

Memo

Aan

(Waterschap Limburg), (WR)

Datum

26 oktober 2022

Aantal pagina's

1 van 11

Contactpersoon**Doorkiesnummer****E-mail****Onderwerp**

Advies Deltares woodchip bioreactor

Advies Deltares Woodchip Bioreactor - concept

Aanleiding

Het Waterschap Limburg wil bij een al voorgenomen hermeandering een helofytenfilter en een woodchip bioreactor aanleggen om de emissie van N naar het oppervlaktewater te verminderen. Het waterschap heeft ECOFYT gevraagd hiervoor een ontwerp te maken. De aanleg is gepland voor eind 2022.

Bij het ontwerp van de woodchip bioreactor rezen bij Waterschap en ECOFYT een aantal vragen over effectiviteit, bij-effecten en consequenties daarvan voor het ontwerp. Daarom heeft het waterschap WR () en Deltares () benaderd om te assisteren met expert kennis. WR heeft een literatuurstudie uitgevoerd van recente publicaties over bovengenoemde aspecten. Deltares heeft aangeboden om uitgaande van de locatie en de doelen aan de ene kant en het ontwerp van ECOFYT aan de andere kant een aanvullend advies te geven met als doelen:

- Welke effectiviteit en bij-effecten zijn te verwachten?
- Hoe kan hier in het ontwerp mee rekening worden gehouden?
- Hoe kan het systeem het beste gemonitord worden?

Het Waterschap heeft specifiek gevraagd om te kijken hoe de grootte van de Bioreactor geminimaliseerd kan worden: uiteraard is voldoende verwijdering van N gewenst, maar een groot filter heeft als nadelen hoge kosten en een groot benodigd oppervlak. Daarom is gevraagd een advies te geven voor een grootte van de bioreactor waarbij weliswaar niet alle stikstof altijd wordt verwijderd maar wel een significant gedeelte, en de grootte van het filter acceptabel blijft.

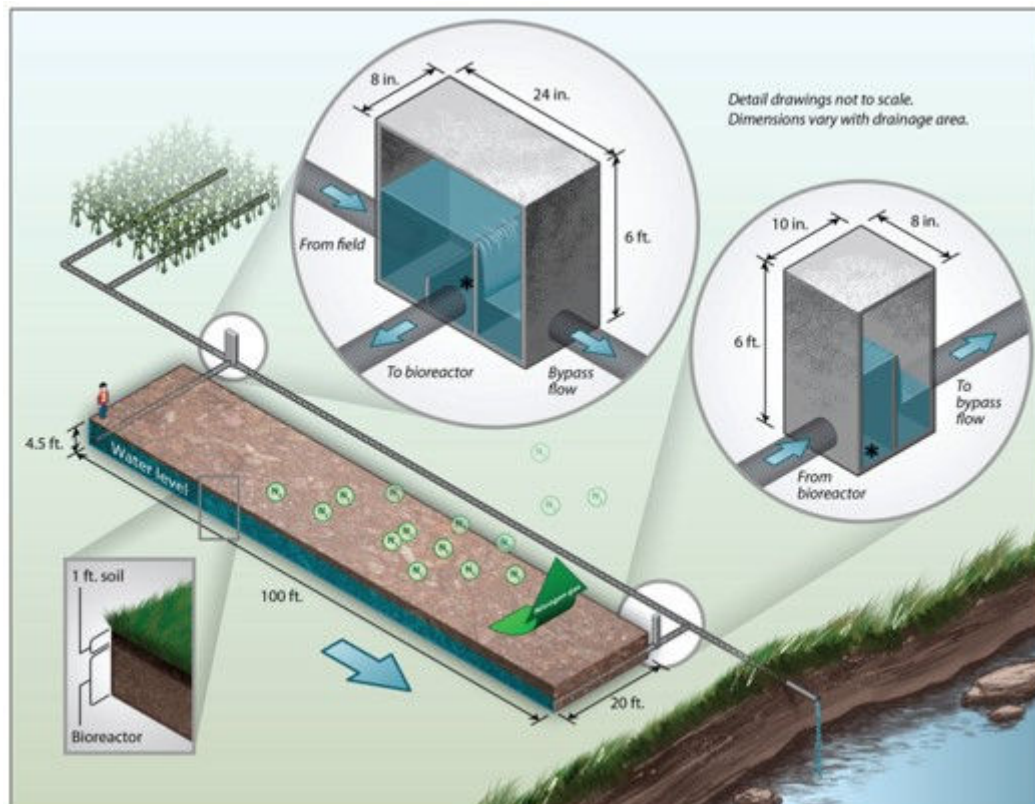
Deltares heeft dit advies gebaseerd op ervaring uit eerdere projecten en bestaande literatuur aan de ene kant en locatiespecifieke gegevens en het ontwerp aan de andere kant.

Voorbeelden van de locatiespecifieke informatie die als randvoorwaarden voor het ontwerp dienen zijn: oppervlakte van het perceel waaruit drainagewater behandeld moet worden, te verwachten debiet en inkomende concentratie N, doel voor N emissie uit woodchip bioreactor, en beschikbaar oppervlak en locatie voor woodchip bioreactor. Waar deze informatie niet exact voorhanden was, is gebruik gemaakt van een inschatting in overleg met het waterschap en WR.

Het advies is primair gericht op het systeem dat op korte termijn aangelegd zal worden. In het advies zal daarnaast op hoofdlijnen worden toegelicht welke aspecten van belang zijn bij eventuele bredere uitrol (welke gebieden zijn geschikt/welke niet, welke locatiespecifieke factoren zijn van belang), maar een gedetailleerde uitwerking daarvan valt buiten deze opdracht.

Algemene eigenschappen en consequenties voor ontwerp, aanleg en monitoring van Woodchip Bioreactors

Woodchip Bioreactors zijn zuiveringssystemen waarin nitraat verwijderd wordt door passage door een bed van houtsnippers. Het werkingsmechanisme is gebaseerd op het feit dat de houtsnippers denitrificatie stimuleren doordat ze langzaam organisch materiaal afgeven die als electronendonor dient voor de denitrificatiereactie waarbij nitraat wordt omgezet in stikstofgas door van nature aanwezige micro-organismen. In de afgelopen decennia is in verschillende landen (vooral Verenigde Staten, VK (Upper Thames), Denemarken, België en Nederland) ervaring opgedaan met deze techniek (o.a. Christianson, 2020; Nuredrain, 2020; Jansen et al., 2019; Upper Thames River, 2019; Plauborg et al., 2021)



Figuur 1: Schematische weergave van woodchip bioreactor (Christianson et al., 2012).

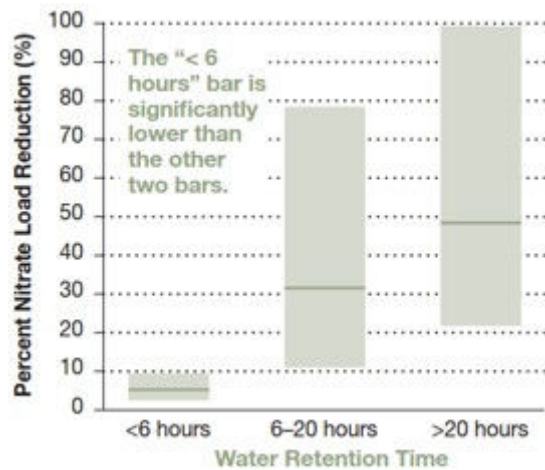
Woodchip bioreactors bieden een aantal grote voordelen (Nuredrain, 2020, Christianson, 2020):

- de techniek is relatief laag-technologisch en eenvoudig, waardoor hij gemakkelijk kleinschalig in het veld kan worden toegepast;
- er is weinig onderhoud nodig;
- het verwijderingsrendement van nitraat is hoog (20-80%).
- de techniek is robuust: ook bij temperatuurfluctuaties over het jaar heen blijft de verwijdering effectief.

Daarnaast zijn er ook een aantal beperkingen:

- ondanks het feit dat het een kleine techniek is, is er toch ruimte nodig;
- bij ongunstige omstandigheden (te lange verblijftijd, te hoge temperatuur, etc) kunnen er ongewenste stoffen gevormd worden, zoals methaan en lachgas;
- vooral aan het begin moet er rekening worden gehouden met uitspoeling van organisch materiaal (en daarmee zuurstofverbruik) en fosfaat.

Met de beperkingen kan worden omgegaan door het woodchip bioreactor goed te beheren, waarbij het vooral belangrijk is om te zorgen voor de juiste verblijftijd (ca. 12-24 uur).



Figuur 2: Effect van verblijftijd (water retention time) op nitraatverwijdering (Percent Nitrate Load Reduction) (Christianson, 2018).

Aangezien de verblijftijd fluctueert met de afvoer, het op voorhand niet mogelijk is om in te schatten hoe snel de houtsnippers organisch materiaal afgeven, en dit met verloop van tijd zal variëren, is het belangrijk om het systeem met enig conservatisme te ontwerpen, maar vooral om te monitoren, en om controlekleppen aan begin en eind van het filter aan te brengen waarmee de verblijftijd kan worden gereguleerd (Figuur 3). Dit biedt ook de mogelijkheid voor een overloopconstructie bij hoge afvoer, waardoor de boer niet geconfronteerd wordt met verhoogde grondwaterstanden.



Figuur 3: Diverse soorten overloop- en controlestructuren om de verblijftijd te reguleren (Thames River, 2019).

Voor het ontwerp van een woodchip bioreactor zijn allereerst de ontwerpuitgangspunten van belang:

- welk debiet aan water moet worden behandeld (m^3/dag , of een afgeleide eenheid);
Indien het debiet niet bekend is, kan dit worden ingeschat aan de hand van de grootte van het afwaterend perceel (ha) en het neerslagoverschot (m/jaar). Het debiet is niet constant, maar varieert over het jaar door variatie in regenval, verdamping, temperatuur, etc. Er zijn in de literatuur verschillende manieren gesuggereerd om hiermee om te gaan, maar gezien de onzekerheden biedt geen van deze benaderingen volledige zekerheid. Daarom raden we aan om uit te gaan van een gemiddelde verblijftijd van ca 12-24 uur uitgaande van de jaargemiddelde afvoer, en daarnaast controlestructuren. Een goed alternatief is om uit te gaan van de gemiddelde afvoer tijdens het drainageseizoen.

- verwachte concentratie nitraat in grond- of drainagewater (influent) en vereiste nitraatconcentratie na het filter (effluent);

Bij de eerdergenoemde verblijftijden is er voldoende verwijdering om een significante verwijdering van N te bewerkstelligen, dus uiteindelijk is de concentratie van N in in- en effluent geen maatgevende factor. Maar Plauborg noemt wel een minimale gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie van $4 \text{ mg/L} = 17,7 \text{ mgNO}_3/\text{L}$. Uiteraard is het wel de moeite waard om voor aanleg na te gaan wat de influent concentratie is en welke concentratieverlaging door het filter gewenst is om na te gaan of aanleg van een woodchip bioreactor zinvol is.

Op basis van het verwachte debiet en de gewenste verblijftijd kan het benodigd volume van het filter worden berekend via:

$$\text{Volume filter (m}^3\text{)} = \text{Debiet (m}^3\text{/dag)} \times \text{Verblijftijd (dag)} / \text{Porositeit (\%)} \quad (1)$$

Voor de porositeit van de houtsnippermassa kan een waarde van ca 65% worden aangenomen.

Voor de diepte van het filter zijn geen strikte richtlijnen, zolang er wordt gezorgd voor uniforme doorstroming (geen dode hoeken) en wordt voorkomen dat er sterk anaerobe zones ontstaan. Dit pleit voor een ontwerp waarbij het filter niet te diep wordt gemaakt. (in de literatuur vind je 1-1,5 m).

Verder moet gezorgd worden dat het water goed door het filterbed heen stroomt. Wanneer er een pomp aanwezig is, kan dit bij verschillende geometrieën worden gerealiseerd, maar zonder pomp moet gezorgd worden voor voldoende verhang. Dan is horizontale doorstroming het meest logisch.

Door het uitstroompunt zo laag mogelijk te kiezen kan voorkomen worden dat er water stil blijft staan in het filter en anaerobe condities ontstaan.

Vlak na de start van een woodchip bioreactor kunnen er verhoogde concentraties fosfaat, opgelost organisch koolstof (DOC) en CZV uitspoelen. Bij goede aanleg en beheer nemen deze concentraties vervolgens af. Om deze concentraties te verlagen, kan het effluent eventueel nog nabehandeld worden, bijvoorbeeld met een grintbedje (fig 4)

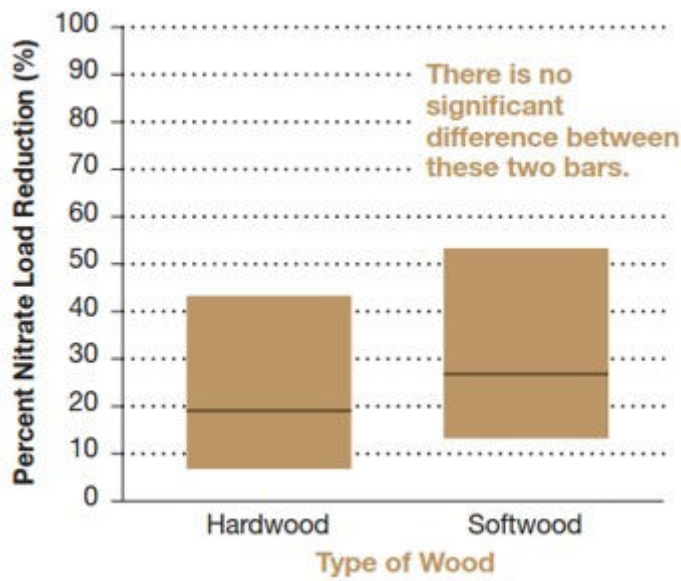


Figuur 4: Methoden om het effluent uit de bioreactor na te behandelen (Thames River, 2019)

Een aantal aandachtspunten bij de keuze van houtsnippers (Christianson, 2018):

- sommige snelgroeiende soorten, zoals wilg, kunnen kort na aanleg van de bioreactor meer organisch materiaal afgeven;
- sommige soorten, zoals ceder, geven antimicrobiële of anti-schimmel stoffen af.
- het belangrijkste zijn de vorm en grootte. De houtsnippers moeten weinig puin of fijn materiaal bevatten, tussen de 1 en 5 cm zijn, en vrij hoekig van vorm.

Voor de keuze van de houtsnippers raden we hout van lokale herkomst aan. In de literatuur is geen groot verschil tussen houtsoorten gevonden. Keuze van houtsnippers van verre herkomst leidt tot langer transport, en daarmee tot een hogere klimaatvoetafdruk.



Figuur 5: Effect van type hout (hardwood = loofhout; softwood = naaldhout) op nitraatverwijdering (Nitrate Load Reduction) (Christianson, 2018).



- Avoid woodchips from treated wood, as they limit the ability of the microbes to use the carbon in the wood.
- Avoid woodchips containing a high proportion of leaves or conifer needles, as their high nitrogen content will degrade the woodchips more quickly and reduce the longevity of the biofilter.
- Limit the amount of fine material (i.e., sawdust) in the woodchips. Too much fine material may alter the flow rate and the biofilter will not function as designed.

Figuur 6: Adviezen met betrekking tot type houtsnippers (Thames River, 2019)



Figuur 7: Adviezen met betrekking tot type houtsnippers (Christianson, 2018)

Uitgangspunten en ontwerp zijn door ECOFYT in twee ontwerpen (V3 en V4) beschreven (ECOFYT, 2022A; ECOFYT, 2022B). Deltares heeft deze ontwerpen met ECOFYT doorgesproken.

Ontwerp V4 gaat uit een een rechthoekig, relatief diep gelegen houtsnipperbed. De verwachting is dat dit niet uniform doorstroomd zal zijn. Daarom gaat de voorkeur uit naar variant V3. In de hierna volgende bespreking gaan we dan ook alleen in op die variant.

Het systeem moet het water van een perceel ter grootte van 4,5 ha behandelen dat via peilgestuurde drainage afwatert. Het laagste drainagepeil is 29,44 m, het hoogst instelbare peil is 29,94m t.o.v. NAP. De drains liggen op -0.90 m onder maaiveld.

Het WCB is ontworpen met een volume van ca. 256 m³ (lengte: ca. 85,00 m, breedte bodem: 3,00 m, gem. breedte top: 5,00 m, gem. diepte: 0,75 m).

De verblijftijd (Hydraulic Retention Time, HRT) is door ECOFYT als volgt berekend:

'De piek in het drainagegedebiet in de winter zal variëren tussen 2,56 en 7,00 m³/u ofwel 61,5 tot 168 m³ per dag. Uitgaand van een porositeit van 65% zou, bij volledige saturatie de verblijftijd tijdens piekafvoer ca. 1,0 tot 2,7 dagen zijn. Indien waterpeil op top minus 0,20 m wordt gehouden, is dat 15 uur tot 41 uur (0,6-1,7 dag).'

In deze analyse is uitgegaan van pieken. Deze pieken komen echter slechts een klein deel van de tijd voor, waardoor de Bioreactor onnodig groot wordt door. Het lijkt ons beter om uit te gaan van de gemiddelde jaarafvoer, of van de basisafvoer tijdens drainageseizoen.

Uitgaande van het gemiddelde jaarafvoer nemen we het gemiddelde neerslagoverschot (ca 0,3 m/jaar), wat voor een perceelgrootte van 4,5 ha leidt tot een jaargemiddeld debiet van 13.500 m³/jaar (=37 m³/dag = 1,5 m³/uur). Bij een verblijftijd van 12 uur leidt dit tot een vochtvolume van 12 uur x 1,5 m³/uur = 18 m³. Uitgaande van een porositeit van 65% leidt dit tot een totaalvolume van 18 m³ / 65% = 28 m³.

Bij een basisafvoer van 2 mm/dag komen we uit op een debiet van 90 m³/dag. Bij een verblijftijd van 12 uur leidt dit tot een vochtvolume van 12 uur x 3,75 m³/uur = 45 m³.

Uitgaande van een porositeit van 65% leidt dit tot een totaalvolume van 18 m³ / 65% = 69 m³. De bioreactor kan dus een stuk kleiner dan in het oorspronkelijke ontwerp van ECOFYT, we stellen voor de zekerheid een grootte voor van 70 m³, dan is er nog enige veiligheidsmarge.

Let op: ik krijg de berekening van ECOFYT niet kloppend. De stap van piek in drainagegedebiet naar m³/dag lijkt te kloppen, maar ik kom met 256 m³ op een grotere verblijftijd uit.

Hoe sterk neemt het zuiveringsrendement af bij afnemende verblijftijd? De variatie in rendement en verblijftijd uit de literatuur heeft een grootte bandbreedte. Met de hierboven geadviseerde grootte zitten we in ieder geval niet aan of onder de ondergrens. We raden aan hiermee te starten en te meten wat het resulterende rendement is.

Beoordeling ontwerp wat betreft andere punten:

- Doorstroming van het filter: zoals gezegd is voldoende uniforme doorstroming van belang. In eerste instantie riep de vorm van het filter met de scherpe hoek vragen op in hoeverre de doorstroming voldoende door het volledige filterbed zou gaan. Dit is besproken met ECOFYT, waarbij werd toegelicht dat de aanwezigheid van een folie onder en langs de randen zou zorgen dat de waterstroom voldoende door het bed zou plaatsvinden. Een folie aan de onderkant is ook logisch vanwege hoge grondwaterstanden en om kwel/wegzijging te voorkomen die mogelijk het rendement kunnen verstoren. (Wanneer dit systeem goed werkt en wordt echter aangeraden zo min mogelijk folies te gebruiken: de minimaliseert de hoeveelheid plastic en graafwerk.) ECOFYT gaf aan op basis van ervaring met soortgelijke systemen voldoende vertrouwen op de doorstroming te hebben. De reden dat voor de bocht is gekozen, is omdat het vanwege het verhang in de beek gunstig is om het lozingspunt niet te ver stroomopwaarts te hebben. Dit kan eventueel ook met een pijp worden opgelost,

waardoor de haarspeldbocht kan worden vermeden.. Bij een aangepaste grootte van het de reactor kan dit overeenkomstig worden aangepast.

- Bovenafdichting: We raden aan het filter van boven niet af te dekken met grond of folie, maar met houtsnippers. Grond zal door de houtsnippers heen bewegen naar beneden en belemmert de inspectie en de gasuitwisseling (zuurstof) van het filter. Daarnaast zal aanvullen van houtsnippers regelmatig nodig zijn. Hoe vaak en veel is op voorhand niet te zeggen en moet dus door monitoring bepaald worden; we verwachten een orde grootte van 2-5 jaar. De Denen schatten 7-10 cm per jaar bij een dikte van ik meen 1,5 meter, dus dat is hier wellicht de helft, zeg 5 cm/jaar. We raden aan de zakking van het filter met één of meer peilstokken te monitoren. Hiervoor kunnen gemarkeerde grondwaterpeilbuizen benut worden. Mede daarom is het niet handig het filter af te dekken met bodemmateriaal.

- Om voldoende doorstroming van het filter te realiseren is het belangrijk om bij begin en einde de vloeistofstroom te verdelen/geleiden over de volledige breedte en hoogte. Dit is in het ontwerp goed gedaan door middel van drainagebuizen aan begin en einde van het filter.

- Er is in het ontwerp rekening gehouden met voldoende hoogteverschil tussen begin en eind van het filter om voldoende stroming te genereren. Zo worden stagnante zones voorkomen. Voor de zekerheid kan een mobiel pompje met accu achter de hand gehouden worden om, in geval ongewenste sulfide- of methaanvorming optreedt, het laatste stagnante water weg te pompen. We stellen voor om een los pompje op een accu aan te brengen indien nodig. De noodzaak kan worden bepaald aan de hand van de afnemende nitraatconcentratie (< 1 mg/L), bijv met Nitratecheck of de Nitrate-app, of met een redox meting. Maar ook de in en uit debieten geven in combinatie met waterpeil in het filter een aanwijzing van stagnerend water .

- Op verschillende punten in het ontwerp zijn controlestructuren aangebracht om de hoogte van in- en uitstroom te reguleren. Dit is goed, want dit biedt de mogelijkheid om verblijftijd te reguleren en een overloop mogelijk te maken bij piekbelasting. En in te grijpen bij stagnerend water. De structuren die nu worden voorgesteld zijn door ECOFYT ontworpen. We raden aan om ook te kijken welke structuren op de markt aanwezig zijn, o.a. bij Agridrain.

- Welk materiaal?

We raden aan loofhout te gebruiken met zo min mogelijk bladafval. De houtsnippers moeten weinig puin of fijn materiaal bevatten, tussen de 1 en 5 cm zijn, en vrij hoekig van vorm. Gebruik bij voorkeur lokaal hout. Hiervoor kan bijvoorbeeld worden nagevraagd bij het Limburgs Landschap, SBB of Natuurmonumenten.

- Voorkomen zuurstofloosheid/sulfide- of methaanvorming: hiervoor is het nodig om lange lange stagnante situaties te voorkomen. Dat kan deels door de gekozen verblijftijd, en deels door controlestructuren waarmee versneld water kan worden doorgelaten vanaf het moment dat het water stil dreigt komen te staan en de redox potentiaal teveel dreigt te gaan zakken. Aan de ene kant kan de nitraatgehalte bij het effluent of in het filterbed hiervoor als maat worden genomen: wanneer deze te laag wordt, duidt dit er op dat de nitraat volledig op is, en de redoxpotentiaal verder zal gaan dalen. Aan de andere kant komt dit vrij nauw en is dit bij zeer lage nitraatconcentratie. De redoxpotentiaal is de meest directe maat, maar heeft als nadeel dat dit goede meting ter plekke en interpretatie vereist, en dus ingewikkeld kan zijn. De meest directe maat is het waterpeil en debiet bij in- en uitstroom en het waterpeil in het filterbed. Wanneer het waterpeil en debiet bij de instroom begint te dalen en lager is dan bij de uitstroom, en het waterpeil in het filterbed ook begint te zakken, is het tijd om in te grijpen. Ook de temperatuur speelt hierbij een rol: bij hogere temperatuur (in de zomer) is dit kritischer dan bij lagere temperatuur (in de winter).

Bij het uitstroompunt naar de beek kan het water worden geleid over een grindbedje, voor het geval er veel DOC (met hoog CZV met kleur) in zit (zie voorbeelden van Thames River).

Advies monitoring:

- Metingen vooraf

Op dit moment zijn er van de locatie nog geen getallen voorhanden van de nitraat- en totaal-N-concentratie en het debiet. We raden aan om dit een aantal malen gedurende het

winterseizoen via veldmetingen te bepalen. Uiteraard zullen dit momentopnames zijn, maar het geeft wel een indruk. Criterium in DK is $>17,7$ mg/L NO₃

- Debiet inflow en uitflow

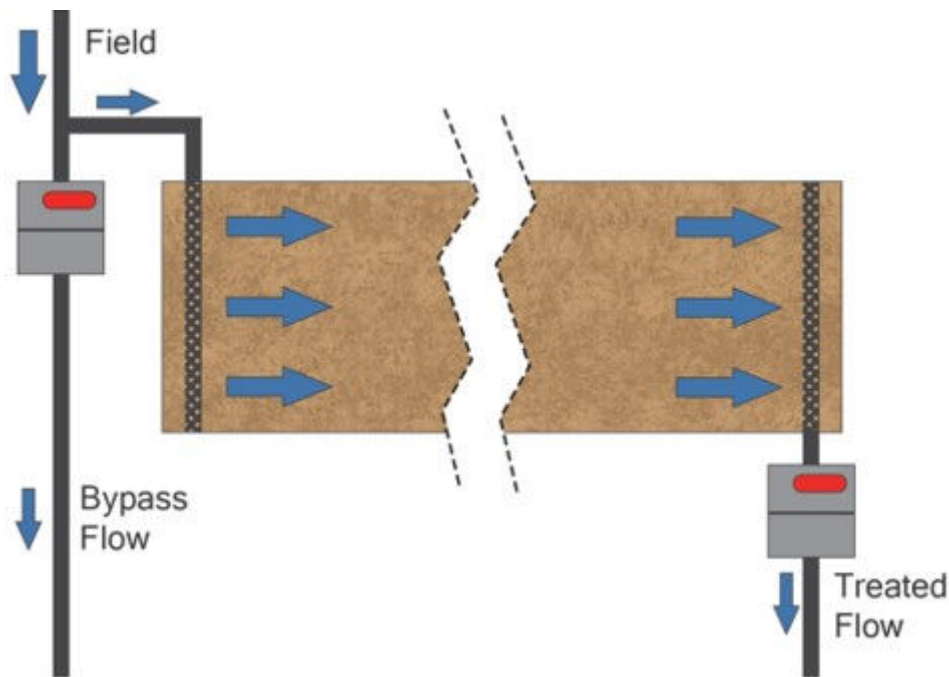
We raden aan om i.c.m. hoogtemeting van het waterpeil wel te zorgen dat zowel de instroom naar houtsnipperfilter als de bypass wordt bemeten. De hoogtemeting geldt dan als extra signaal van inschakelen de bypass.

- Vloeistofniveau in filter (waterstandsmeter)

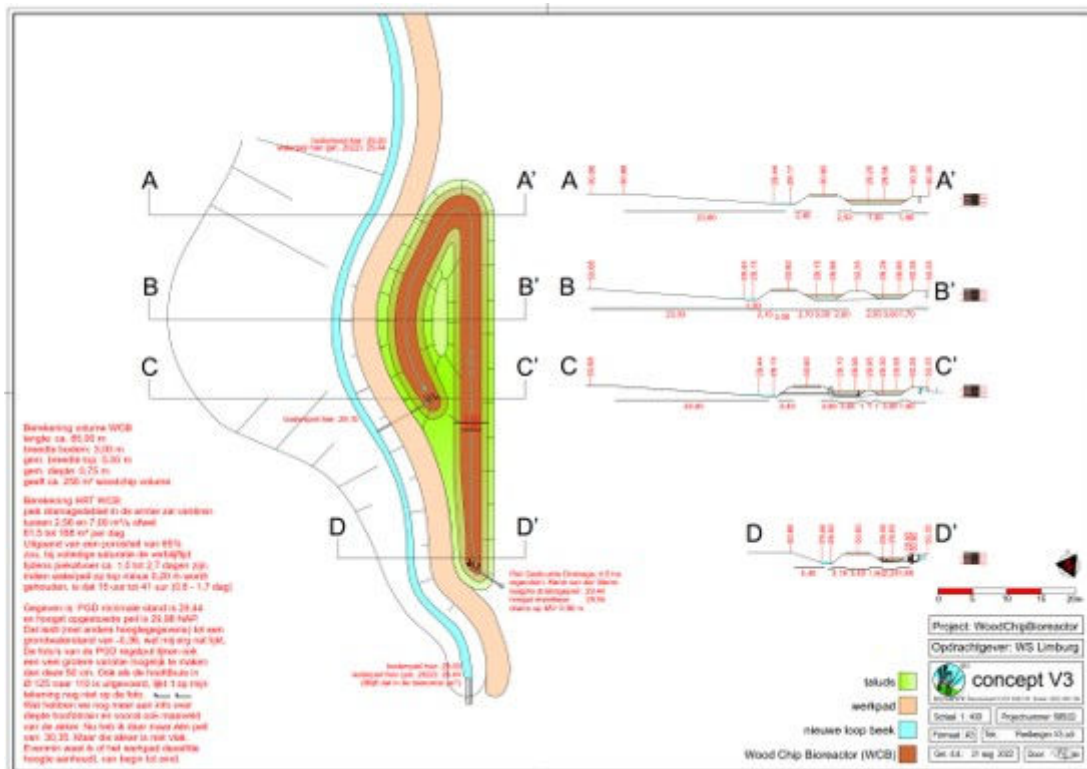
- Waterkwaliteit in- en uitflow

- Alg.: Temperatuur, pH, EGV
- Nutriënten: N-totaal, Nitraat, Nitriet, N-organisch, ammonium, P-totaal, ortho-fosfaat
- Redox: zuurstof, Dissolved Organic Carbon (DOC), zuurstofverbruik (CZV), sulfide
- Overige kationen en anionen: Cl, HCO₃, Ca Mg Na K Fe Al Mn; dit om relaties te kunnen afleiden met EGV en de nutriënten parameters. (Aangezien deze parameters geen betrekking hebben op de primaire vragen rond verwijderingsefficiëntie en bij-effecten kunnen deze metingen beperkt blijven. Aangezien deze metingen relatief eenvoudig zijn en er toch al monsters worden gedaan raden we wel aan de analyses op een aantal momenten uit te voeren, temeer aangezien het mogelijk tot meer en nuttig inzicht leidt die kan helpen bij het verbeteren van het filter.)
- N₂O en CH₄ gas: Zinvol om te meten om te demonstreren of bij het oplossen van het N probleem deze technologie geen ander probleem (broeikasgassen) genereert. We raden meting aan bij drain-instroom (referentie) en -uitstroom (test), en bovenop het filter. Na meting is het belangrijk om de gemeten waarde te vergelijken met de referentie, en daarna met de benchmark voor lachgasemissie. Ter relativering kan worden opgemerkt dat het stikstof ook zonder houtsnipperfilter elders in het watersysteem zou reageren, waarbij ook N₂O gevormd kan worden (Christianson, 2020)
- We raden aan ook een paar peilbuizen te plaatsen om het water in het filter te kunnen meten (niveau en chemie). Zo kan nagegaan of er stagnatie van water plaatsvindt. Van die peilbuizen kunnen gelijk peilstokken gemaakt worden.
- Optioneel kunnen gewasbeschermingsmiddelen meegenomen worden om zuivering ervan in te schatten. Kies dan die soorten die in het gebied een probleem vormen (en gebruikt worden op het perceel).
- Voor het moerasfilter is ook een visuele beoordeling wenselijk: hoe ziet het er landschappelijk en ecologisch uit. Visuele inspectie kan ook bij het houtsnipperfilter geen kwaad: door regelmatig foto's te nemen kan worden bijgehouden of er opvallende ontwikkelingen optreden.

In Christianson (2020) wordt uitgebreid beschreven welke monitoring kan worden toegepast.



Figuur 8: Opzet voor flow meting bij een bioreactor met overflow. (Christianson, 2020)



Figuur 9: Initieel ontwerp woodchip bioreactor ECOFYT.

Literatuur

- Christianson, L.E. et al., 2012, A practice-oriented review of woodchip bioreactors for subsurface agricultural drainage. Applied engineering in agriculture. Vol 28(6): 861-874.
- Christianson, L.E. et al., 2020, Effectiveness of denitrifying bioreactors on water pollutant reduction from agricultural areas. Transactions of the ASABE, Vol. 64(2): 641-658.

- Christianson, 2018, Woodchip bioreactors; A science based option to reduce nitrate loss. University of Illinois. Informatiebrochure.
- Nuredrain, 2020, Wood chip bioreactor fact sheet.
- Thames River, 2019, Woodchip biofilters; A best management practice for reducing nutrient loss in drainage water. Upper Thames River Conservation Authority Biofilter Manual.
- Jansen et al, 2019. Passive dosing of organic - substrates for nitrate-removing bioreactors applied in field margins. J. Environ. Qual. 48:394–402.
- Plauborg et al., 2021, Design manual for mini wetlands with woodchips filter matrix based on the MMM project. DCA report no. 190, June 2021. Aarhus university.
- <https://engineering.purdue.edu/watersheds/conservationdrainage/bioreactors.html>