



Advies aanleg infiltratiegreppels

R.P.J.J. Rietra, W.M. Savonije en P.N.M Schipper



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Advies aanleg infiltratiegreppels

R.P.J.J. Rietra, W.M. Savonije en P.N.M Schipper

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoeksthema 'A1 Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' (projectnummer BO-43-101-100).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, december 2024

Gereviewd door:
Frank van de Bolt, onderzoeker WENR

Akkoord voor publicatie:
Gert Jan Reinds, teamleider van Duurzaam Bodemgebruik

Rapport 3387
ISSN 1566-7197

In de Nutriënten-Verontreinigde gebieden (NV-gebieden) met alleen verontreiniging van fosfor en waar de biologie niet voldoet aan de ecologische doelstelling, worden maatregelen overwogen om de fosforbelasting van oppervlaktewater te verlagen. Eén maatregel die overwogen wordt, is het opvangen van oppervlakkige afspoeling van fosfor (P) via het laten infiltreren van water in infiltratiegreppels. Het Ministerie van LNVN heeft advies gevraagd over de beste ligging, breedte en diepte van infiltratiegreppels in bufferstroken, en de afwegingen om te komen tot effectieve en werkbare infiltratiegreppels.

Trefwoorden: infiltratiegreppel, fosfor, fosfaat, zaksloot, wadi, bezinkgreppel, nutriënten-verontreinigde gebieden.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/677045> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

Verantwoording	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Onderzoeksvragen	9
1.3 Achtergrond	10
1.4 Leeswijzer	11
2 Infiltratiegreppels in onderzoek, demo's en adviezen	12
2.1 Werking van infiltratiegreppels	12
2.1.1 Variërende definities infiltratiegreppel	12
2.1.2 Relatie tussen afstroming van water en afspoeling van P	12
2.2 Factsheets	13
2.3 Praktijkvoorbeelden	15
3 Adviezen	18
3.1 Infiltratiegreppels als maatregel	18
3.2 Waar infiltratiegreppels?	18
3.3 Adviezen voor uitvoering	19
Literatuur	21

Verantwoording

Rapport: 3387

Projectnummer: 5200048493

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker

naam: Frank van der Bolt

datum: 28 oktober 2024

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 4 november 2024

Samenvatting

In de Nutriënten-Verontreinigde gebieden (NV-gebieden), die Nederland in het kader van de derogatiebeschikking heeft aangewezen, wordt de stikstofgebruiksnorm in 2025 met 20% verlaagd. Dit geldt ook voor de NV-gebieden die zijn aangewezen vanuit het oppervlaktewater met een verontreiniging met alleen fosfor en waarbij de biologie niet voldoet aan de ecologische doelstelling. In die gebieden overweegt het Ministerie van LNVN alternatieve maatregelen om de fosforbelasting van oppervlaktewater te verlagen.

Eén maatregel die overwogen wordt, is het opvangen van oppervlakkige afspoeling van fosfor (P) via het laten infiltreren van water in infiltratiegreppels. Het Ministerie van LNVN heeft advies gevraagd over de beste ligging, breedte en diepte van infiltratiegreppels in bufferstroken, en de afwegingen om te komen tot effectieve en werkbare infiltratiegreppels. In demonstratieprojecten is praktijkervaring opgedaan met diverse infiltratiegreppels en vermindering van de oppervlakkige afstroming van water. Op basis van deze ervaringen en beschikbare kennis wordt geadviseerd om infiltratiegreppels in bufferstroken (evenwijdig aan de sloot) aan te leggen en, indien er greppels in een perceel worden gemaakt, dat deze aansluiten op de infiltratiegreppel in de bufferstrook. Verder wordt geadviseerd om rekening te houden met P-rijk sediment bij onderhoud van infiltratiegreppels. Het gebruik van compost om instorten van wanden van greppels te voorkomen, wordt afgeraden omdat compost, dat een meststof is, juist veel fosfor bevat die met het afstromen in het oppervlaktewater terecht kan komen. Bedacht moet worden dat kennis over de effectiviteit van infiltratiegreppels beperkt is, omdat er geen veldexperimenten zijn uitgevoerd om de effecten daarvan op het verminderen van P-afspoeling kwantitatief te bepalen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

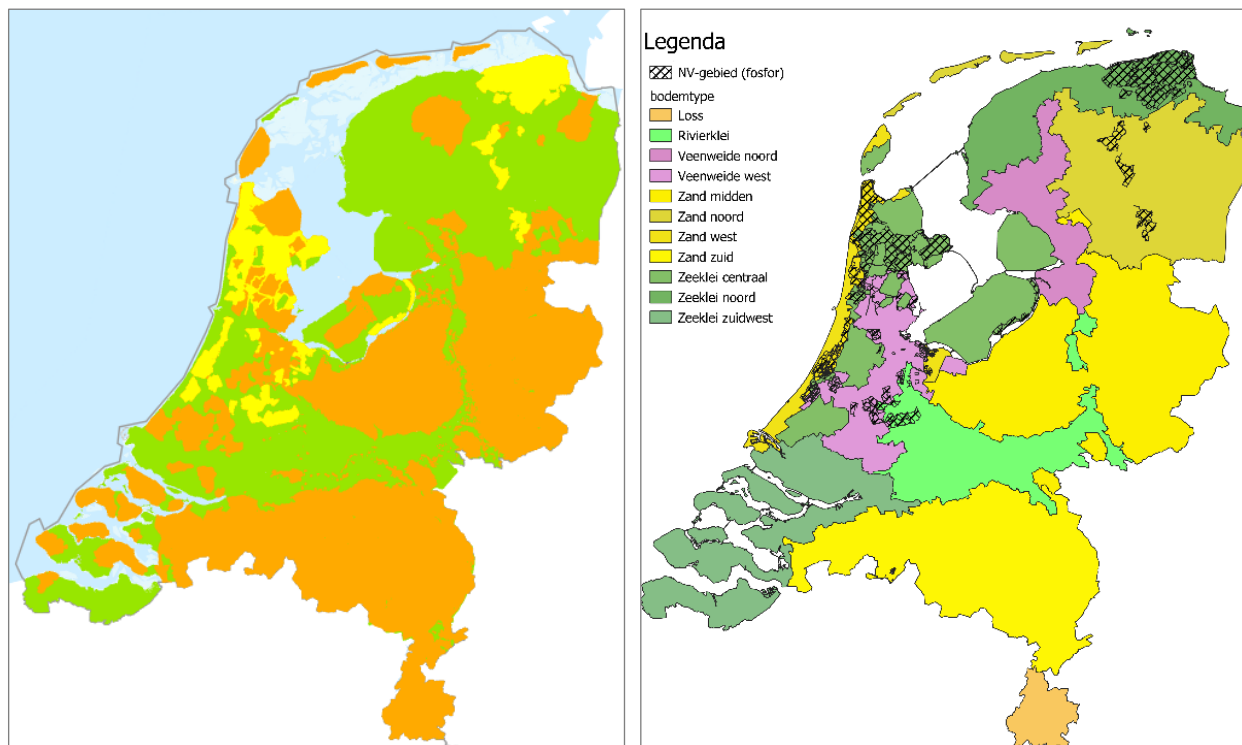
In de Nutriënten-Verontreinigde gebieden (NV-gebieden), die Nederland in het kader van de derogatiebeschikking heeft aangewezen, wordt de stikstofgebruiksnorm in 2025 met 20% verlaagd. Dit geldt ook voor de NV-gebieden die zijn aangewezen vanuit het oppervlaktewater met een verontreiniging met alleen fosfor en waarbij de biologie niet voldoet aan de ecologische doelstelling. De verwachting is dat het verlagen van de stikstofgebruiksnorm in de NV-gebieden voor fosfor meestal niet leidt tot een lagere fosforbelasting van het oppervlaktewater. Het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LNV) wil daarom alternatieve maatregelen nemen om de bijdrage van landbouw aan fosforbelasting van oppervlaktewater te verlagen. De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) heeft een inventarisatie gemaakt van alternatieve maatregelen [1] die effectief kunnen zijn om de fosforbelasting vanuit landbouwgronden in die gebieden te verminderen. Een van de acht maatregelen die in dit CDM-advies zijn opgenomen, is het opvangen van oppervlakkige afspoeling¹ van fosfor via het laten infiltreren en/of bezinken van water in infiltratiegreppels, bezinkgreppels of opvangbassins [1].

1.2 Onderzoeksvragen

Op basis van dit advies wil LNV op bouwland infiltratiegreppels in de bufferstrook voorschrijven in de NV-gebieden die zijn aangewezen vanwege alleen een overschrijding van het KRW-doel voor fosfor (zie Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.). Deze voor fosfor nutriënt-verontreinigde gebieden liggen voornamelijk in kleigebieden, en daarnaast ook in de westelijke Veenweide en het noordelijke Zandgebied. De vragen voor het onderhavige advies zijn:

- Wat is de beste ligging van de infiltratiegreppel in de bufferstrook (bijvoorbeeld in het midden van de bufferstrook of langs het gewas)?
- Wat zijn de afwegingen qua effectiviteit voor het voorkomen van afspoeling en werkbaarheid in de praktijk voor de te hanteren breedte en diepte van de infiltratiegreppel (in de bufferstrook)?

¹ We gebruiken hier de volgende termen: afstromend water en afspoeling van stoffen.



Figuur 1 Gebieden die als nutriënt verontreinigd zijn aangewezen. De geelgekleurde gebieden zijn aangewezen alleen omdat hier het KRW-doel van fosfor in oppervlaktewater wordt overschreden (figuur links: aangepaste versie uit [2], van RVO). Rechts zijn deze gebieden geprojecteerd op de vereenvoudigde bodemtypekaart van Nederland.

Om deze vragen te beantwoorden, is de beschikbare kennis over de werking en ervaring met infiltratiegreppels in de Nederlandse praktijk verzameld. De ervaringen in de praktijk zijn verzameld via vertegenwoordigers van waterschappen in de landelijke themagroep Landbouwmismissies.

1.3 Achtergrond

De Kaderrichtlijn Water (KRW)-doelen voor de waterkwaliteit worden in bijna de helft van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen belemmerd door de hoge stikstof- en fosforconcentraties die het gevolg zijn van de hoge nutriëntenbelasting [3]. Af- en uitspoeling van stikstof en fosfor vanaf landbouwpercelen levert in veel van die oppervlaktewaterlichamen een belangrijke of zelfs dominante bijdrage [4-6]. Voor fosfor is hierbij de oppervlakkige afstroming van water een belangrijke route. Dit treedt zomers vooral op, wanneer regenbuien of irrigatie meer water aanvoeren dan de infiltratiecapaciteit van de bodem kan verwerken [7]. In de winter komt oppervlakkige afstroming vaak voor door hoge grondwaterstanden, waardoor de bodem slechts een beperkte capaciteit heeft om extra water op te nemen [7]. Er is eerder een schatting gemaakt van de afstroming van water in Nederland. Van Bakel et al. [8, 9] berekenden 0 tot 10 mm per jaar bij zandgronden en 10 tot 50 mm per jaar bij kleigronden.

Oppervlakkige afstroming van een perceel neemt vaak toe naarmate de afvoerroute langer wordt en er meer water bijkomt [10]. Om de gevolgen van deze afstroming en de daarmee gepaard gaande afspoeling te beperken, zijn maatregelen die de infiltratiecapaciteit van de bodem bevorderen zeer effectief. Daarom wordt vaak een combinatie van maatregelen geadviseerd om de oppervlakkige waterafvoer te verminderen [1]. Als oppervlakkige afstroming toch optreedt, kan het effect op de waterkwaliteit worden beperkt door deze waterstroom op een extra plek op te vangen waar het kan infiltreren, zoals in een infiltratiegreppel. Het hierin aanwezige fosfor kan dan voor een deel bezinken en komt dan niet in de naastgelegen sloot of ander type watergang terecht.

De risico's voor oppervlakkige afstroming zijn gedetailleerd op perceelsniveau in kaart gebracht en bekend [11]. Dit gedetailleerde inzicht in waterstromen op percelen biedt landbouwers de mogelijkheid om specifieke maatregelen te kiezen die het best passen bij de locaties met het grootste risico op afspoeling en afstroming. Door deze informatie te koppelen aan tools zoals de KringloopWijzer [12] en de Bedrijfswaterwijzer [13], kunnen boeren maatregelen implementeren die zowel economisch als milieutechnisch voordelig zijn. De KringloopWijzer helpt boeren bij het monitoren en optimaliseren van kringlopen van stikstof en fosfor, zodat de milieu-impact wordt verminderd. Daarnaast wordt het toepassen van een goede agrarische praktijk steeds belangrijker in de context van duurzaamheid en waterbeheer. Met de softwaretool Bedrijfswaterwijzer wordt voor een melkveebedrijf de watersituatie in kaart gebracht voor diverse (zeven) waterthema's, waaronder oppervlakkige afspoeling. De tool kan gebruikt worden om de geschiktheid van de maatregel op perceelsniveau te bepalen.

Het implementeren van anti-afstromingsmaatregelen kan leiden tot verminderde bodemuitspoeling en een betere infiltratiecapaciteit van de bodem, wat uiteindelijk bijdraagt aan een efficiëntere waterhuishouding. Beloningen en stimulansen voor dergelijke maatregelen komen onder andere voort uit het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB). Het GLB biedt financiële steun en subsidies aan landbouwers die investeren in duurzame technieken en maatregelen om erosie te beperken, zoals het aanleggen van bufferstroken, het verhogen van de organische stof in de bodem en het verbeteren van de waterinfiltratie. Deze regelingen maken het aantrekkelijker voor boeren om deel te nemen aan milieuvriendelijke praktijken, terwijl ze tegelijkertijd hun productiviteit kunnen waarborgen.

Infiltratiegreppels kunnen de afspoeling van fosfor naar oppervlaktewater verlagen. Het effect van infiltratiegreppels op het verminderen van oppervlakkige afstroming vanaf percelen is gemodelleerd voor verschillende bodemtypen, waarbij is aangetoond dat maatregelen in percelen inderdaad kunnen leiden tot minder waterafstroming en een kleinere kans op erosie [7]. Recentelijk zijn diverse praktijkproeven naar infiltratiegreppels uitgevoerd.

Hoewel infiltratiegreppels helpen om de algehele afstroming te beperken, blijven de momenten met de hoogste afspoeling – zoals na intense regenbuien – vaak de grootste bijdrage leveren aan het totale afspoelingsvolume [7]. Dit komt doordat een groot deel van de jaarlijkse afspoeling meestal wordt veroorzaakt door een paar extreme weersomstandigheden. Hoewel duidelijk is dat deze piekbuien verantwoordelijk zijn voor een aanzienlijk deel van de afspoeling in millimeters per jaar, is het nog niet volledig vastgesteld of deze extreme gebeurtenissen ook de grootste bijdrage leveren aan de afspoeling van fosfor. Fosforafspoeling is complex en hangt niet alleen af van de intensiteit van de afstroming, maar ook van de toestand van de bodem ten aanzien van de aanwezigheid van de verschillende verschijningsvormen van fosfor in en op de bodem, de binding daarvan aan de bodemdeeltjes en de factoren die erosie van bodemdeeltjes bepalen [14]. Er zijn geen onderzoeken bekend waar de effecten van infiltratiegreppels op het verminderen van de afspoeling van fosfor in de praktijk met veldexperimenten zijn gemonitord, de onderzoeken zijn uitsluitend gericht op hoeveel afstromend water wordt afgevangen.

1.4 Leeswijzer

Paragraaf 2.1 bevat de wetenschappelijke achtergrond voor de werking van infiltratiegreppels. Paragraaf 2.2 behandelt de verschillende factsheets die hierover zijn opgesteld. Factsheets worden hier apart besproken t.o.v. onderzoeken en demo's. In paragraaf 2.3 wordt een overzicht gegeven van onderzoeken na de effecten van infiltratiegreppels in de Nederlandse praktijk. Voor diverse van deze praktijkvoorbeelden is contact opgenomen met betrokken waterbeheerders om verder inzicht te krijgen in de ervaringen over de aanleg, dimensionering, lay-out, bodembewerkingen en onderhoud. Op basis van de beschikbare kennis over de werking en ervaringen in de praktijk wordt in hoofdstuk 4 advies gegeven over de plekken op percelen om infiltratiegreppels aan te leggen en de daarbij te adviseren aanleg en dimensionering.

2 Infiltratiegreppels in onderzoek, demo's en adviezen

2.1 Werking van infiltratiegreppels

2.1.1 Variërende definities infiltratiegreppel

Infiltratiegreppels hebben tot doel om oppervlakkige afstroming naar oppervlaktewater te voorkomen. De werking berust op het achtereenvolgens afvangen, bergen en laten infiltreren van oppervlakkige afvoer. Het betreft een tijdelijke dan wel permanente sleuf in de grond, met variërende dieptes en breedtes die niet in contact staan met oppervlaktewater. In Nederland worden soms ook de volgende termen gebruikt: infiltratiesloot, zaksloot, wadi of bezinksloot. Het betreft dan steeds waterlopen die vaak droog staan en niet in verbinding staan met enig ander oppervlaktewater. In de volgende paragraaf worden enkele verwante definities en concepten toegelicht die belangrijk zijn voor een beter begrip van infiltratiegreppels.

'Infiltratiegreppels in percelen' is een nieuw concept dat sterk lijkt op andere concepten, maar daar niet mee verward moet worden. Waterconservering via greppels in percelen in combinatie met dammetjes is een oude techniek in met name Afrika [15] die in moderne permacultuur gepropageerd wordt, en wordt bijvoorbeeld in België gesubsidieerd [16], maar het gaat dan om blijvende maatregelen. Het concept is ook in het buitenland (Tsjechië) getest, maar dan als een rij gaten [17]. Infiltratiebekkens aan de rand of buiten percelen zijn bekend in agrarische en stedelijk landschap. Ze hebben hetzelfde doel als infiltratiegreppels. Ze worden uitgebreid gebruikt in Europa [18, 19] en Amerika ("swales", "stormwater filtering systems") [20, 21]. Voor het extra afvangen van stoffen, en ook voor fosfor, zijn diverse infiltratiebekkens ("surface flow constructed wetlands") [18, 19] of wadi's in de praktijk getest [22]. Ook in deze gevallen betreft het blijvende maatregelen. In een aantal gevallen is ook het gebruik van extra filtermaterialen om fosfaat te verwijderen getest [23-25]. In het buitenland worden, voor zover de auteurs kunnen overzien, geen infiltratiegreppels gebruikt. Er zijn wel voorbeelden van andere maatregelen om P-afspoeling te verminderen, maar de effecten lopen uiteen [18].

Greppels worden al heel lang gemaakt om waterafvoer naar oppervlaktewater te versnellen. Het verschil tussen gewone greppels en infiltratiegreppels is: met gewone greppels wil je water zo snel mogelijk afvoeren, terwijl je met infiltratiegreppels water zo veel mogelijk wilt vasthouden. De techniek is grotendeels identiek, en kan daarom kunnen greppels eenvoudig verward worden met infiltratiegreppels.

De infiltratiegreppel, zoals voorgesteld wordt in factsheets (zie volgende hoofdstuk), betreft in veel gevallen een relatief ondiepe greppel (30 cm) die door een greppelfrees wordt gemaakt of een smalle (10 cm) en relatief diepe greppel (tot max. 70 cm) die door een sleuvenfrees wordt gemaakt. Informatie over de breedte en diepte van sleuven die je kunt maken met een sleuvenfrees en greppelfrees wordt gegeven op websites van producenten, zoals AP machinebouw, Boxer Agri, DeVos, Cosmeco, Dondi, Kraffter, Zibo etc. Als zo'n infiltratiegreppel dieper is dan de fosfaatrijke bovengrond (30 à 40 cm), dan kan het fosfaat uit het afgespoelde water in de greppel binden aan de relatief fosfaatarme bodemlaag (dieper dan 30 à 40 cm -mv). Dit is nog niet onderzocht, voorzover bekend bij de auteurs.

2.1.2 Relatie tussen afstroming van water en afspoeling van P

Afspoeling van water in bouwland leidt tot afspoeling van fosfor, maar er is geen eenvoudige relatie [14]. De af- en uitspoeling van stikstof en fosfor naar oppervlaktewater wordt daarom berekend met het computermodel ANIMO [26]. De oppervlakkige afspoeling van water waarmee Animo rekent, is afkomstig uit een voorgeschakeld hydrologisch computermodel en is veelal gebaseerd op vrij algemene perceel- en landgebruik kenmerken. Alleen het berekende totaal van de af- en uitspoeling van stikstof en fosfaat is ter validatie in diverse onderzoeken vergeleken met metingen.

Afspoelend fosfor kan de vorm hebben van fosfaat opgelost in water, fosfaat gebonden aan bodemdeeltjes (die kunnen sedimenteren) en fosfor in organische stof of meststoffen. Zo bleek bij metingen van P-afspoeling in een periodiek droge beek (Catsop, Zuid-Limburg) over een periode van 19 maanden, de cumulatieve afspoeling via sediment ($2,2 \text{ kg P ha}^{-1}$) veel hoger dan de afspoeling via water ($0,17 \text{ kg P ha}^{-1}$). De afspoeling in Catsop vond steeds plaats tijdens intense zomerse buien ($>10 \text{ mm per dag}$) [27]. In een periode van 19 maanden waren er 26 momenten met oppervlakkige afspoeling via een verder droge beek. De fosforconcentratie in water varieerde tussen de buien (gemiddelde $2,36 \text{ kg P ha}^{-1}$ over 279 m^3 water $\text{ha}^{-1}=9,4 \text{ mg P L}^{-1}$), en het percentage P dat via bodemdeeltjes getransporteerd werd, verschilde van 3 tot 98% van het totaal over de 19 verschillende buien, mogelijk gerelateerd aan grondbewerkingen en de intensiteit van de neerslag. De fosforvrucht via de sedimentdeeltjes is groter dan op basis van de samenstelling van de bouwvoor mag worden verwacht, omdat naar verhouding minder zand en meer fijne deeltjes (lutum, silt, organische stof) afspoelen [28, 29].

Tevens bleek in onderzoek de P-afspoeling vanuit plassen, die vaak in de winter langdurig op het land liggen, relatief gering (gemiddelde $0,39 \text{ mg P L}^{-1}$; totaal P). De verklaring daarvoor is dat er bij dergelijke plassen met stagnant water, er weinig interactie plaatsvindt tussen water en bodem, waardoor er nauwelijks afspoeling van bodemdeeltjes optreedt [30].

Het voorkomen van afstroming van water is niet hetzelfde als het voorkomen van fosforafspoeling. Bij afstroming van water over bouwland is een belangrijk deel van P in de vorm van P gebonden aan in water zwevende deeltjes (kolloïden) [31]. Door sedimentatie van de P aan kolloïden op het perceel, kan de totale concentratie P in het afspoelende water dalen. De sedimentatie van P in een greppel is afhankelijk van de tijd dat het water stilstaat in de greppel. Echter, P uit water kan ook gebonden worden aan bodem indien de greppel gegraven wordt in een bodemlaag met lage P-gehalten. In recent bemest bouwland kunnen de totale P-concentraties in het afspoelende water zeer hoog zijn [31].

Als infiltratiegreppels na een jaar worden hersteld, wordt het sediment uit de greppels opgegraven. Indien dit verspreid wordt in de bufferstrook, kan het een nieuwe bron van fosforafspoeling worden [32]. Daarom is het nodig om het sediment niet te verspreiden in de bufferstrook maar in te werken, bijvoorbeeld midden in het perceel.

Greppels blijken in zandgronden en lichte zavelgronden moeilijk aan te leggen en snel in te storten [33]. Geprobeerd is infiltratiegreppels in lichte bodems op te vullen met compost of bomenzand. Deze materialen hebben een goed infiltrerende werking en zorgen dat de greppel niet instort. Compost kan mogelijk ook gewasbestrijdingsmiddelen binden, en afspoeling daarvan voorkomen. Echter compost bevat ook fosfor. GFT-compost en groencompost hebben bij pH 5,5, een normale landbouwkundige pH voor kalkloze bodems, 2 tot 22% van P beschikbaar in CaCl_2 [34]. Compost is daarom niet geschikt om fosfaat uit water te binden, maar is juist een bron van fosfaat.

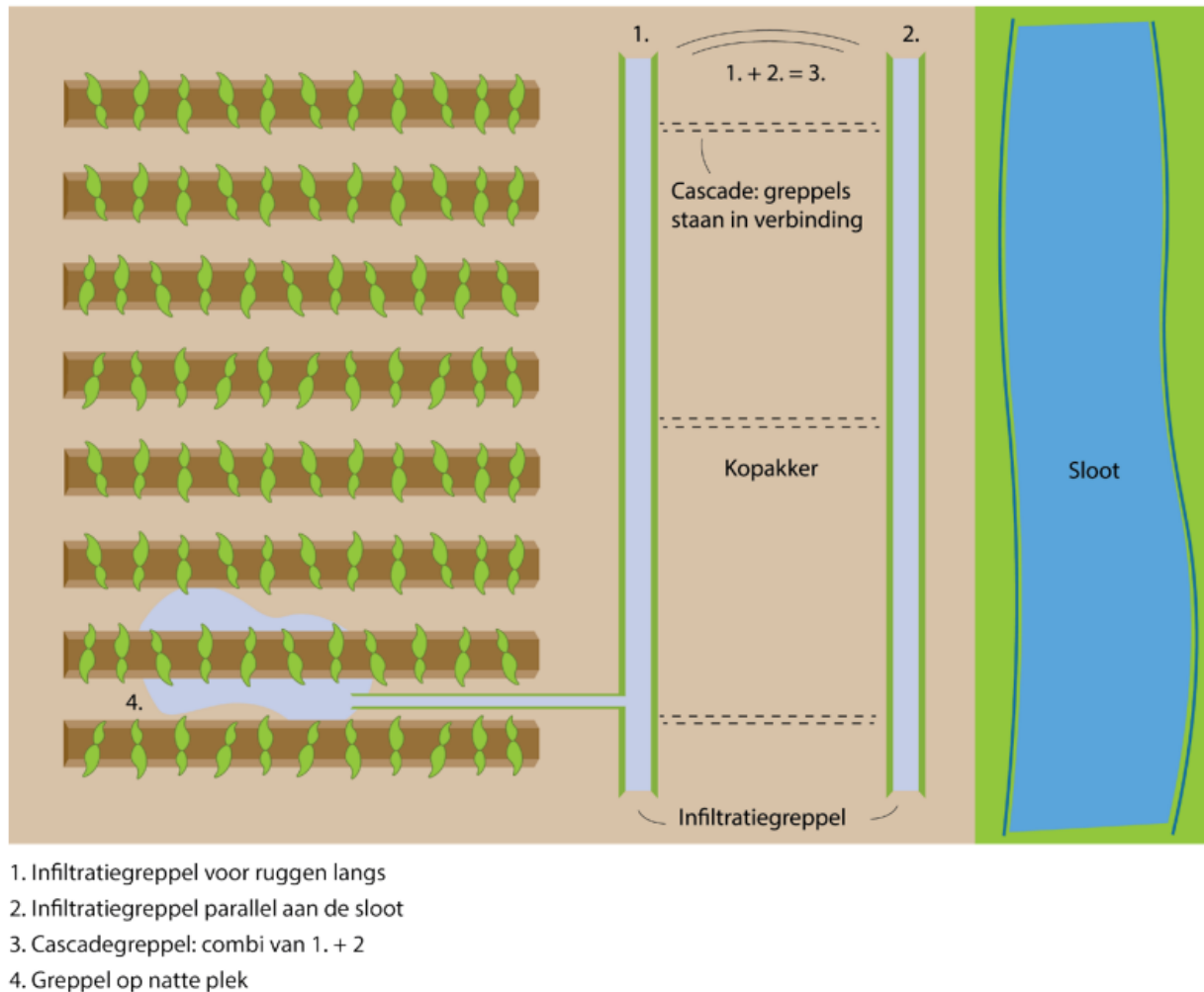
Ten slotte leidt het verminderen van afstroming van water en bodemdeeltje via infiltratiegreppels niet alleen tot minder afspoeling van fosfor, maar ook van andere stoffen die gebonden zijn aan bodemdeeltjes, zoals gewasbeschermingsmiddelen [27].

2.2 Factsheets

De bezink- of infiltratiegreppel is beschreven in een factsheet van Deltaprogramma Agrarische Waterbeheer [35]. Om de effectiviteit te vergroten, is geadviseerd om in de greppels zakken met ijzerzand of ijzerslib te leggen en zo fosfaat te binden [24].

De Toolbox Emissiebeperking [36] heeft informatie beschikbaar gesteld voor aardappeltelers over de aanleg van infiltratiegreppels. Hierbij worden verschillende mogelijke locaties voor de greppel besproken (**Figuur 2**). Bij de eerste locatie wordt de greppel tussen de kopakker en de ruggen gegraven, aan één zijde van het perceel. Bij een bolle ligging van het perceel kan de greppel aan beide zijden worden geplaatst. Een bestaande afvoergreppel kan worden verdiept om de berging te verhogen. De tweede optie is om de greppel dichter bij de sloot te plaatsen. In dit geval stroomt het water eerst over de kopakker of bufferstrook, waar

het deels kan infiltreren. Dit brengt echter het risico met zich mee dat het talud instabiel kan worden. Een derde mogelijkheid is de aanleg van een cascadegreppel. Hierbij worden twee greppels verbonden door een haaks daarop staande greppel. Dit zorgt ervoor dat als de eerste greppel volloopt, het water naar de tweede greppel kan stromen om daar verder te infiltreren. Als laatste wordt voorgesteld om een afvoergreppel te graven van een natte plek op het perceel naar een infiltratiegreppel, in plaats van direct naar de sloot. In het geval van een smalle kopakker is alleen de eerste locatieoptie toepasbaar. De laatste optie in Figuur 2 is een greppel gegraven tussen de ruggen en kopakker in. Deze is met een sleuvenfrees aangelegd en verdiept (60 cm) en daarna gevuld met een mengsel van zand en compost, en is verbonden met een infiltratiegreppel.



Figuur 2 Locaties voor infiltratiegreppels [36].

Bezinkgreppels zijn door Groenendijk et al. (2021) ingedeeld bij de natte bufferstroken [37] (factsheet 23). Het effect van natte bufferstroken op P-uit- en -afspoeling is gebruikt om op landelijke schaal scenarioberekeningen te kunnen doen.

In 2018 is een lijst gemaakt met factsheets over maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren, de zogenaamde BOOT-lijst [38]. In die lijst is in 2019 de infiltratiegreppel toegevoegd als een zinvolle maatregel bij bouwland langs oppervlaktewater bij alle bodemtypen en teelten, behalve gras [37, 39].

In 2021 en 2022 zijn praktijkproeven uitgevoerd in twee percelen in Flevoland, en dat is in 2023 gerapporteerd [40], inclusief factsheet [33]. Daarbij is alleen het effect op de oppervlakkige afstroming van water beschouwd, en niet het effect op afspoeling van fosfor.

Telers in Friesland hebben zich in het project 'Perceelemissie in de hand' ten doel gesteld om de emissies van gewasbeschermingsmiddelen, via afspoeling en uitspoeling, terug te dringen. Een aantal fysieke maatregelen om het bufferend vermogen van het perceel te vergroten, is vermeld in [41]. Voor deze maatregelen is gekeken naar aardappel, ui, wortel en graan. Hierbij wordt een greppel beschreven die voor de ruggen of zaaibed langs voor de kop- of wendakker is aangelegd, geschikt voor aardappelen of uien. Een cascadegreppel wordt beschreven als voorgenoemde cascadegreppel (Toolbox Emissiebeperking). Een ringleiding is een sleuf gegraven rondom het perceel. Hierbij wordt vermeld dat deze geschikt is voor alle gewassen.

In de Beheerpakketten Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer die door BoerenNatuur zijn opgesteld, wordt de infiltratiegreppel in bufferstrook genoemd [42]. Hierbij zijn de beheereisen dat deze jaarlijks wordt aangelegd met een minimale breedte van 14 cm en diepte van 30 cm. Aanvullende beheervoorschriften zijn als volgt:

- De infiltratiesleuf wordt parallel aan de sloot aangelegd op een afstand van minimaal 2 m vanaf de insteek.
- De infiltratiegreppel dient zodanig aangelegd en onderhouden te worden dat de greppel een bovenbreedte heeft van minimaal 15 cm en een diepte van 30 tot 50 cm.
- Vrijkomende grond dient richting het perceel gespoten te worden, van de sloot/watergang af.
- Aanleg en onderhoud van de greppel moet zodanig gebeuren dat de greppel niet in directe verbinding komt met het oppervlaktewatersysteem.

Om de verdroging op de Brabantse zandgronden tegen te gaan, hebben Provincie Noord-Brabant, Waterschappen Aa en Maas, Brabantse Delta en De Dommel en ZLTO een tegemoetkoming georganiseerd voor agrarische ondernemers die water-conserverende maatregelen nemen op hun bedrijf [43]. Hierbij is een bezink- of infiltratiegreppel een van de genoemde maatregelen. Dit staat gedefinieerd als een langwerpige, relatief ondiep bezinkbassin of slibvang om oppervlakkige afvoer van water met mest, nutriënten, grond(resten) vanaf het maaiveld naar het oppervlaktewater tegen te gaan.

De brede weersverzekering wordt door de overheid, met hulp van GLB, gebruikt om o.a. schade te verzekeren aan gewassen door extreme regenbuien. Het treffen van adaptatiemaatregelen wordt door verzekeraars beloond door het bieden van een premiekorting. Met preventief greppelen en drainage kan een deel van het risico op schade aan gewassen worden voorkomen. Het preventief greppelen is bij verzekeraars zelfs verplicht [44]. Een voorschrift hiervoor hebben de auteurs niet gevonden.

2.3 Praktijkvoorbeelden

Er zijn geen onderzoeken bekend die in de praktijk testen hoeveel fosfaat infiltratiegreppels afvangen; uitsluitend de hoeveelheid afstromend water wordt afgevangen. In deze paragraaf worden praktijkvoorbeelden uit Nederland en het buitenland beschreven.

In 2018 werd de infiltratiegreppel gedemonstreerd bij een bomenkweker in Zundert [45]. De infiltratiegreppel diende om te voorkomen dat water en gewasbeschermingsmiddelen in het oppervlaktewater terechtkomen. Bij bomenteelt is er ook vaak sprake van beddenteelt, waartussen water oppervlakkig afstroomt, en de infiltratiegreppel werd hier aangelegd in grond van het waterschap (mondelinge mededeling Casper Lambregts, Brabantse Delta).

In 2019 zijn door Delphy diepe (40-50 cm -mv) brede (>10 cm) en smalle (10 cm) greppels getest in akkerbouwpercelen bij twee akkerbouwbedrijven op klei in Noord-Brabant, die haaks op de slootrichting liggen, en een ervan uitmondt bij de sloot met overloopbuis (15-20 cm -mv) [46]: 'infiltratiegreppel met overloop' (Figuur 3). Het doel is dat water en nutriënten & gewasbeschermingsmiddelen achterblijven in de geul, en dat alleen bij extreme neerslag er afvoer is naar het oppervlaktewater. De infiltratiegreppels bevatten na het seizoen duidelijk veel sediment. Het idee kwam mede van de agrariërs zelf, en het idee is dat greppels bij aardappelen en uien in percelen gebruikt worden zoals vaak na buien, maar dat dat water niet zomaar de sloot inloopt en materiaal eerst uitzakt in de infiltratiegreppel. De greppels die nu door akkerbouwers gedurende het teeltseizoen worden gebruikt om na plotse buien het water af te voeren, leiden

soms tot kapotte slootranden. Het gebruik van een infiltratiegreppel, met een buis in de bufferstrook als overloop, voorkomt schade aan de slootrand (mondelinge mededeling Casper Lambregst, Brabantse Delta).



Figuur 3 Een brede en smalle infiltratiegreppel getest in Waterschap Brabantse Delta [46].

Recentelijk zijn infiltratiegreppels getest in lichte zavel in de Noordoostpolder en op zware zavel in oostelijk Flevoland [40]. Hierbij is onderzocht in welke mate een infiltratiegreppel de afstroming van water naar de sloot vermindert en zijn geen fosformetingen gedaan. Deze maatregel is slechts eenmaal uitgevoerd. Dit voorbeeld dient daarom als een demonstratie en is statistisch niet onderbouwd.

De afstroming tijdens acht buien is gemeten in Swifterbant (peen, zware zavel), en tijdens twee beregeningsgiften en drie buien in Creil (aardappel; lichte zavel). De uitvoering van de proeven op beide locaties verschilde iets. In Swifterbant zijn, naast elkaar, een lege en een met bomenzand gevulde verdiepte infiltratiegreppel aangelegd, beide 15 m breed op de kopse kant van een perceel met peen. De sleufdiepte ten opzichte van het maaiveld was circa 50-60 cm, de breedte 10 cm. Op elke greppel kon water afspoelen vanaf een oppervlak van 2.250 m². De afvoerbuizen zijn verhoogd t.o.v. de sleufbodem ingegraven. In Creil is een infiltratiegreppel haaks op de ruggen aangelegd, waarbij de ene helft van het veld een normale afvoergreppel was en de andere helft een verdiepte afvoergreppel gevuld met bomenzand. Op de lichte zavel in Creil bleef een open sleuf niet in stand. Beide waren ongeveer 51 m breed. De sleufdiepte ten opzichte van het maaiveld was circa 60 cm voor de verdiepte en met bomenzand gevulde greppel en 15 cm voor de afvoergreppel, de breedte 10 cm. Op beide plekken lag de greppel direct naast het einde van het gewas. Eerder is in Espel een afvoergreppel met compost getest, i.p.v. bomenzand, om een greppel te vullen en te voorkomen dat een greppel instort. Op zware zavel in Swifterbant zorgde de lege infiltratiegreppel voor 50 tot 82% minder afstroming dan een verdiepte met bomenzand gevulde greppel. Op lichte zavel in Creil zorgde de verdiepte, met bomenzand gevulde greppel voor 71 tot 98% minder afstroming dan de standaard afvoergreppel.

In de praktijk bleek in Swifterbant de infiltratiesleuf voor sommige machines onhandig te zijn bij het in- en uitrijden van het perceel. Dit geldt niet voor machines met grotere wielen zoals tractor en spuitmachine, maar vooral voor de ziekzoekkar. De ondernemer moest steeds planken over de greppel leggen om met de ziekzoekkar in het perceel te komen. In Creil bleek de greppel-in-sleuf-opstelling geen obstakel te vormen in de teelt. Wel was de aanleg intensief in de al drukke periode (maand). Het mechaniseren van het vullen van de sleuf met bomenzand zou dit nadeel verkleinen. Een aanbeveling van dit onderzoek was om de uitmonding van de greppel iets hoger te plaatsen, zodat er meer water in de greppel kan blijven staan om te infiltreren, terwijl de afvoer van water gewaarborgd blijft.

Zoals aangegeven, wordt in het noorden van Friesland ook ervaring opgedaan met infiltratiegreppels. De foto's in Figuur 4 laten zien hoe deze worden aangelegd.



Figuur 4 Foto's infiltratiegreppel die gemaakt zijn in het noorden van Friesland (noordelijke kleischil). Foto's verkregen van Jan Roelsma (Wetterskip Fryslân).

Bij veengronden speelt fosforafspoeling minder, omdat het meestal graslanden zijn, en het betreft dan relatief weinig afspoeling van P omdat de grond niet verstoord is [30]. In gebieden van Waterschap Amstel Gooi en Vecht (mondelinge mededeling Lisanne van Willegen) zijn, om bodemdaling door afbraak van veen te voorkomen, bestaande greppels in beeld als infiltratiegreppels om in veengebieden meer water vast te houden. Men test op twee locaties actieve wateraanvoer naar de greppels, waarbij de greppels niet zijn aangesloten op sloten. Bij de pilots van Waterschap Amstel Gooi en Vecht worden geen nieuwe infiltratiegreppels gegraven, want dat zou de afvoer juist verhogen.

Infiltratiegreppels kunnen helpen om afspoeling van zware buien te bergen, maar het is niet te verwachten dat zeer extreme buien gebufferd kunnen worden, daarvoor is meer ruimte nodig dan in een bufferstrook beschikbaar is (mondelinge mededeling Jan Roelsma, wetterskip Fryslân)². Onderhoud en beheer van infiltratiegreppels zijn nog niet getest; zo is het onduidelijk hoe om te gaan met P-rijk sediment als dat na het seizoen in een infiltratiegreppel zit. De infiltratiegreppels zijn bedoeld voor akkerbouw in kleigebieden en boeren maken daar vaak greppels als er plassen zijn ontstaan – of dreigen te ontstaan – tussen gewassen gedurende het teeltseizoen (mondelinge mededeling Jan Roelsma, wetterskip Fryslân).

² Inschatting expert: er zijn geen berekeningen niet uitgevoerd voor dit advies.

3 Adviezen

3.1 Infiltratiegreppels als maatregel

Infiltratiegreppels zijn een extra maatregel in een reeks van maatregelen, die samen afstroming van water en afspoeling van P kunnen verminderen. Het geeft na intense regenbuien, met oppervlakkige afstroming, ruimte om water te bergen dat zodoende infiltreert en niet direct naar het oppervlaktewater gaat. Het effect van infiltratiegreppels op oppervlakkige afstroming van water is modelmatig getoetst voor kleigronden [7]. Er is berekend dat het voor verschillende typen kleigronden leidt tot minder momenten van oppervlakkige waterafvoer (24-35% minder momenten) en minder intense oppervlakkige afvoer (13-48% minder water). Infiltratiegreppels kunnen helpen om afspoeling van zware buien te bergen, maar het is onzeker of zeer extreme buien gebufferd kunnen worden, daarvoor is mogelijk meer ruimte nodig dan in een bufferstrook beschikbaar is.

Vermindering van oppervlakkige afstroming van water leidt ook tot minder fosforafspoeling, maar de relatie is niet bekend omdat er geen veldexperimenten zijn uitgevoerd om het effect op de afspoeling van fosfor en/of andere contaminanten te bepalen. Fosfortransport gaat deels via bodemdeeltjes die ergens in het systeem sedimenteren en fosfaat afgeven. Omdat onderhoud en beheer van infiltratiegreppels niet in de praktijk zijn getest, is het onduidelijk hoe om te gaan met het P-rijke sediment dat na het seizoen in een infiltratiegreppel zit. Voor de afstroming van water kan het sediment in de bufferstrook verspreid worden, maar die aanpak is voor het voorkomen van P-afspoeling ongeschikt. Infiltratiegreppels zijn uitgeprobeerd in de praktijk als demonstratieprojecten. Er zijn geen wetenschappelijke metingen over de effectiviteit van infiltratiegreppels op oppervlakkige waterafvoer. Er zijn helemaal geen metingen over het effect van infiltratiegreppels op oppervlakkige afvoer van fosfor. Andere typen maatregelen zijn getest, met name in het buitenland, en daarbij is gemeten dat het effect op P-afspoeling zeer variabel is.

3.2 Waar infiltratiegreppels?

De infiltratiegreppels zijn in de uitgevoerde proeven bedoeld voor akkerbouw in kleigebieden en boeren maken daar vaak greppels als er plassen zijn ontstaan – of dreigen te ontstaan – tussen gewassen gedurende het teeltseizoen om het water versneld naar de sloot af te voeren. Infiltratiegreppels voorkomen de afvoer naar de sloot en kunnen door boeren gepland worden voor de start van een teelt. Dat kan in de bufferstrook, maar ook in het perceel haaks op de richting van de ruggen en bedden bij aardappels en uien, en/of als een ring om het perceel. De ligging van infiltratiegreppels kan gepland worden op basis van kennis van boeren, en ook met behulp van bestaande kaarten waar risico's voor oppervlakkige afstroming op perceelsniveau zijn aangegeven en/of met tools die gebruikt kunnen worden om de geschiktheid van maatregelen op perceelsniveau te bepalen. Deze kaarten zijn ook ontsloten in de softwaretool Bedrijfswaterwijzer.

Smalle greppels blijken in zandgronden en lichte zavelgronden³ moeilijk aan te leggen en snel in te storten. Een optie is het gebruik van compost of bodemzand om de infiltratie van water te verbeteren, maar compost is niet geschikt om P-afspoeling te verminderen, omdat het juist een bron is van fosfaat. Het vullen van infiltratiegreppels vermindert de waterberging. Afstroming van water is bij zandgronden over het algemeen (behalve bij hellingen) lager dan bij kleigronden. Bij veengronden speelt fosforafspoeling minder, omdat het meestal graslanden zijn en daar betreft het relatief weinig afspoeling van P omdat de grond bedekt en niet verstoord is. Aanleg van infiltratiegreppels wordt in Nederlandse veengronden niet getest. In pilots wordt wel het afsluiten van bestaande greppels in grasland getest om extra water te infiltreren.

³ Lichte zavel is een onderdeel van de kleigronden. Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet maakt alleen onderscheid in zand, löss, klei en veen.

Gelet op de werking en praktijkervaringen kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Infiltratiegreppels in de gebieden die voor fosfor als nutriënt verontreinigd zijn aangewezen, zouden effectief en praktisch toepasbaar kunnen zijn op akkerbouwpercelen op kleigronden. Mede omdat daar in de praktijk sowieso afvoergreppels worden aangelegd om plasvorming en daarmee natschade voor gewassen te beperken. Die greppels blijven nodig en zouden aangesloten kunnen worden op infiltratiegreppels.
2. Aanleg van een infiltratiegreppel is alleen zinvol als op de randen van een perceel sloten of andere watergangen aanwezig zijn, en in principe ook als daarbij – gelet op de perceeleigenschappen – duidelijke risico's zijn voor oppervlakkige afstroming. WUR heeft landsdekkend de risico's en routes van oppervlakkige afstroming op perceelsniveau in kaart gebracht. Deze kaart is verwerkt in de softwaretool Bedrijfswaterwijzer (<https://bedrijfswaterwijzer.wur.nl/>). Agrariërs kunnen in deze tool percelen aanwijzen en daarvan een kaart toegestuurd krijgen (shapefile) waarop de risico's en routes van oppervlakkige afstroming zijn afgebeeld.
3. Infiltratiegreppels zouden op zandgronden ook effectief kunnen zijn. In de regel worden daar ad hoc greppels gemaakt om snel water af te voeren als er tijdens het groeiseizoen langere tijd (dagen/weken) plassen op het land staan. Als dan voorgeschreven wordt dat zulke ad hoc greppels moeten uitmonden in een infiltratiegreppel in de bufferstrook, wordt hiermee oppervlakkige afstroming naar de sloot beperkt.

3.3 Adviezen voor uitvoering

Infiltratiegreppels kunnen in een perceel aangelegd worden of in de bufferstrook, parallel aan de sloot. Voor een effectieve uitvoering wordt het volgende geadviseerd:

1. Infiltratiegreppels in de bufferstrook vergroten de berging van regenwater in het perceel en verminderen oppervlakkige afstroming van water en daarin aanwezig fosfor (en andere contaminanten) naar de sloot. Hoe groter het volume van de infiltratiegreppel (lengte, diepte en breedte), hoe meer afstromend water opgevangen kan worden, en hoe meer rechtstreekse afstroming naar het oppervlaktewater wordt voorkomen bij intense buien. Voor een goede werking dient wel voldoende afstand aangehouden te worden tussen de infiltratiegreppel en de sloot. Hoe verder af van de sloot richting de gewasrand, des te beter.
2. Als er greppels in een perceel worden gemaakt om water uit plassen snel af te kunnen voeren, moeten deze aansluiten op een infiltratiegreppel.
3. Op kleigronden kunnen smalle infiltratiegreppels (<10 cm, tot 70 cm diep) worden aangelegd met een sleuvenfrees en V-vormige greppels (27 cm diep) met een greppelfrees. Dergelijke apparatuur wordt al gebruikt om waterafvoer van lage plekken in het perceel naar sloten te bevorderen. Diepere infiltratiegreppels vergroten de berging van water in het perceel. Mogelijk zal tijdens zeer intense buien de berging die in de infiltratiegreppels is gecreëerd onvoldoende zijn. Om te voorkomen dat de bufferstrook en de daarin gemaakte infiltratiegreppel door het overstromende water wordt beschadigd, kan vlak onder het maaiveld een buis als overloop naar de sloot aangelegd worden. Het gebruik van zo'n overloop voorkomt ook schade aan slootwanden. De berging van de infiltratiegreppel wordt gereduceerd naarmate de overloopbuis dieper wordt aangelegd. Om de buis zo ondiep mogelijk aan te leggen, kan ook een halfopen buis gebruikt worden.
4. Op zandgronden kunnen V-vormige infiltratiegreppels in bufferstroken worden aangelegd. Door het gebruik van deze vorm zal de greppel minder snel instorten. Ook hier geldt dat deze kunnen worden voorzien van een overloop (buis) naar de sloot. Als er vanwege plasvorming op het perceel tijdens het groeiseizoen ad hoc greppels worden gegraven, om het water van het perceel snel af te voeren, zouden deze, om directe afspoeling van P naar de sloot te voorkomen, aangesloten moeten worden op de infiltratiegreppel in de bufferstrook.
5. Bij gebruik van een greppelfrees en een sleuvenfrees wordt de weggegraven grond in kleine deeltjes langs de greppel verspreid (langs de sloot aan één kant, namelijk de perceel kant). Om te voorkomen dat hierdoor meer bodemdeeltjes (met daaraan gebonden fosfor en andere contaminanten zoals residuen van gewasbeschermingsmiddelen) in afstromend water worden meegevoerd, verdient het aanbeveling om de grond tijdens de werkgang op te vangen en dit zo ver mogelijk vanaf de sloot (watergangen) over het perceel te verspreiden.
6. Als het sediment jaarlijks uit de infiltratiegreppel in de bufferstrook verwijderd wordt, mag het fosforrijke sediment niet in de bufferstrook verspreid worden, maar moet terug in het perceel verspreid worden.

-
7. Als het sediment in de infiltratiegreppel niet jaarlijks wordt verwijderd en de infiltratiegreppel vlak langs de sloot (of andere watergang) wordt aangelegd, dan is het advies om de infiltratiegreppel niet veel dieper te maken dan de fosforrijke bouwvoor, omdat dit kan zorgen voor een nieuwe bron van P-uitspoeling op een plek die nu nog weinig P bevat. De fosforrijke bouwvoor is bij bouwland meestal de laag van 0-20 of 0-30 cm -mv.
 8. Gebruik geen compost in infiltratiegreppels. Contact tussen water in de infiltratiegreppel en compost zorgt voor hoge fosfaatconcentraties in de infiltratiegreppel. Zodra de infiltratiegreppel bij veel regen overloopt, bijvoorbeeld via een overloop, geeft dit extra fosfaatafspoeling naar het oppervlaktewater. Anders gezegd: compost is een meststof en moet niet gebruikt worden voor andere doeleinden dan als meststof.
 9. Gebruik van bodemzand is te overwegen bij infiltratiegreppels op kleigronden die snel instorten, zoals het geval is op lichte zavelgronden in Flevoland. Bodemzand is een mengsel van zand met een grote doorlatendheid en organisch materiaal. Het is meestal een mengsel van eentopig zand⁴ met compost of andere materialen, en bevat dus wel enig fosfaat. Het is onbekend wat het effect op de fosfaatconcentratie in water is. Het opvullen van infiltratiegreppels reduceert de waterberging. Het heeft daarom in principe de voorkeur om ondiepe, bredere infiltratiegreppels te maken die minder snel dichtvallen.

⁴ Zand met een heel smalle korrelgrootteverdeling, met daardoor veel ruimte voor water en lucht.

Literatuur

1. CDM, *Advies 'Inventarisatie van mogelijke maatregelen om fosfaatsuitspoeling in de landbouw te beperken*. 2024.
2. minister van LNV, *Kamerbrief over voortgang implementatie derogatiebeschikking mest en implementatie nutriënten-verontreinigde gebieden*. 5 december 2023. 2023, Den Haag.
3. CLO, *Fysisch-chemische waterkwaliteit KRW, 2021 (indicator 0252, versie 17, 18 augustus 2022)*, www.clo.nl. 2022: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
4. van Gaalen, F., L. Osté, and F. van Boekel, *Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit*. 2020, PBL Planbureau voor de Leefomgeving: Den Haag.
5. Schipper, P., et al., *KRW-doelbereik en resterende opgave 2027 voor de nutriënten in de Maasregio*. 2024.
6. Schipper, P., et al., *KRW-restopgave nutriënten in Gelderland en oostzijde Utrechtse Heuvelrug: Definitief rapport*. 2024, Wageningen Environmental Research: Wageningen.
7. Heinen, M., et al., *Modeling effectiveness of two runoff mitigation measures in the Netherlands*. Science of the Total Environment, 2022. **839**: p. 156190.
8. Bakel, P.v., et al., *Actualisatie Hydrologie voor Stone 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets*, in WOT 57. 2007, WOT: Wageningen.
9. van Bakel, P., et al., *Maaiveldafvoer in beeld*. Stromingen: vakblad voor hydrologen, 2018. **32**(2): p. 23-35.
10. Zheng, M., R. Li, and J. He, *Sediment concentrations in run-off varying with spatial scale in an agricultural subwatershed of the Chinese Loess Plateau*. Hydrological Processes, 2015. **29**(26): p. 5414-5423.
11. Massop, H.T., J. Clement, and C. Schuiling, *Plassen op het land: een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling*, in Alterra 2546. 2014, Alterra Wageningen UR: Wageningen.
12. Over KringloopWijzer. [cited 2024; Available from: <https://mijnkringloopwijzer.nl/over-kringloopwijzer/over-kringloopwijzer/>].
13. BedrijfsWaterWijzer. Available from: <https://bedrijfswaterwijzer.wur.nl/>.
14. Rietra, R.P.J.J., P.N.M. Schipper, and B.M.A. Kroonen-Backbier, *Effectgerichte maatregelen tegen fosfaatsuitspoeling uit landbouwgronden: effecten van maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitspoeling uit landbouwgronden met een slechte kwaliteit van oppervlaktewater vanwege fosfaat*. 2024, Wageningen Environmental Research: Wageningen.
15. Herweg, K. and E. Ludi, *The performance of selected soil and water conservation measures—case studies from Ethiopia and Eritrea*. Catena, 1999. **36**(1): p. 99-114.
16. Inagro. *Erosie Vlaanderen, Greppel-berm structuur*. Available from: <https://www.erosie.be/erosiewerken/Greppel-berm-structuur>.
17. Vejchar, D., et al., *The Effect of Reservoir Cultivation on Conventional Maize in Sandy-Loam Soil*. Agriculture, 2023. **13**(6): p. 1201.
18. Hoffmann, C.C., et al., *An overview of nutrient transport mitigation measures for improvement of water quality in Denmark*. Ecological engineering, 2020. **155**: p. 105863.
19. Carstensen, M.V., et al., *Efficiency of mitigation measures targeting nutrient losses from agricultural drainage systems: A review*. Ambio, 2020. **49**: p. 1820-1837.
20. Langeveld, J.G., H. Liefing, and F. Boogaard, *Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling*. Water Research, 2012. **46**(20): p. 6868-6880.
21. Boogaard, F.C., *Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands*. TU Delft, 2015.
22. Schipper, P.N.M., et al., *Hoe bevordert je het kwalitatieve functioneren van een wadi? Bodem: kwartaalblad voor informatie-uitwisseling en discussie over bodembescherming en bodemsanering*, 2003. **13**(5): p. 176-179.

-
23. Pugliese, L., et al., *Long-term phosphorus removal by Ca and Fe-rich drainage filter materials under variable flow and inlet concentrations*. Water Research, 2023. **247**: p. 120792.
 24. Weerd, H., M. Bloemerts, and L. van Twist, *Fosfaat afspoeling boerenland*. 2011, Arcadis: Apeldoorn.
 25. Šaulys, V. and N. Bastienė, *The impact of lime admixture into trench backfill on the variation of phosphorus in drainage outflow*. Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, 2007. **56**(1): p. 99-105.
 26. Renaud, L., J. Roelsma, and P. Groenendijk, *ANIMO 4.0; user's guide of the ANIMO 4.0 nutrient leaching model*. 2005, Alterra: Wageningen.
 27. Commelin, M.C., et al., *Pesticides are substantially transported in particulate phase, driven by land use, rainfall event and pesticide characteristics—a runoff and erosion study in a small agricultural catchment*. Frontiers in Environmental Science, 2022. **10**: p. 830589.
 28. Sharpley, A., *The enrichment of soil phosphorus in runoff sediments*. 1980, Wiley Online Library.
 29. Ballantine, D., D.E. Walling, and G.J. Leeks, *Mobilisation and transport of sediment-associated phosphorus by surface runoff*. Water, air, and soil pollution, 2009. **196**: p. 311-320.
 30. Sharpley, A.N., *Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils*. Journal of Environmental Quality, 2003. **32**(4): p. 1375-1384.
 31. Regelink, I.C., et al., *Characterization of colloidal phosphorus species in drainage waters from a clay soil using asymmetric flow field-flow fractionation*. Journal of Environmental Quality, 2013. **42**(2): p. 464-473.
 32. Ramler, D. and P. Strauss, *Site matters: site-specific factors control phosphorus retention in buffer strip soils under concentrated field runoff*. Environmental Science and Pollution Research, 2024: p. 1-10.
 33. Actieplan Bodem & Water, *Praktijkproeven perceelafspoeling Flevoland 2021 en 2022. De (ge vulde) bezink- en infiltratiegreppel*. 2023.
 34. Regelink, I. and R. Rietra, *Fosfaatvormen in compost en andere organische meststoffen*. 2021, Wageningen Environmental Research: Wageningen.
 35. DAW, *Bezink- of infiltratiegreppel*. jaartal onbekend.
 36. Agrodīs, C., LTO, CropLife NL en de Waterschappen, *Toolbox Emissiebeperking 2, Vermindering afspoeling door perceelsinrichting*. 2020.
 37. Groenendijk, P., et al., *Maatregel op de Kaart (Fase 2): Identificeren van kansrijke perceelsmaatregelen voor schoner grond- en oppervlaktewater*. 2021: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
 38. Verloop, K., et al., *Achtergronden bij informatie in de BOOT-lijst factsheets*. 2018, Wageningen Plant Research.
 39. van Gerven, L., S. Jansen, and P. Groenendijk, *Maatregel op de Kaart (Fase 1): Identificeren van kansrijke landbouwmaatregelen per perceel voor schoner grond- en oppervlaktewater*. 2019, Wageningen Environmental Research.
 40. Folkersma, R., et al., *Praktijkproeven perceelafspoeling Flevoland 2022: Effectiviteit en praktische toepasbaarheid van maatregelen op afspoeling in beeld*. 2023.
 41. Noord, L., *Perceelmissie van gewasbeschermingsmiddelen in de hand!?* 2019.
 42. BoerenNatuur, *Overzicht Beheerpakketten Agrarisch Natuur & Landschapsbeheer*. 2023.
 43. ZLTO. *Wel Goed Water Geven*. n.d. [cited 2024 23/10/2024]; Available from: <https://www.zlto.nl/projecten/wel-goed-water-geven>.
 44. Witmond, B., et al., *Evaluatie van de Subsidieregeling Brede Weersverzekering: Eindrapport Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit*. 2024.
 45. ZLTO *Infiltratiegreppel, hoe zit dat?* 2018.
 46. van der Velde, A., *Aanpak perceelmissies mineralen akkerbouw. Waterregulering: afspoeling met beperkte emissie*, Delphy, Editor. 2020.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3387
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3387
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
