem heeft aangetoond dat het mogelijk is om ervoor te zorgen dat effluent van afvalwaterzuiveringsinstallaties vrij is van pathogene micro-organismen, de kwaliteit van en voldoet aan de EG-richtlijn voor zwemwater.
- **Verwijdering van hormoonontregelaars:** het systeem is nuttig voor het verwijderen van hormoonontregelaars en andere gevaarlijke verbindingen uit gezuiverd afvalwater (verwijderingspercentage van 99,8%).

Lessen geleerd

De voorgestelde technische oplossing heeft aangetoond dat het met een laag kapitaal mogelijk is om aan de eisen van de EU-zwemwaterrichtlijn te voldoen en ervoor te zorgen dat de niveaus van hormoonontregelaars met oestrogene activiteit in afvalwater laag zijn. Deze ervaring creëert kansen voor ondernemers en start-ups om andere technische oplossingen te implementeren op basis van het eindgebruik van water om waterverontreinigende stoffen te elimineren.



The APOP-system installed at Usserød WTP



Figuur: APOP System.

Bron: <https://www.slideshare.net/NIDHISRVASTAVA52/advanced-photo-catalytic-oxidationwastewater>



Casestudy 3: Waterbesparende processen voor textielproductie

Uitdaging

Water is een belangrijke hulpbron in productieprocessen, ook in de **textielsector**. De textielindustrie is in vrijwel alle productiestappen afhankelijk van water. Kleurstoffen, speciale en afwerkingschemicaliën die worden gebruikt om kleding te produceren, worden allemaal in waterbaden op stoffen aangebracht. Dit betekent dat er **enorme hoeveelheden water worden gebruikt om kleding te verven, af te werken en te wassen**. Het verminderen van het waterverbruik door het opzetten van duurzame productieprocessen kan daarom een voordeel zijn voor zowel bedrijven als de gemeenschappen waarin ze actief zijn. Als reactie op het watergebruik en de vervuiling door de textielindustrie zijn veel bedrijven begonnen met het onderzoeken van alternatieve oplossingen.

Hier presenteren we een case study van de waterbesparende maatregelen in verfapparatuur in een textielfabriek in Kroatië. Jonge ondernemers analyseerden alle processen en selecteerden de beste acties om het waterverbruik in het bedrijf te verminderen. Ze concentreerden zich op de **was- en spoelprocessen**, aangezien beide processen belangrijk zijn in de textielindustrie om onzuiverheden in de stof tot vooraf bepaalde niveaus te verminderen. Om het waterverbruik in deze processen te verminderen, werden succesvolle **batch- en continue waterreductiemethoden** gevonden. De apparatuur die wordt gebruikt in een waterbesparingsprogramma is relatief goedkoop; in de meeste gevallen zijn enkele kleppen, leidingen, kleine pompen en tanks voldoende. De bedrijfskosten van deze systemen zijn over het algemeen zeer laag. **Routineonderhoud** en, in sommige gevallen, elektriciteit voor de pompen, kan duurder zijn. Waterbesparende maatregelen leiden tot [33]:

- Verlaging van de verwerkingskosten,
- Verlaging van de kosten van afvalwaterzuivering,
- Vermindering van thermisch energieverbruik,
- Vermindering van het elektriciteitsverbruik,
- Vermindering van de belasting van verontreinigende stoffen.

Resultaten

De toepassing van deze maatregelen zorgde voor **aanzienlijke besparingen in het water zelf** (90% van het water), **evenals de kosten die gepaard gaan** met de lozing en het inlaatwater.

Deze integratieve technieken kunnen worden toegepast in andere textielindustrieën. De terugverdientijd van een waterbesparend systeem hangt af van de hoeveelheid bespaard water, rioolheffingen en kosten voor ruw water en afvalwaterzuivering.

Lessen geleerd

Waterbesparing en hergebruik is een noodzaak voor de textielindustrie. Het is mogelijk om de hoeveelheid water die in de textiel fabrieken wordt gebruikt te verminderen. Het verlaagt de kosten van afgewerkte textielproducten door de kosten voor zoetwater- en riolafvoer te verlagen. De hoeveelheid water die nodig is voor textielverwerking varieert van fabriek tot fabriek en is afhankelijk van de stofproductie, het proces, het type apparatuur en de kleurstof. Dat schept veel kansen voor ondernemers en start-ups om hun waterverbruik af te stemmen op hun eigen textielbedrijf.



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



Referenties

- [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. Kies uit de onderstaande lijst het woord dat geen kenmerk van Circulaire economie 3R Principes vertegenwoordigt:

- a. Reductie
- b. Hergebruik
- c. Recyclen
- d. **Omleiden**

2. Industrieën en fabrieken vervuilen water met:

- a. Zware metalen
- b. Kleurstoffen
- c. Organisch materiaal
- d. **Alle bovenstaande**

3. Welke van de volgende lijst is een RWZI-proces?

- a. Fysische/chemische behandeling
- b. Biologische behandeling
- c. Tertiaire behandeling
- d. **Alle bovenstaande**

4. Waarom behandeld afvalwater hergebruiken?

- a. **Want met de snelle groei van de wereldbevolking, de versnelling van de verstedelijking en de opwarming van de aarde wordt deze hulpbron schaars.**
- b. Omdat ontzilting lagere investeringskosten en energie vereist, waardoor de uitstoot van broeikasgassen wordt verminderd
- c. Omdat hergebruik van afvalwater geen behandeling vereist
- d. Alle bovenstaande

5. Welke van de volgende zinnen is niet waar??

- a. **Omdat biosolids zeer nuttige stoffen voor de landbouw bevatten, kunnen ze ongecontroleerd worden gebruikt.**
- b. De EU heeft regelgevende maatregelen genomen met betrekking tot de toepassing van biovaste stoffen in de bodem.
- c. Biosolids verbeteren de eigenschappen van de bodem door de aggregatie van organische stof in de bodem, de bodemstructuur en de porositeit te verhogen en de bulkdichtheid te verlagen.
- d. De belangrijkste problemen in verband met de verwijdering van biovaste stoffen zijn de gezondheids- en veiligheidskwesties, geur, overlast en andere publieke zorgen.

6. Kunnen nutriënten uit afvalwater worden teruggewonnen uit ruw afvalwater, halfgezuiverde afvalwaterstromen en rioolslib?

- a. **Ja**
- b. Nee



7. Voor de terugwinning van nutriënten bieden de op membraan gebaseerde technologieën een hoge technische en economische haalbaarheid. Welke van de volgende processen **wordt niet** gebruikt voor de terugwinning van voedingsstoffen?

- a. Voorwaartse osmose
- b. Membraandestillatie
- c. Elektrodialyse
- d. **Kristallisatieproces**

8. Welke methoden kunnen worden gebruikt om ziekteverwekkers uit afvalwater te verwijderen?

- a. Ruw afvalwater
- b. **Ultraviolette (uv) lampen**
- c. Gezuiverd water
- d. Zuiveringsslib

9. In RWZI's kan energierecuperatie op verschillende manieren plaatsvinden. Selecteer het antwoord dat onwaar is uit de onderstaande lijst.

- a. Biogasproductie
- b. **Filters van zand en antraciet**
- c. Warmtepompen in afvalwater van zuiveringsinstallaties
- d. Energierecuperatie uit verschillende hoge temperatuurströmen door warmtewisselaar

10. Welke van de volgende afvalwaterbehandelingen wordt niet gebruikt als waterzuiveringstechnologie voor toepassing in de industrie?

- a. Microfiltratie
- b. Omgekeerde osmose
- c. Ionenuitwisseling
- d. **Alle bovenstaande**



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