

Afvalwater kostenneutraal en klimaatvriendelijk zuiveren met wilgen

Adrie Otte (Bioniers), Martijn Boosten (Probos) en Marleen van den Ham (InnovatieNetwerk)

Wilgenplantages bieden perspectieven om kostenneutraal effluent van rwzi's of bedrijfsafvalwater te behandelen. Doordat wilgen veel water verdampen, wordt al het afvalwater waarmee de plantages worden bevoeid door de wilgen gebruikt en is er per saldo geen lozing. De opbrengst van de plantages kan gebruikt worden als brandstof en zo wordt CO₂-uitstoot door verbranding van fossiele brandstoffen vermeden. Wilgenzuivering past perfect binnen het concept van de grondstoffen- en energiefabriek.

In Nederland worden vooral helofytenfilters gebruikt om op natuurlijke wijze (afval)water te zuiveren. Rietvelden genieten de meeste populariteit. Hoewel effectief om water te zuiveren, leveren rietvelden nauwelijks nuttige biomassa en dus geen financieel rendement op.

Stichting Probos heeft recent onderzoek gedaan naar de financiële aspecten van wilgenplantages. Hieruit blijkt dat onder voorwaarden wilgenplantages financieel rendabel kunnen zijn [1,2]. Gecombineerd met de functie van waterzuivering zou het financiële rendement hoger kunnen worden. Ervaringen in Zweden, Denemarken en de VS laten zien dat waterzuivering met wilgen goed mogelijk is.

Ook een vierjarige EU-studie naar de potentie van wilgenplantages concludeert dat wilgenplantages voor biomassaproductie in combinatie met waterzuivering aantrekkelijk zijn en verder ontwikkeld dienen te worden op een grotere schaal [3].

Wilgenplantages bieden in potentie mogelijkheden, omdat de schaarse grond viervoudig wordt gebruikt en omdat meerdere beleidsdoelen worden gediend:

- waterzuivering (Europese Kaderrichtlijn Water (KRW), verdrogingsbestrijding);
- teelt van biomassa (reductie CO₂-uitstoot, hernieuwbare energie);
- verhoging van de biodiversiteit;
- landschapsverbetering en recreatie.

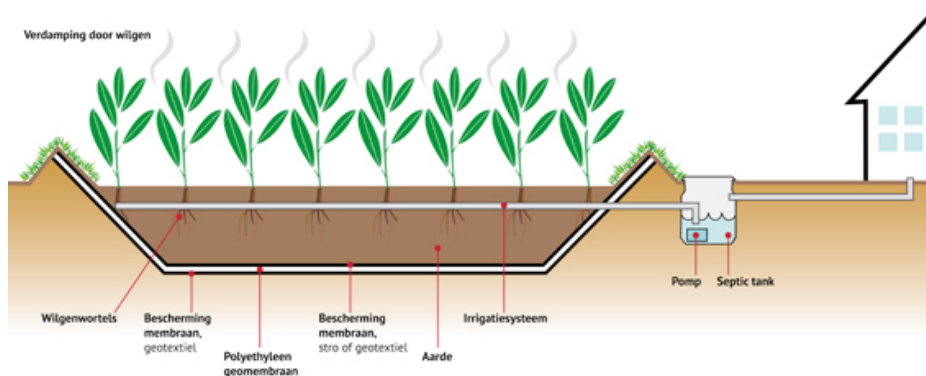
Om de kennis over wilgenplantages voor waterzuivering voor Nederland te ontsluiten met het oog op realisatie van praktijkpilots, heeft InnovatieNetwerk opdracht gegeven tot het verzamelen van ervaringen in het buitenland (o.a. Denemarken, Zweden, Ierland en Frankrijk). Een *state-of-the-art* rapportage is daarvan het resultaat en dit artikel geeft de highlights van deze rapportage weer [4].

Typen wilgenzuiveringssystemen

Afvalwater wordt meestal geloosd op oppervlaktewater of via het riool afgevoerd. Lozen op oppervlaktewater betekent een verstoring van het aquatische ecosysteem. De mate van

verstoring varieert met de mate van vervuiling en het debiet van de lozing ten opzichte van die van het ontvangende oppervlaktewater. Wilgenplantages kunnen zo worden ingericht dat geen lozing van afvalwater plaatsvindt, omdat al het ingelaten water wordt verdampt door de wilgen. De zuivering bestaat grotendeels uit het verwijderen van nutriënten. De wilgen nemen nutriënten (o.a. N, P) op uit het water en benutten die voor hun groei. Daarnaast nemen ze zware metalen op die ze opslaan in hun biomassa.

Grootschalige wilgenzuiveringssystemen in het buitenland bestaan uit een wilgenplantage die in het groeiseizoen wordt geïrrigeerd met afvalwater. Dit gebeurt via druppel- of sprinklerirrigatie (afbeelding 1).



Afbeelding 1. Schematische weergave van een wilgenzuivering

De hoeveelheid te behandelen water in het systeem wordt afgestemd op de verdamping, de infiltratiesnelheid en de hoeveelheid neerslag, zodanig dat er geen lozing op oppervlaktewater plaatsvindt. Irrigatie gebeurt alleen in het zomerhalfjaar. Omdat er niet wordt geloosd, is geen lozingsvergunning nodig. Er vindt geen afwenteling van problemen plaats naar het oppervlaktewater en benedenstrooms gelegen gebieden. Bovendien hoeft het systeem niet in de nabijheid van oppervlaktewater aangelegd te worden. Een nadeel is, dat hoewel wilgen veel water verdampen, er een grotere oppervlakte nodig is in vergelijking met systemen die wel water lozen. Een ander nadeel is dat er alleen in het groeiseizoen irrigatie en daarmee waterzuivering mogelijk is. Moet er jaarrond water gezuiverd worden, dan is waterberging gedurende de wintermaanden in de wilgenzuivering een optie.

Ook kleinschalige systemen, voor de zuivering van het afvalwater van een of enkele huishoudens, bestaan vaak uit een geïrrigeerd systeem zonder lozing. Soms echter wordt er een verticaal doorstoomd systeem gebruikt, waarbij wel lozing op het oppervlaktewater plaatsvindt. Een groot deel van de zuivering vindt dan plaats door de bodempassage en door bacteriën die in de bodem aanwezig zijn. Hierdoor kan het systeem ook in de winter worden gebruikt. De grootte van het systeem, en daarmee het zuiveringsrendement, wordt afgestemd

op de lozingseisen. De aanlegkosten zijn hoger dan de aanleg van een geen-lozingen-systeem vanwege het benodigde drainagesysteem.

In het buitenland worden wilgenplantages bevoeid met verschillende typen afvalwater. Meestal gaat het om effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's), maar ook water uit de slibontwatering wordt gedoseerd. Zuiveringsslib van rwzi's wordt soms gebruikt als extra meststof. Daarnaast wordt industrieel afvalwater (uit o.a. houtzagerijen en de voedingsmiddelenindustrie) en percolatiewater uit vuilstorten gebruikt.

De laatste 20 jaar zijn in Zweden veel wilgenplantages aangelegd om de stikstofbelasting van oppervlaktewater door afvalwater te verminderen. In Enköping is een veld van 76 ha aangelegd dat onder andere rejectiewater van slibontwatering ontvangt. Hierin zit 800 mg N/l, 25% van de totale hoeveelheid stikstof die uit de rwzi komt. Bevloeiing met dit water gebeurt in de zomer. In de winter wordt het water opgevangen in speciale opvangbekkens. Dit water wordt in de daaropvolgende zomer weer in de wilgenplantage geleid. De totale hoeveelheid nutriënten is 30 ton N en 1 ton P per jaar in 200.000 m³ afvalwater, waarvan 30.000 m³ afkomstig is uit de ontwatering.

Wilgenplantages

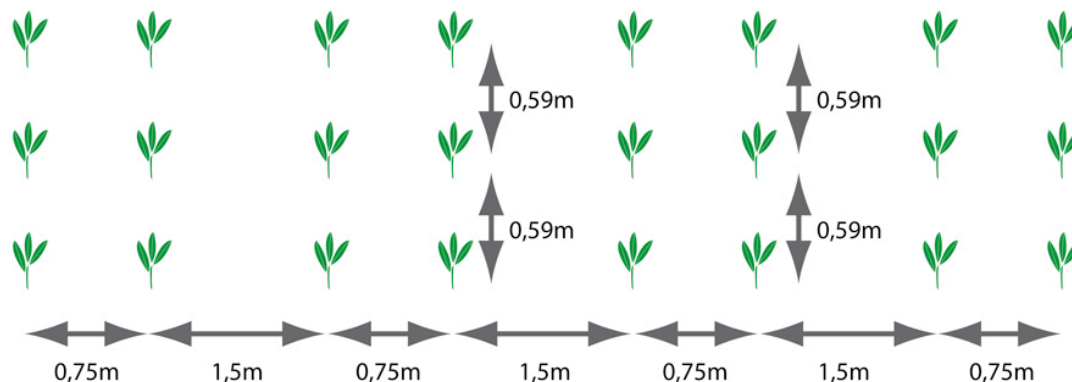
Wilgenplantages zijn moderne wilgengrienden waarin biomassa wordt geteeld. In essentie zijn wilgenplantages grote zonnecollectoren die zonne-energie opvangen en vastleggen in houtige biomassa. De plantages bestaan uit circa 15.000 wilgenstoven per hectare, waarin periodiek (elke twee, drie of vier jaar) de scheuten worden geoogst. Na iedere oogst groeien uit de wilgenstoven nieuwe scheuten. Deze cyclus van oogst en hergroei kan zich minimaal 20 jaar herhalen. De teelt van biomassa in wilgenplantages is volledig gemechaniseerd.

In 2011 was ongeveer 13.000 ha aan wilgenplantages voor zuivering in gebruik in Zweden. Nederland had in november van het afgelopen jaar 33 ha aan wilgenplantages, maar deze hebben geen waterzuiveringsfunctie.

In Zweden wordt er al meer dan 25 jaar gewerkt aan de selectie van klonen voor wilgenplantages. Deze klonen zijn onder andere geselecteerd op hoge biomassaproductie, resistentie tegen ziekten en plagen en een lagere vorstgevoeligheid. De klonen worden wereldwijd toegepast, waaronder in Nederland. De Zweedse klonen zijn veelal selecties van of kruisingen tussen diverse wilgensoorten, zoals *Salix viminalis*, *S. dasyclados* en *S. schwerinii*. Met een aantal van deze Zweedse klonen zijn al goede ervaringen opgedaan bij toepassing in waterzuiveringssystemen. Bij zuiveringssystemen zonder lozing heeft met name een snelle groei van wilgen gunstige effecten op de verdamping. Ook soorten met een langer groeiseizoen (uit zuidelijkere streken) hebben doorgaans een langere verdampingsperiode.

Een algemeen toegepaste 'standaard' voor de aanleg van wilgenplantages is het Zweedse systeem met dubbele plantrijen. Dit systeem heeft als voordeel dat een plant-, oogst-, of wiedzmachine in één werkgang twee rijen kan oogsten. Bij het Zweedse systeem is de afstand

tussen twee rijen 75 centimeter en de afstand tussen de dubbele rijen 150 centimeter (zie afbeelding 2). De plantafstand tussen de stekken in de rij is circa 60 centimeter (bij 15.000 stekken per hectare).



Afbeelding 2. Schematische weergave van het Zweedse systeem van aanplant

Biomassaproductie en natuurwaarde van wilgen

De biomassaproductie in wilgenplantages is sterk afhankelijk van de gebruikte kloon en de locatie (grondsoort, vochtvoorziening, klimaat). In Nederland ligt de gemiddelde productie op circa 10 ton ds/ha.j. Hier zitten zowel uitschieters naar boven (18 ton) als uitschieters naar beneden (5 ton) bij. De ervaring in het buitenland is dat irrigatie met afvalwater de productie verhoogt met 4 tot 8 ton ds/ha.j of 30-100% ten opzichte van niet-geïrrigeerde systemen. De economische levensduur van de plantages is 20 tot 25 jaar.

Dat wilgenplantages monocultures en daarom een 'ecologische woestijn' zijn, is een veel voorkomend misverstand. Onderzoeken in onder meer Zweden, Nederland, Duitsland en Verenigd Koninkrijk tonen aan dat wilgenplantages juist een grote biodiversiteit hebben. Wilgen bieden bijvoorbeeld foerageer- en nestgelegenheid voor verschillende vogelsoorten. In de periode 2006-2008 hebben experts de biodiversiteit van de wilgenplantages in Flevoland onderzocht [5]. De plantages bleken een verrassend grote biodiversiteit te herbergen. De percelen vertoonden vooral een rijkdom aan broedvogelsoorten (tussen de 18 en 22 soorten). Ook het aantal paddenstoelsoorten (tussen de 62 en 96) was aanzienlijk. Tot slot vond men relatief veel bladmossoorten (12). De aangetroffen soorten zijn vooral soorten die normaal in struwelen, jong bos, ruigtes en andere meer dynamische milieus voorkomen.

CO₂-balans en energieratio van wilg

Vroege levenscyclusanalyses lieten zien dat wilgenplantages een lage broeikasgasemissie hebben van 3,7 ton CO₂-equivalenten over de hele levenscyclus. Deze eerste studies waren gebaseerd op beperkte gegevens, zonder de biomassa onder de grond mee te nemen. Een recente studie laat zien dat de ondergrondse biomassa de eerste paar jaren sterk toeneemt. Per saldo betekent dit dat wilgenplantages meer CO₂ vastleggen dan dat zij in CO₂-equivalenten uitstoten.

De netto energie-ratio voor een wilgenplantage is 1:55 over zeven driejarige oogstrotaties. Dat betekent dat voor elke energie-eenheid fossiele energie die gebruikt wordt voor de productie, 55 eenheden energie in biomassa geproduceerd worden. Als er geen kunstmest wordt gebruikt maar organische bemesting of afvalwater, stijgt deze ratio naar 1:73 tot 1:80. Wanneer de biomassa 100 km wordt getransporteerd en omgezet wordt in elektriciteit met een efficiëntie van 30%, wordt de energieratio 1:11 tot 1:13.

Hydraulische belasting

Verreweg de meeste systemen in Zweden, Denemarken en de VS zijn systemen zonder lozing. De hoeveelheid irrigatiewater is gelijk aan de hoeveelheid verdamping en wegzijging minus de hoeveelheid neerslag. Deze hoeveelheden variëren uiteraard sterk van plaats tot plaats. Metingen en berekeningen in verschillende praktijksituaties tot nu toe hebben verschillende uitgangspunten en zijn lastig met elkaar te vergelijken. Ze geven wel een indicatie:

In Zweden is berekend dat de verdamping gemiddeld 4 tot 7 mm/d is en in Denemarken wordt een verdamping van 8,2 mm/d gemeld. In Italië is een verdamping door wilgen gemeten van 9,8 mm/d, in een systeem in Wallonië 700 mm in de periode van 15 maart tot 28 september (3,6 mm/dag gedurende de groeiperiode) en Ierland van 6-11 mm/dag. Naar schatting ligt de verdamping in Nederland tussen 4,3 en 13,2 mm/d.

Opname nutriënten en ophoping stoffen

In de literatuur worden grote verschillen gevonden in opname en verwijdering van nutriënten. Voor een groot deel is dit afhankelijk van de locatie en klimatologische omstandigheden. De opname van stikstof door wilgen ligt tussen 18 en 100 kg N/ha.j en van fosfaat tussen 3 en 13 kg P/ha.j. De totale verwijdering is afhankelijk van de bodemsamenstelling (vastlegging fosfaten door metaalionen) en de activiteit van bacteriën (nitrificatie-denitrificatie). De verwijdering van nutriënten ligt daarom hoger dan de opname door wilgen en ligt tussen 75 en 630 kg /ha.j en 5 en 50 kg P/ha.j. Nutriënten die de wilgen opnemen komen terecht in nieuwe biomassa van wortels, takken en blad. Nutriënten in de bladeren komen gedeeltelijk weer in het systeem terecht wanneer de bladeren in het najaar van de bomen vallen. Overigens verlagen de bomen de nutriëntengehalten in de bladeren sterk (40-70%) voordat zij de bladeren laten vallen, door de nutriënten tijdelijk op te slaan in takken, stammen en wortels.

Niet afbreekbare stoffen zouden zich in een systeem zonder lozingen kunnen ophopen. In rwzi-effluent gaat het dan om metalen. Wilgen zijn echter goed in staat om metalen op te nemen en vertonen geen verminderde groei bij hoge concentraties. De metalen worden teruggevonden in de wortelbiomassa, in het hout, de scheuten en de bladeren, waarbij de concentratie van metalen in de biomassa toeneemt met de concentratie van de metalen in het water. De verdeling van de metalen over de verschillende delen van de planten varieert zowel per wilgensoort als per metaal. De concentratie van metalen is vrijwel altijd het hoogst in de wortels, maar omdat de totale biomassa van hout veel groter is dan die van de wortels, is bij sommige soorten en metalen de totale hoeveelheid metalen het hoogst in het hout. Bij oogsten van het hout wordt daarom een groot deel van de metalen afgevoerd.

Kosten en baten

In tabel 1 staan de kosten en baten van 20 ha wilgenplantage bij een levensduur van 20 jaar vermeld. Bij een oppervlakte van 20 ha of meer liggen de aanlegkosten van een wilgenplantage op circa €2.800,- per ha. Daarnaast moeten er kosten worden gemaakt voor pompen, doseerbuizen en eventueel drainagebuizen. Deze kosten worden geschat op €15.000,-/ha. Aan het eind (na 20 jaar) zijn er kosten voor het ruimen van de plantage. Wanneer het geld voor aanleg van de plantage geleend wordt bij een rente van 5% en een levensduur van 20 jaar zijn de kapitaallasten €538,-/ha.j. Daarnaast zijn er nog periodieke kosten voor onderhoud, beheer, oogst en transport van de biomassa. De biomassaopbrengst van de plantage zal naar verwachting rond de 15 ton droge stof per hectare per jaar liggen, mede dankzij een verhoogde productie als gevolg van de irrigatie met afvalwater. In de tabel is uitgegaan van rechtstreekse levering van luchtdroge wilgenchips (vochtgehalte 35%) aan de biomassacentrale. Voor luchtdroge chips worden momenteel prijzen betaald van €30,- tot €60,- per ton aan de poort van de centrale.

Tabel 1. Kosten en baten van 20 ha wilgenplantage

	Jaarlijkse kosten/ baten (euro)
Kapitaallasten (aanleg)	- 10.800
Onderhoud en beheer	- 1.300
Oogsten en transport	- 9.200
Reserveren ruimen eind levenscyclus	- 1.000
TOTAAL JAARLIJKSE KOSTEN	- 22.300
Opbrengsten (biomassaprijs € 30-60 /ton)	+ 12.600 - 25.200
NETTO RENDEMENT	-9.700 tot +2.900

Om de behandelingskosten van afvalwater met een wilgenzuivering te berekenen gaan we uit van de volgende gegevens:

- rwzi grootte van 10.000 i.e.;
- systeem zonder lozing met een netto verdamping in het groeiseizoen van 8 mm/d;
- bufferen van het effluent in het systeem in het winterseizoen;
- het benodigd oppervlak is dan 43 ha.

Uitgaande van deze gegevens en de in tabel 1 gegeven kosten betekent dat de opbrengst van zuivering met een wilgenplantage tussen - €1,86/i.e. en + €0,81/i.e. ligt, ofwel tussen -€ 0,030 en + €0,013/m³. Grofweg kan worden gesteld dat behandeling van effluent van een rwzi met een wilgenplantage kostenneutraal kan gebeuren. Het kostenplaatje kan nog gunstiger worden wanneer, zoals verwacht, in de toekomst de biomassaprijzen stijgen.

Perspectieven in Nederland

Grote rwzi's liggen meestal aan de rand van grote steden; de ruimte voor wilgenplantages is daar beperkt. Het behandelen van alle effluent in een wilgenzuivering is daardoor niet mogelijk. Kleine rwzi's liggen meestal in het landelijk gebied en daar zou ruimte kunnen zijn voor wilgenplantages. De kleinste rwzi's hebben gemiddeld een wilgenplantage nodig van 6,5 ha en rwzi's tot 10.000 i.e. van gemiddeld 15,1 ha. In het landelijk gebied zijn zulke oppervlakten vaak wel te vinden of te verkrijgen. Bij rwzi's tussen 10.000 en 25.000 i.e. zal bij sommige rwzi's wel en bij andere rwzi's niet genoeg ruimte te vinden zijn. Als het effluent van alle rwzi's tot 10.000 i.e. en de helft van de rwzi's tussen 10.000 en 25.000 i.e. wordt nabehandeld in wilgenplantages en het wilgenhout wordt gebruikt als brandstof als alternatief voor aardgas, wordt 29.360 ton aan uitstoot van fossiele CO₂ vermeden.

De hoeveelheid bedrijfsafvalwater (14.000 i.e.) is in Nederland veel kleiner dan de hoeveelheid afvalwater uit rwzi's (24 miljoen i.e.). Met in totaal 28 ha aan wilgenplantage zou al het afvalwater van bedrijven in Nederland gezuiverd kunnen worden. Gemiddeld is dat 1.300 m² per bedrijf.

Belangrijke spelers bij de beslissing over het inzetten van wilgenzuiveringen zijn waterschappen en bedrijven met een lozing. Bij bedrijven zijn het vooral bedrijven met een lozing van water met nutriënten en eventueel wat organisch materiaal. Lozingen met veel toxische stoffen zoals zware metalen, komen niet in aanmerking. Verder is het van belang dat het water voldoende nutriënten bevat om de wilgen mee te bemesten. Afvalwater van voedselverwerkende industrie, zoals brouwerijen, zou hiervoor in aanmerking kunnen komen. Ook afvalwater uit de glastuinbouw komt in aanmerking.

De lozende bedrijven en waterschappen hoeven niet zelf de wilgenplantages te exploiteren. Zij kunnen dit uitbesteden aan een derde partij. Te denken valt aan agrariërs, loonbedrijven of natuurbeheerorganisaties.

Win-win situaties kunnen ontstaan als de bedrijven of waterschappen zelf een energievraag hebben die (geheel of gedeeltelijk) zou kunnen worden ingevuld met het geoogste hout. Voedselverwerkende bedrijven hebben meestal een warmtevraag, evenals de glastuinbouw. Ook waterschappen hebben energie nodig om de rwzi te laten draaien.

Concluderend kunnen we stellen dat wilgenplantages voor waterzuivering een aantrekkelijke optie zijn om afvalwater te behandelen. Van alle tot nu toe gebruikte groene waterzuiverings-systemen komt de wilgenzuivering als financieel aantrekkelijkste naar voren. Graag zouden wij een wilgenzuivering in een pilotproject realiseren om de potenties in de Nederlandse praktijk aan te tonen. Wij roepen waterschappen en bedrijven met een afvalwaterlozing dan ook bij dezen op om met ons een pilot te starten.

Literatuur

1. Boosten, M. & J. Oldenburger (2011). Kansen voor de aanlegwilgenplantages in Nederland. Stichting Probos, juni 2011. In opdracht van Agentschap NL.
2. Jansen, P. & M. Boosten (2013). Optimalisering kosten en opbrengsten van wilgenplantages: een verkenning. Innovatienetwerk, Rapportnr. 13.2.317, Utrecht, maart 2013.
3. Europese Commissie (2003). Short-rotation Willow Biomass Plantations Irrigated and Fertilised with Wastewater. Results from a 4-year multidisciplinary field project in Sweden, France, Northern Ireland and Greece supported by the EU-FAIR Programme (FAIR5-CT97-3947). Final report, january 2003.
4. Otte, A.J. & M. Boosten (2014). Nieuwe kansen voor duurzame biomassa: afvalwater zuiveren met wilgen. InnovatieNetwerk.
5. Boosten, M. & P. Jansen (2010). Flevo-energiehout. Resultaten van groei- en opbrengstmetingen en biodiversiteitsmetingen 2006-2008. Stichting Probos, november 2010.
6. Remijnse, T. (2013). Afstudeerrapport. Potentie van wilgenenergieplantages in kippenuitlopen in Nederland. Hogeschool Van Hall Larenstein.