

---

# Uit- en afspoeling van nutriënten vanuit landbouwpercelen naar oppervlaktewater

Een modelstudie ter kwantificering van ondiepe en diepe uitspoelroutes voor zes polders in Friesland



Luuk van Gerven<sup>1</sup>, Erwin van Boekel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen Environmental Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door Van Hall Larenstein

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, juli 2020

---

# Inhoud

|          |                                                            |           |
|----------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                           | <b>3</b>  |
|          | 1.1 Achtergrond                                            | 3         |
|          | 1.2 Doelstelling                                           | 3         |
|          | 1.3 Leeswijzer                                             | 3         |
| <b>2</b> | <b>Methode</b>                                             | <b>4</b>  |
|          | 2.1 Studiegebied                                           | 4         |
|          | 2.2 Uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgebied   | 6         |
|          | 2.3 Splitsing uit- en afspoeling in diepe en ondiepe paden | 6         |
|          | 2.4 Geschiktheid landbouwpercelen voor randenteelt         | 9         |
| <b>3</b> | <b>Resultaten</b>                                          | <b>10</b> |
|          | 3.1 Uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgebied   | 10        |
|          | 3.2 Splitsing uit- en afspoeling in diepe en ondiepe paden | 11        |
|          | 3.3 Geschiktheid landbouwpercelen voor randenteelt         | 15        |
| <b>4</b> | <b>Conclusies</b>                                          | <b>16</b> |
|          | <b>Literatuur</b>                                          | <b>17</b> |
|          | <b>Bijlage 1 Perceelskenmerken</b>                         | <b>18</b> |
|          | <b>Bijlage 2 P-concentratie van runoff-water</b>           | <b>22</b> |

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Nederland staat voor de uitdaging om te zorgen dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond is. Nog niet overal wordt voldaan aan deze voorwaarde die is gesteld vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) (Kaika, 2003). De kwaliteit van het oppervlaktewater is de afgelopen decennia weliswaar verbeterd, maar nog steeds zijn de nutriëntenconcentraties (voor stikstof en fosfaat) te hoog in meer dan de helft van de KRW-waterlichamen. Daarbij lijkt de verbetering in de waterkwaliteit te stagneren vanaf 2009 (Van Gaalen et al. 2015). Dit betekent dat er extra inspanningen nodig zijn om de waterkwaliteit te verbeteren.

De landbouwsector is een belangrijke speler hierin. Om te voldoen aan de KRW-normen voor stikstof- en fosforconcentraties in regionale waterlichamen, moet de uit- en afspoeling uit landbouwgronden landelijk gemiddeld met respectievelijk 12–17% en 12–38% worden verminderd (Groenendijk et al. 2016). Hiervoor zijn maatregelen nodig. Een voorbeeld van zo'n maatregel is een ander beheer van de perceelsranden die grenzen aan het oppervlaktewater, bijvoorbeeld door deze randen te voorzien van extensieve teelten. Ter bepaling van het effect op de waterkwaliteit van zo'n extensieve randenteelt, is het van belang om te weten hoeveel nutriënten de perceelsrand doorstromen. Oftewel, welk deel van de uit- en afspoeling vanuit landbouwpercelen kan maximaal worden afgevangen door ander perceelsrandenbeheer.

## 1.2 Doelstelling

Deze studie heeft als doel om voor zes polders in Friesland te bepalen hoe de uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwpercelen is verdeeld over diepe en ondiepe uitspoelpaden. De ondiepe paden geven een benadering van de hoeveelheid nutriënten die de perceelsranden doorstromen, via oppervlakkige afstroom en via interflow door de ondiepe bodem/wortelzone. De diepe paden verlopen grotendeels via het grondwater en omzeilen daarbij de perceelsranden op hun route naar het oppervlaktewater. Deze studie borduurt voort op een eerdere studie naar de bronnen en herkomst van nutriënten in deze zes polders (Van Boekel et al. 2016), met het verschil dat we de uit- en afspoeling nu onderverdelen naar diepe en ondiepe paden, en kijken hoe deze paden variëren in de ruimte (per perceel) en in de tijd (per weerjaar en per zomer en winter). Ook is bepaald welke percelen binnen de polders zich lenen voor een ander perceelsrandenbeheer, en is hun totale perceelsrandlengte berekend.

## 1.3 Leeswijzer

Deze notitie heeft een klassieke opbouw door eerst in te gaan op de methode (Hoofdstuk 2), dan op de resultaten (Hoofdstuk 3) en door af te sluiten met de conclusies (Hoofdstuk 4). De methode begint met een beschrijving van het studiegebied en de kenmerken die relevant zijn voor de uit- en afspoeling, zoals bodemtype en landgebruik (paragraaf 2.1). Vervolgens is beschreven hoe de totale uit- en afspoeling is bepaald per landbouwperceel (paragraaf 2.2) en hoe deze vervolgens is opgesplitst in ondiepe en diepe uitspoelroutes (paragraaf 2.3). Als laatste komt aan bod hoe is bepaald welke landbouwpercelen geschikt zijn voor perceelsrandenteelt (paragraaf 2.4). In hoofdstuk 4 volgen de belangrijkste resultaten, voor wat betreft de totale uit- en afspoeling (paragraaf 3.1), de opsplitsing in ondiepe en diepe uitspoelroutes (paragraaf 3.2) en de geschiktheid van de percelen voor randenteelt (paragraaf 3.3). De notitie sluit af met de belangrijkste conclusies.

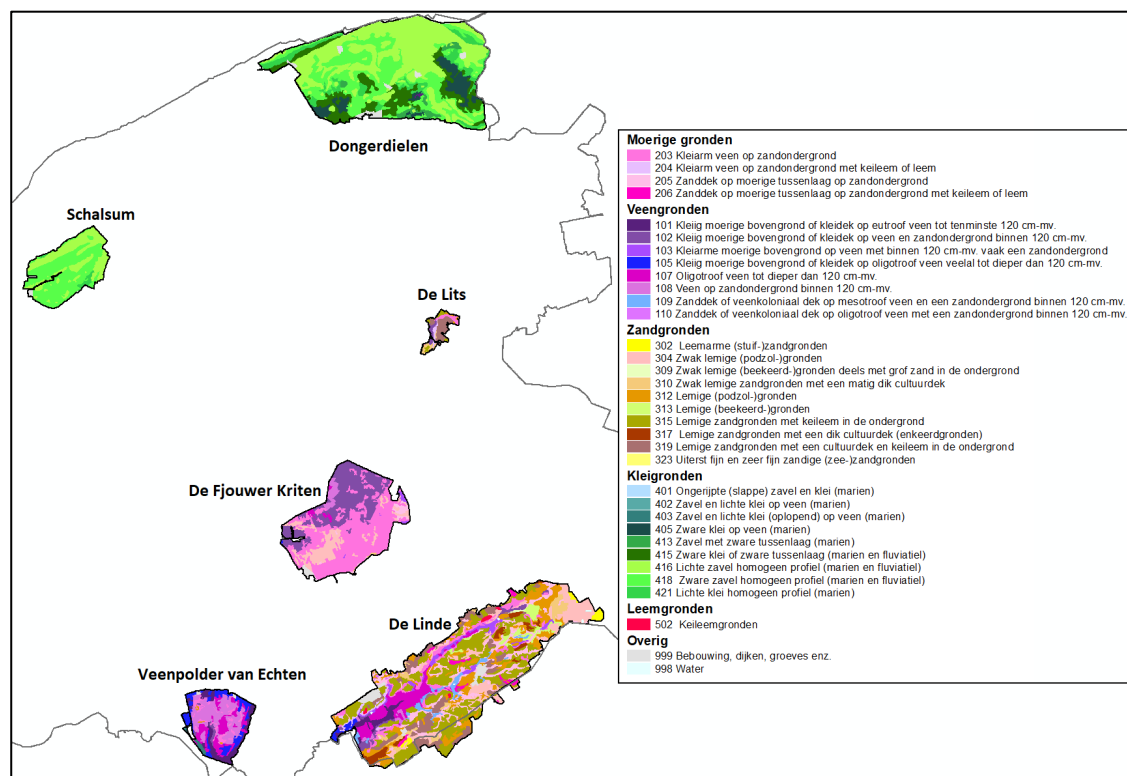
## 2 Methode

### 2.1 Studiegebied

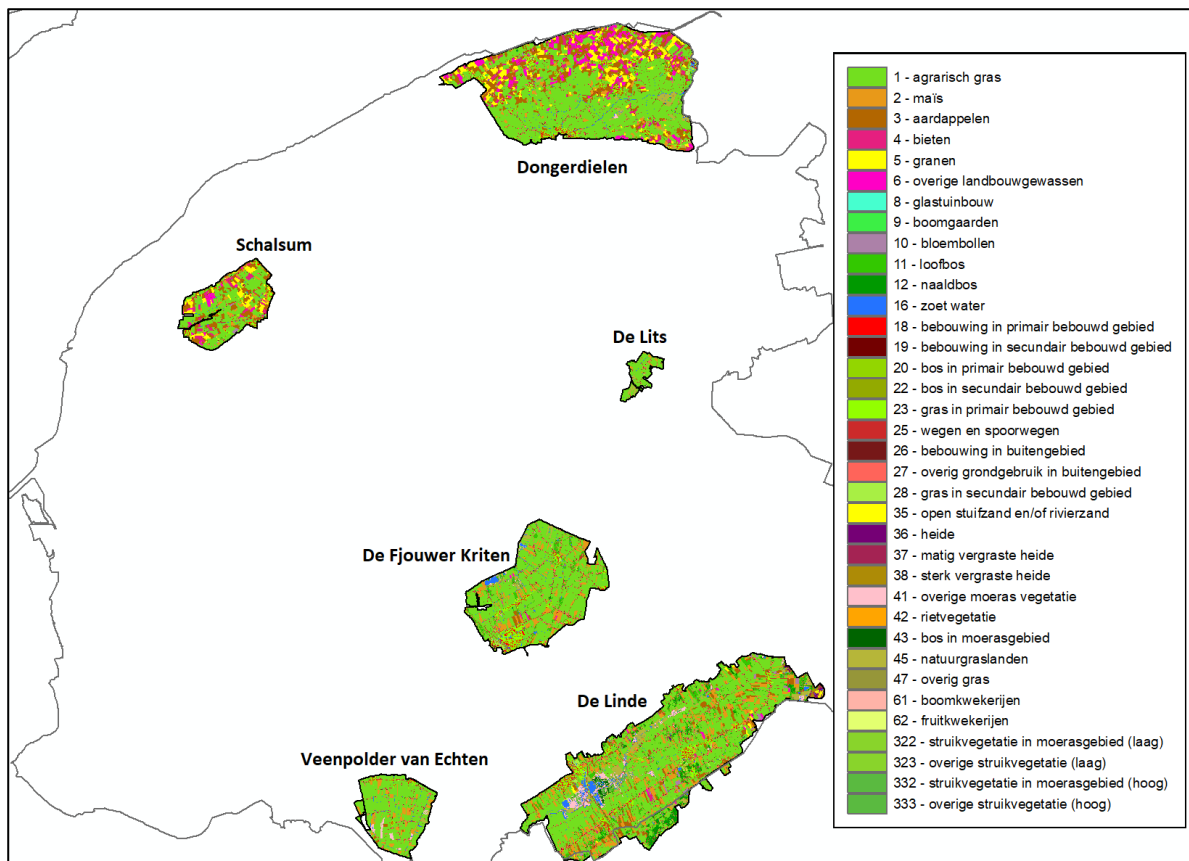
Deze studie richt zich op zes polders in Friesland, namelijk twee kleipolders (Dongerdielen, Schalsum), twee veenpolders (De Fjouwer Kriten, Veenpolder van Echten) en twee zandpolders (De Lits, De Linde) (Figuur 2.1). Deze polders zijn eerder onderzocht voor wat betreft de herkomst en bronnen van nutriënten (Van Boekel et al. 2016). Qua landgebruik bestaat het grootste deel van de polders uit landbouw (Figuur 2.2 en Tabel 2.1). Het aandeel landbouw bedraagt zo'n 85% per polder. Uitzonderingen zijn de Fjouwer Kriten (73% landbouw), die van alle polders het meeste stedelijk gebied heeft (15%), en de Linde (67% landbouw) die relatief veel natuur heeft (19%). Het landbouwgebied bestaat hoofdzakelijk uit grasland. Beide kleipolders (Dongerdielen en Schalsum) bestaan tevens voor een groot deel uit bouwland (zie Figuur B1.7 in Bijlage 1). De Linde is het gebied met de meeste hoogteverschillen (Figuur 2.3), waardoor het oppervlaktewater grotendeels onder vrij verval stroomt. De andere gebieden zijn een stuk vlakker en hun waterstroming is peilgestuurd. Bijlage 1 bevat figuren met kenmerken van de landbouwpercelen in elk gebied, namelijk de nabijheid van oppervlaktewater, de aanwezigheid van buisdrainage, de grondwatertrap, de perceelshelling, het type landbouw en de grondsoort.

**Tabel 2.1** Landgebruik per polder volgens LGN2018.

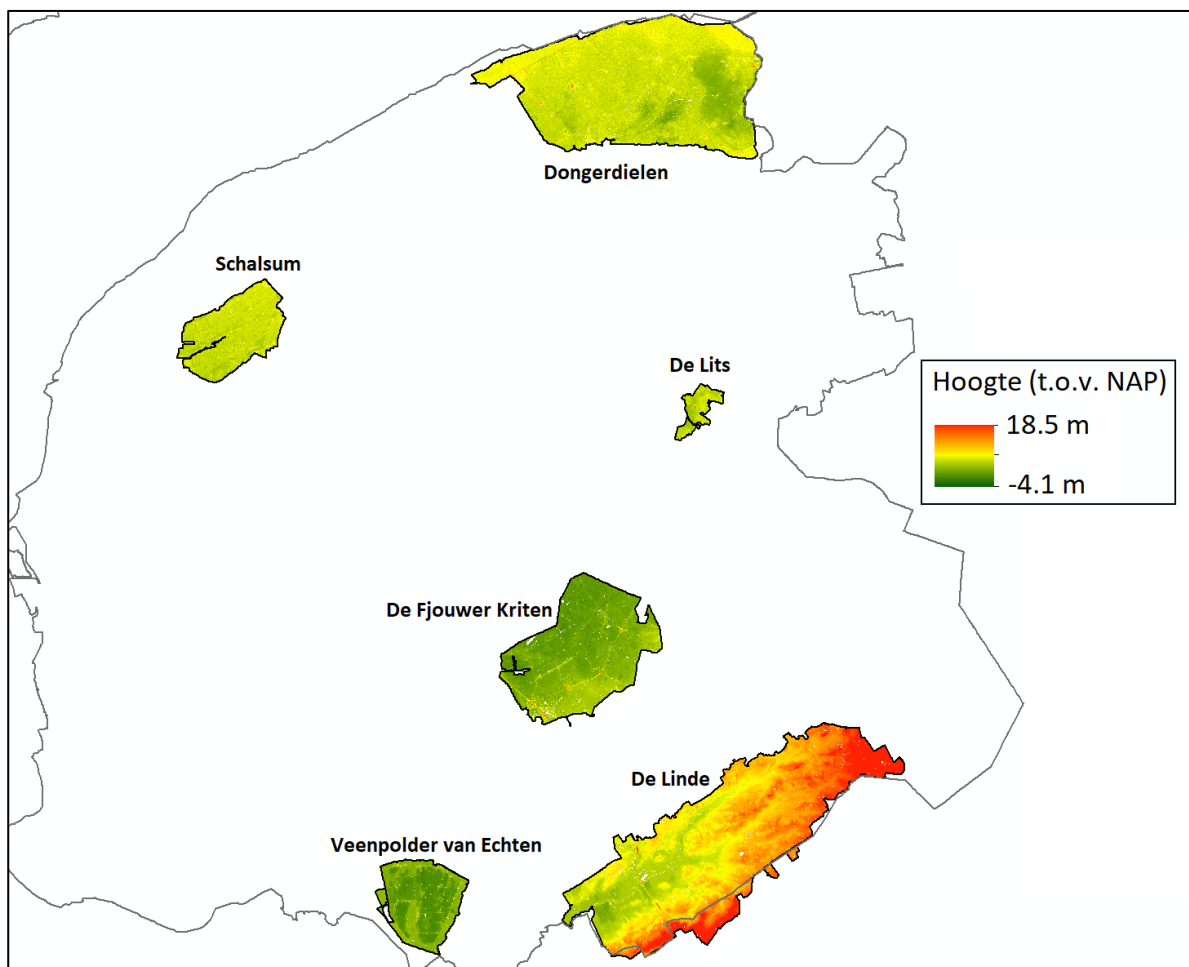
| Polder                | Grondsoort | Oppervlakte (ha) | landbouw | natuur | stedelijk gebied | open water |
|-----------------------|------------|------------------|----------|--------|------------------|------------|
| Dongerdielen          | klei       | 13536            | 86.1%    | 2.8%   | 10.0%            | 1.1%       |
| Schalsum              | klei       | 3165             | 86.9%    | 0.7%   | 11.5%            | 0.9%       |
| De Fjouwer Kriten     | veen       | 6883             | 73.1%    | 9.0%   | 15.5%            | 2.4%       |
| Veenpolder van Echten | veen       | 2859             | 85.7%    | 4.4%   | 8.0%             | 1.9%       |
| De Linde              | zand       | 15572            | 67.1%    | 18.8%  | 12.1%            | 2.0%       |
| De Lits               | zand       | 569              | 84.2%    | 8.7%   | 6.5%             | 0.6%       |



**Figuur 2.1** Bodemtype van de zes polders (bron: BOFEK2012).



**Figuur 2.2** Landgebruik van de zes polders (bron: LGN2018).



**Figuur 2.3** Hoogtekaart van de zes polders (bron: AHN2).

## 2.2 Uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgebied

Voor het bepalen van de uit- en afspoeling van nutriënten uit het landbouwgebied is een vergelijkbare methodiek gebruikt als in de eerdere studie naar nutriëntenbronnen (Van Boekel et al. 2016). Namelijk een modelaankpak op basis van het landelijk nutriëntenuitspoeling-model STONE (Wolf et al. 2003). Dit model is gevalideerd en gekalibreerd op regionale schaal, en wordt in Nederland al lange tijd ingezet voor de evaluatie van het landelijke mestbeleid, de ex-ante evaluatie van de Kaderrichtlijn Water, en monitoring- en modelstudies op regionaal niveau. Het model gebruikt gebiedskenmerken in combinatie met het agrarisch beheer (bemesting) en het weer om door het jaar heen te voorspellen hoeveel nutriënten er vanuit landbouwgrond uit- en afspoelen naar het oppervlaktewater. Qua gebiedskenmerken heeft het model informatie nodig over o.a. het landgebruik, de bodem (opbouw en samenstelling) en de hydrologie (grondwatertrap en aanwezigheid van kwel of wegzijging).

De bepaling van de uit- en afspoeling verschilt op een paar punten met de aanpak van de eerdere studie naar nutriëntenbronnen (Van Boekel et al. 2016):

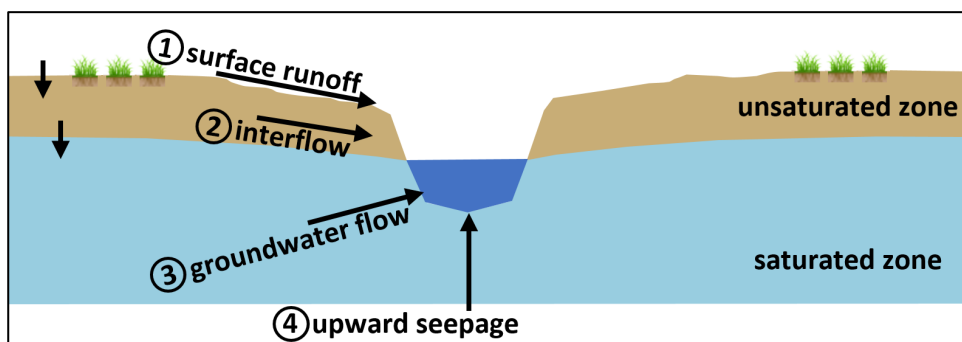
- Deze studie richt zich alleen op het landbouwgebied, terwijl de eerdere studie zich richt op het landelijk gebied (landbouw en natuur). Natuur is niet beschouwd in deze studie omdat natuurgebieden niet relevant zijn voor (agrarische) perceelsrandenteelt.
- Deze studie richt zich op de periode 2010-2017, terwijl de eerdere studie kijkt naar de periode 2011-2013. De periode 2010-2017 geeft beter inzicht in de variatie over de jaren heen, zoals veroorzaakt door andere weersomstandigheden (droge jaren versus natte jaren).
- De gebiedskenmerken zijn bepaald per landbouwperceel, terwijl de eerdere studie werkt met gridcellen van 25 meter bij 25 meter. Door te werken met percelen kan onderscheid gemaakt worden in gebieden die zich lenen voor perceelsrandenteelt (namelijk percelen die grenzen aan oppervlaktewater) en gebieden die zich hier niet voor lenen. De ligging van de landbouwpercelen is overgenomen van de BasisRegistratiePercelen-kaart (BRP 2018).

Dit verschil in aanpak leidt tot iets andere resultaten dan in Van Boekel et al. (2016). Verdere details over het STONE model en het precieze gebruik van dit model zijn te vinden in Van Boekel et al. (2016). De berekende uit- en afspoeling is opgeschaald van landbouwperceel naar polderniveau via areaalgewogen middeling. Dat houdt in dat percelen meewegen in het poldergemiddelde naar rato van oppervlak; grote percelen hebben een grotere invloed op het poldergemiddelde dan kleine percelen.

## 2.3 Splitsing uit- en afspoeling in diepe en ondiepe paden

Vervolgens is de met STONE berekende uit- en afspoeling voor elk landbouwperceel verdeeld in een diep en een ondiep pad (zie Figuur 2.4):

- De diepe route verloopt vooral via het grondwater en doorstroomt de perceelsrand niet.
- De ondiepe route verloopt via oppervlakkige afstroom (runoff) en ondiepe stroming (interflow) en doorstroomt de perceelrand wel onderweg naar het oppervlaktewater.



**Figuur 2.4** Routes van water en nutriënten naar het oppervlaktewater. Het ondiepe pad is in deze studie gedefinieerd als de optelsom van route 1 en 2. Het diepe pad als het totaal van route 3 en 4.

Deze indeling in routes is bepaald door de uitspoelroutes zoals berekend door STONE aan te passen a.d.h.v. resultaten van een nieuwe methodiek. Deze nieuwe methode berekent de ondiepe stroming van water op basis van perceelskenmerken (Groenendijk et al., in prep.) en geeft een beter beeld van de oppervlakkige/ondiepe waterafvoer dan STONE. Dit beeld sluit namelijk beter aan op de resultaten van het Nationaal Water Model (NWM).

### Bepaling ondiepe uit- en afspoeling (water)

De nieuwe methode bepaalt de langjarig gemiddelde oppervlakkige waterafvoer (runoff) per landbouwperceel. De parameters van deze methode zijn dusdanig ingesteld dat ook de ondiepe stroming (interflow) is verdisconteerd. Oftewel, waar we hieronder spreken van 'runoff', wordt bedoeld op ondiepe uit- en afspoeling (runoff en interflow). De aangegeven waarden van de parameters volgen uit afstemming met het NWM, dat op zijn beurt is gevalideerd en gekalibreerd op runoff op nationale schaal. De methode houdt geen rekening met verschillen tussen of binnen jaren, maar is zodanig afgesteld dat het jaargemiddelde runoff-beeld op nationaal niveau klopt met het NWM.

Voor elk landbouwperceel dat grenst aan water is ingeschat hoeveel water er oppervlakkig afstroomt richting oppervlaktewater ( $q_{runoff}$ ):

$$q_{runoff} = q_{Horton,ref} \times \left( \frac{24}{afstand\ tot\ waterloop} \right)^{0.5} \left( \frac{helling}{0.89} \right)^{0.5} + q_{Dunne} \quad (2.1)$$

De hiervoor benodigde perceelskenmerken (de afstand tot de waterloop, de helling, het bodemtype en de grondwatertrap; zie Bijlage 1) zijn eerder afgeleid in het Kennisimpuls-Waterkwaliteit project 'Maatregel op de kaart' (Van Gerven et al. 2019). De berekende runoff ( $q_{runoff}$ ) bestaat uit 'Horton overland flow' ( $q_{Horton}$ ) die ontstaat als grond dichtslaat en uit 'Dunne overland flow' ( $q_{Dunne}$ ) die ontstaat als de onderliggende bodem verzadigd is. Aangenomen is dat de gemiddelde Horton flow ( $q_{Horton,ref}$ ) 20 mm/jaar bedraagt voor een standaard perceel op veen, klei of löss en 10 mm/jaar voor een standaard zandperceel. Zo'n standaard perceel heeft een mediane afstand tot de waterloop (*afstand tot waterloop*) van 24 meter en een mediane helling (*helling*) van 0.89%, zoals blijkt uit een dataset van alle landbouwpercelen in Nederland (Van Gerven et al. 2019). De Horton-flow neemt toe naarmate het perceel dichtter bij de waterloop ligt en een steilere helling heeft. De Dunne-flow hangt af van de grondwaterstand en is geschat op 35 mm/jaar voor natte percelen (GT Ia, IIa, IIIa, Vao en Vad), 15 mm/jaar voor redelijk natte percelen (GT Ic, IIb, IIIb, Vbo en Vbd), 5 mm/jaar voor percelen met GT IIC en 0 mm/jaar voor droge percelen ( $G \geq VI$ ).

Vervolgens is de berekende hoeveelheid ondiep uitspoelend water ( $q_{runoff}$ ) opgelegd aan de STONE-resultaten per perceel. Het gaat echter om een langjarig gemiddelde hoeveelheid ( $q_{runoff}$ ), terwijl de STONE-resultaten variëren per jaar en gedurende het jaar. Om deze dynamiek in de modelresultaten te behouden, zijn de STONE resultaten geschaald op basis van de nieuw berekende  $q_{runoff}$ . Dit is gedaan door de STONE resultaten (de waterafvoer via oppervlakkige afstroom en via greppels) op elk moment te vermenigvuldigen met een vaste factor  $f_W$ :

$$f_W = \frac{q_{runoff}}{q_{STONE_{runoff+greppels}}} \quad (2.2)$$

Waarbij  $q_{STONE_{runoff+greppels}}$  de hoeveelheid water is die langjarig gemiddeld (2010-2017) uitspoelt volgens STONE via runoff en greppels (de ondiepe uitspoelroutes binnen STONE). Dit resulteert per perceel tot een ondiepe waterstroming die varieert in de tijd en de basis vormt voor verdere analyses.

### Bepaling ondiepe uit- en afspoeling (fosfor)

De langjarig gemiddelde hoeveelheid fosfor (P) die jaarlijks is gemoeid met de ondiepe route ( $P_{runoff}$ ) is als volgt berekend:

$$P_{runoff} = q_{runoff} \cdot c_{P,runoff} \quad (2.3)$$

De P-concentratie van het runoff-water ( $c_{P,runoff}$ ) is afgeleid van metingen van de fosfaattoestand van de percelen (Eurofins gegevens), uitgedrukt in het Pw-getal. Het Pw-getal is een maat voor de hoeveelheid makkelijk vrijkomend P uit de bodem, en geeft daarmee een indicatie van de P-concentratie die afstromend water kan krijgen bij contact met de bodem. Het Pw-getal is niet van elk

perceel gemeten. Het Pw-getal voor niet-bemeten percelen is afgeleid via 'machine-learning' waardoor het Pw-getal de waarde krijgt van vergelijkbare wel-bemeten percelen in Noord-Nederland. De zo gevonden Pw-waarden (uitgedrukt in mg fosfaat per liter grond) variëren grofweg tussen de 20 en 100 voor de percelen in het studiegebied en zijn vertaald naar een P-concentratie in het runoff-water ( $C_{P,runoff}$ ) door het Pw-getal te delen door 40 (expert judgement). Dit resulteert in P-concentratie van 0.5 tot 2.5 mgP/l. Dit is in dezelfde orde van grootte als literatuurwaarden van gemeten P-concentraties in runoff-water.

Vervolgens is de berekende hoeveelheid ondiep uitspoelend P ( $P_{runoff}$ ) opgelegd aan de STONE-resultaten per perceel. Net als voor water is ook nu gebruik gemaakt van een factor, om de langjarig gemiddelde P-runoff ( $P_{runoff}$ ) te vertalen naar een P-runoff die varieert in de tijd. Dit is gedaan door de STONE resultaten (de P afvoer via oppervlakkige afstroom en via greppels) op elk moment te vermenigvuldigen met een vaste factor  $f_P$ :

$$f_P = \frac{P_{runoff}}{P_{STONE_{runoff+greppels}}} \quad (2.4)$$

Waarbij  $P_{STONE_{runoff+greppels}}$  de hoeveelheid P is die langjarig gemiddeld (2010-2017) uitspoelt volgens STONE via runoff en greppels.

### Bepaling ondiepe uit- en afspoeling (stikstof)

Voor de hoeveelheid stikstof (N) die is gemoeid met de ondiepe route is een andere aanpak gekozen dan voor fosfor. Dit omdat voor stikstof, in tegenstelling tot fosfor, geen perceelsmetingen beschikbaar waren om de stikstofconcentratie in ondiep uitspoelend water te bepalen. Daarom is deze concentratie overgenomen uit de STONE-berekeningen, namelijk door uit te gaan van de N-concentratie van het water dat volgens STONE uitspoelt via runoff en greppels. Dit is bereikt door de STONE resultaten (de N afvoer via oppervlakkige afstroom en via greppels) op elk moment te vermenigvuldigen met de vaste factor  $f_W$  (zie vergelijking 2.2). Dit leidt tot een hoeveelheid ondiep uitspoelend stikstof (N) die varieert in de tijd.

### Bepaling diepe uitspoeling (water, stikstof en fosfor)

De diepe uitspoeling is bepaald door de totale uit- en afspoeling per perceel (zoals berekend door STONE) te verminderen met de nieuw bepaalde ondiepe uitspoeling. Dit is gedaan voor zowel water, stikstof en fosfor. Het resultaat is een diepe uitspoeling die varieert in de tijd, als benadering voor de diepe uitspoeling via buisdrainage en grondwater naar het oppervlaktewater. Bij deze berekening is de ondiepe uitspoeling waar nodig afgekapt, zodat de ondiepe uitspoeling per zomer- en winterhalfjaar nooit groter is dan 75% van de totale uit- en afspoeling. Dit afkappen was nodig in een beperkt aantal gevallen; voor 4.7% van de percelen voor P, 0.1% voor N en 0.2% voor water. Het afkappen is gerealiseerd door de hoeveel ondiep uitspoelend water te reduceren. De nutriëntenconcentraties van het ondiep uitspoelende water worden niet beïnvloed door het afkappen.



## 2.4 Geschiktheid landbouwpercelen voor randenteelt

Als laatste stap is verkend welke percelen zich lenen voor randenteelt. Hiervoor is dezelfde methode gebruikt als eerder toegepast voor de geschiktheid van percelen voor bufferstroken (Groenendijk et al., in prep.). Dit is gedaan gezien de gelijkenis van bufferstroken met randteelten. Een bufferstrook ligt immers ook aan de rand van het perceel, en is net als randenteelt vooral zinvol voor de waterkwaliteit als het perceel grenst aan oppervlaktewater. Zowel bufferstroken als randteelten vangen namelijk een deel van de nutriënten af die de perceelsrand doorstromen onderweg naar het oppervlaktewater. Het grootste verschil is dat een bufferstrook in principe een natuurlijke begroeiing heeft (Figuur 2.5) in plaats van een teelt.



**Figuur 2.5** Voorbeeld van een bufferstrook

Aangenomen is dat bufferstroken (randteelten) vooral zinvol zijn voor:

- Percelen (BRP) met grasland, bouwland of overige open teelten (geen natuur)
- Percelen die voor minstens 10% aan waterlopen grenzen
- Percelen zonder buisdrainage of met minder dan 10% buisdrainage, zodat voldoende water de perceelrand doorstroomt in plaats van dat het wordt afgevoerd door buisdrains
- Voldoende grote percelen, met areaal groter dan 2500 m<sup>2</sup>
- Voldoende brede percelen, zodat het perceelsareaal niet alleen bestaat uit bufferstrook

Ook is de potentiële breedte van de bufferstroken bepaald, rekening houdend met het perceelareaal en de ruimte voor bufferstroken. Voor randteelten is deze berekende breedte mogelijk niet representatief. Voor de bufferstrookbreedte is uitgegaan van maximaal 5 meter. Deze breedte wordt verminderd tot een minimum van 2 m als het areaal van de strook meer dan 5% van het perceel inneemt. Voor natte graslanden wordt sowieso uitgegaan van 2 meter als maximale breedte, gezien hun dichte slootnetwerken waardoor er minder ruimte is voor bufferstroken.

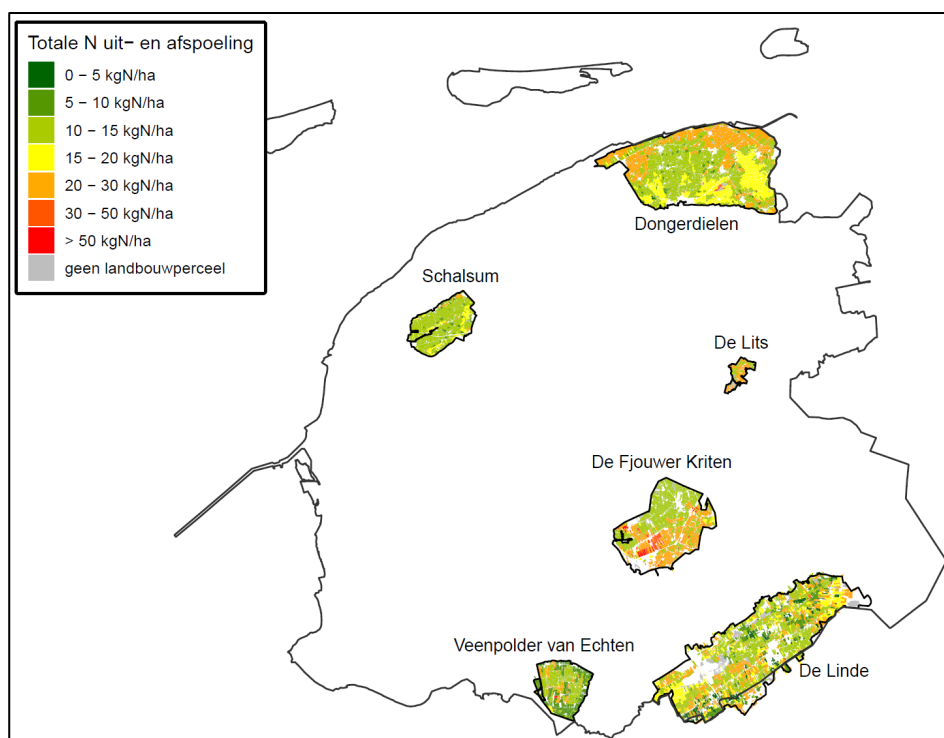
## 3 Resultaten

### 3.1 Uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgebied

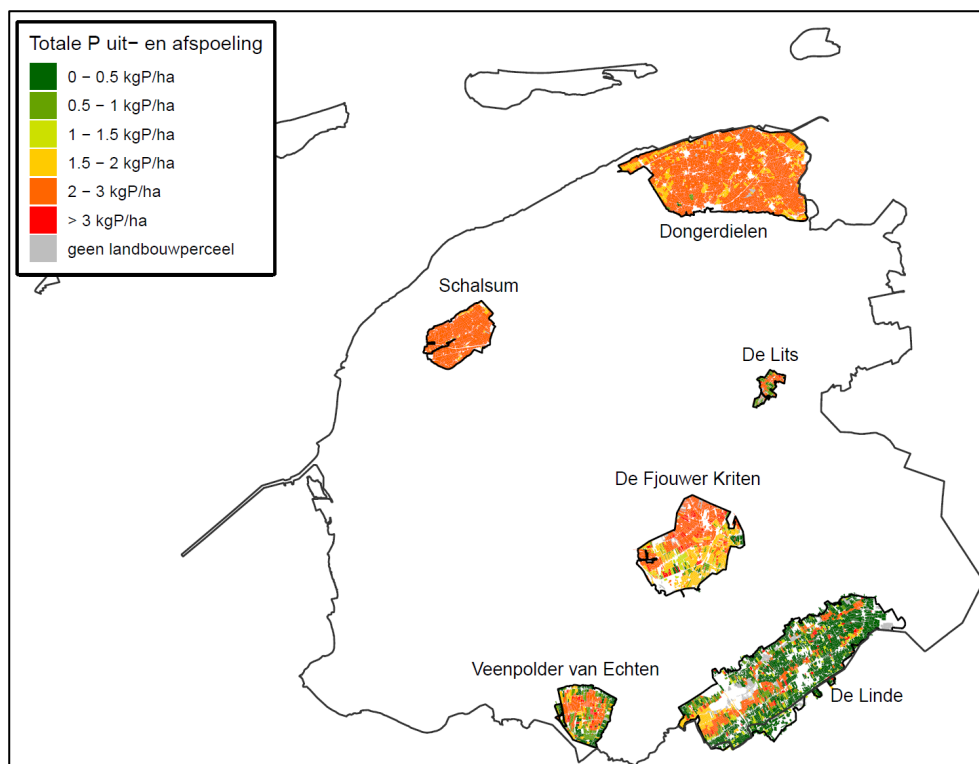
De totale jaargemiddelde uit- en afspoeling vanuit landbouw naar oppervlaktewater is weergegeven in Tabel 3.1 (poldergemiddeld voor N en P), Figuur 3.1 (per perceel voor N) en Figuur 3.2 (per perceel voor P). Te zien is dat de variatie binnen en tussen de polders groter is voor P dan voor N. Zo hebben de zandgronden een lagere P uit- en afspoeling dan de klei- en veengronden, een herkenbaar beeld dat ook voor veel andere delen van Nederland geldt. Tabel 3.1 maakt onderscheid tussen alle percelen en de percelen die aan oppervlaktewater grenzen. Dit is gedaan omdat de splitsing naar ondiepe en diepe uitspoeling (paragraaf 3.2) methodologisch alleen kan voor de percelen aan water (zie paragraaf 2.3) en omdat deze percelen aan water het interessant zijn voor perceelrandteelten. Omdat vrijwel alle percelen aan water liggen is de totale uitspoeling van de water-percelen nagenoeg gelijk aan die van alle percelen. Lichte uitzondering is de Lits. Hier is het verschil iets groter omdat maar 72% i.p.v. ruim 90% van de landbouwpercelen grenst aan water.

**Tabel 3.1** Per polder Jaargemiddelde uitspoeling over de periode 2010-2017 vanuit landbouw in de verschillende polders, voor het totale landbouwareaal (totaal) en voor de landbouwpercelen die grenzen aan water (water).

| Polder       | Landbouwareaal (ha) | Landbouwareaal aan water (%) | N (kgN/ha/jaar) |       | P (kgP/ha/jaar) |       |
|--------------|---------------------|------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|              |                     |                              | totaal          | water | totaal          | water |
| Dongerdielen | 11056               | 98                           | 15.5            | 15.5  | 2.1             | 2.1   |
| Echten       | 2326                | 99                           | 11.4            | 11.4  | 1.5             | 1.5   |
| Fjouwer      | 4581                | 99                           | 19.1            | 19.1  | 2.0             | 2.0   |
| Linde        | 10126               | 72                           | 14.7            | 15.0  | 0.8             | 0.9   |
| Lits         | 476                 | 92                           | 17.7            | 17.6  | 1.5             | 1.5   |
| Schalsum     | 2562                | 98                           | 12.2            | 12.2  | 2.3             | 2.3   |



**Figuur 3.1** Jaargemiddelde uit- en afspoeling van stikstof per BRP-perceel volgens STONE over periode 2010-2017.



**Figuur 3.2** Jaargemiddelde uit- en afspoeling van fosfor per BRP-perceel volgens STONE over periode 2010-2017.

## 3.2 Splitsing uit- en afspoeling in diepe en ondiepe paden

Vervolgens is voor de percelen die grenzen aan water onderzocht hoe de uitspoeling is verdeeld over diepe en ondiepe paden. Allereerst is gekeken hoe de uitspoelingsverdeling varieert per jaar voor N (Tabel 3.2) en P (Tabel 3.3). Hieruit blijkt dat het gros van de uitspoeling verloopt via diepe paden; voor N gemiddeld ruim 90% en voor P ongeveer 75%. Het resterende deel spoelt ondiep uit en geeft een benadering voor de hoeveelheid nutriënten die de perceelsrand doorstroomt (zo'n 10% voor N en 25% voor P). De variatie door de jaren heen is groter voor het ondiepe pad (de standaarddeviatie bedraagt ruim 50% van het gemiddelde voor zowel N als P) dan voor het diepe pad (de standaarddeviatie bedraagt ruim 20% van het gemiddelde voor zowel N als P).

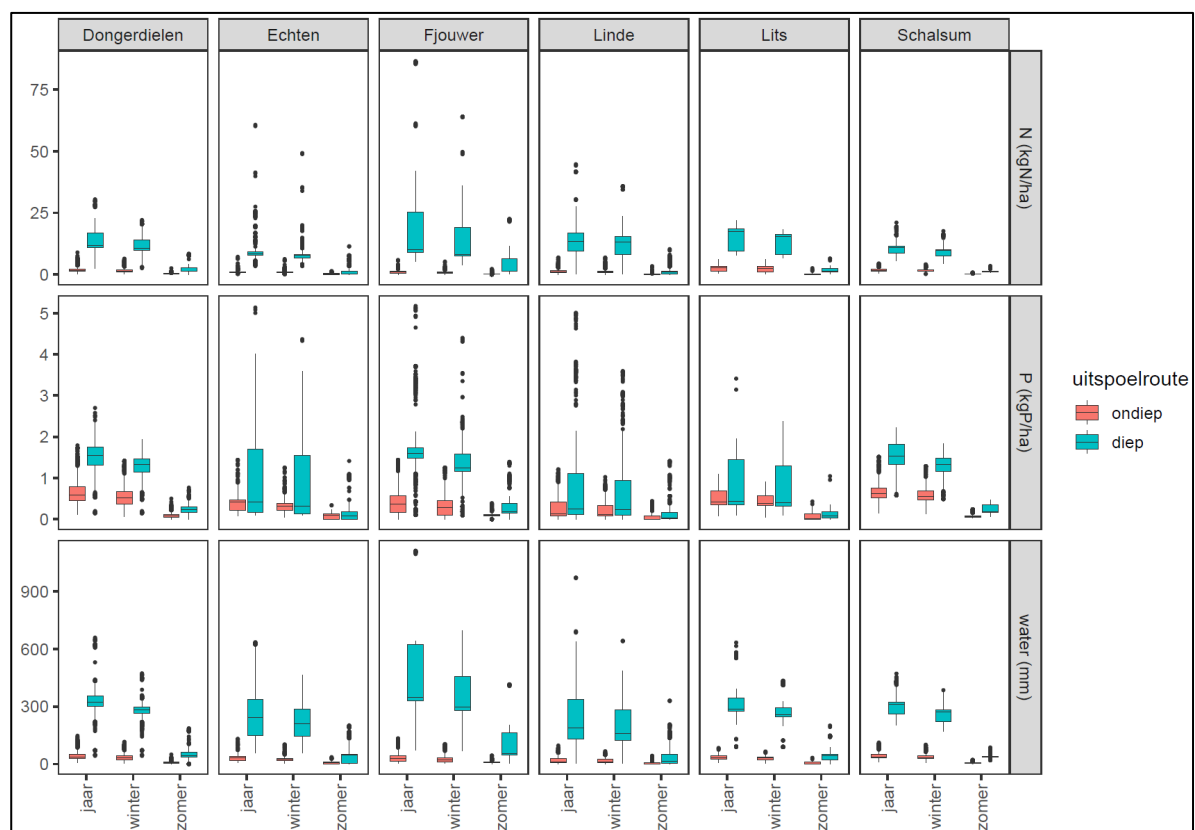
**Tabel 3.2** Verdeling van totale jaarlijkse stikstof-uitspoeling (in kg N/ha/jaar) per polder uitgesplitst naar diepe en ondiepe routes, voor de jaren 2010 t/m 2017, en de gehele periode (totaal).

|                         | Dongerdielen |            | Echten      |            | Fjouwer     |            | Linde       |            | Lits        |            | Schalsum    |            |
|-------------------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                         | diep         | ondiep     | diep        | ondiep     | diep        | ondiep     | diep        | ondiep     | diep        | ondiep     | diep        | ondiep     |
| 2010                    | 16.3         | 1.2        | 11.8        | 0.9        | 20.7        | 0.9        | 13.5        | 0.5        | 18.8        | 1.5        | 12.2        | 1.3        |
| 2011                    | 14.2         | 1.2        | 8.8         | 0.7        | 16.0        | 0.6        | 10.6        | 0.6        | 13.6        | 2.1        | 10.0        | 1.3        |
| 2012                    | 18.4         | 2.4        | 13.1        | 1.7        | 21.2        | 1.9        | 22.7        | 3.9        | 19.7        | 5.3        | 14.4        | 2.4        |
| 2013                    | 10.0         | 1.2        | 8.2         | 0.7        | 14.6        | 0.7        | 10.8        | 0.4        | 10.8        | 1.1        | 8.4         | 1.2        |
| 2014                    | 10.2         | 0.8        | 8.1         | 0.5        | 15.2        | 0.5        | 9.0         | 0.5        | 11.3        | 1.0        | 7.5         | 0.8        |
| 2015                    | 16.4         | 1.7        | 13.0        | 1.3        | 21.9        | 1.1        | 16.3        | 1.2        | 18.3        | 3.6        | 12.6        | 1.9        |
| 2016                    | 8.8          | 0.7        | 7.6         | 0.5        | 13.8        | 0.3        | 12.6        | 0.7        | 10.0        | 1.3        | 6.8         | 0.8        |
| 2017                    | 18.4         | 2.1        | 13.0        | 1.3        | 22.0        | 1.1        | 14.8        | 1.5        | 18.8        | 3.8        | 14.1        | 2.3        |
| <b>totaal (gem)</b>     | <b>14.1</b>  | <b>1.4</b> | <b>10.4</b> | <b>1.0</b> | <b>18.2</b> | <b>0.9</b> | <b>13.8</b> | <b>1.2</b> | <b>15.2</b> | <b>2.4</b> | <b>10.7</b> | <b>1.5</b> |
| <b>totaal (std)</b>     | <b>3.9</b>   | <b>0.6</b> | <b>2.5</b>  | <b>0.4</b> | <b>3.6</b>  | <b>0.5</b> | <b>4.3</b>  | <b>1.2</b> | <b>4.1</b>  | <b>1.6</b> | <b>3.0</b>  | <b>0.6</b> |
| <b>totaal (aandeel)</b> | <b>91%</b>   | <b>9%</b>  | <b>92%</b>  | <b>8%</b>  | <b>95%</b>  | <b>5%</b>  | <b>92%</b>  | <b>8%</b>  | <b>86%</b>  | <b>14%</b> | <b>88%</b>  | <b>12%</b> |

**Tabel 3.3** Verdeling van totale jaarlijkse fosfor-uitspoeling (in kg P/ha/jaar) per polder uitgesplitst naar diepe en ondiepe routes, voor de jaren 2010 t/m 2017, en de gehele periode (totaal).

|                         | Dongerdielen |             | Echten      |             | Fjouwer     |             | Linde       |             | Lits        |             | Schalsum    |             |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                         | diep         | ondiep      | diep        | ondiep      | diep        | ondiep      | diep        | ondiep      | diep        | ondiep      | diep        | ondiep      |
| 2010                    | 1.69         | 0.37        | 1.12        | 0.29        | 1.64        | 0.32        | 0.66        | 0.16        | 1.03        | 0.32        | 1.81        | 0.41        |
| 2011                    | 1.57         | 0.39        | 1.03        | 0.27        | 1.54        | 0.24        | 0.61        | 0.17        | 0.87        | 0.36        | 1.57        | 0.45        |
| 2012                    | 2.02         | 0.93        | 1.39        | 0.69        | 1.94        | 0.69        | 0.92        | 0.60        | 1.18        | 0.96        | 2.08        | 1.01        |
| 2013                    | 1.28         | 0.42        | 0.95        | 0.27        | 1.43        | 0.29        | 0.59        | 0.15        | 0.90        | 0.30        | 1.37        | 0.45        |
| 2014                    | 1.32         | 0.27        | 0.88        | 0.19        | 1.36        | 0.19        | 0.53        | 0.11        | 0.82        | 0.22        | 1.35        | 0.30        |
| 2015                    | 1.96         | 0.66        | 1.30        | 0.48        | 1.86        | 0.47        | 0.81        | 0.31        | 1.09        | 0.68        | 2.00        | 0.80        |
| 2016                    | 1.25         | 0.26        | 0.88        | 0.19        | 1.39        | 0.15        | 0.57        | 0.16        | 0.78        | 0.30        | 1.28        | 0.35        |
| 2017                    | 2.01         | 0.70        | 1.35        | 0.51        | 1.93        | 0.49        | 0.79        | 0.35        | 1.13        | 0.72        | 2.00        | 0.84        |
| <b>totaal (gem)</b>     | <b>1.64</b>  | <b>0.50</b> | <b>1.11</b> | <b>0.36</b> | <b>1.64</b> | <b>0.36</b> | <b>0.69</b> | <b>0.25</b> | <b>0.98</b> | <b>0.48</b> | <b>1.68</b> | <b>0.58</b> |
| <b>totaal (std)</b>     | <b>0.33</b>  | <b>0.24</b> | <b>0.21</b> | <b>0.18</b> | <b>0.24</b> | <b>0.18</b> | <b>0.14</b> | <b>0.16</b> | <b>0.15</b> | <b>0.27</b> | <b>0.33</b> | <b>0.26</b> |
| <b>totaal (aandeel)</b> | <b>77%</b>   | <b>23%</b>  | <b>75%</b>  | <b>25%</b>  | <b>82%</b>  | <b>18%</b>  | <b>73%</b>  | <b>27%</b>  | <b>67%</b>  | <b>33%</b>  | <b>74%</b>  | <b>26%</b>  |

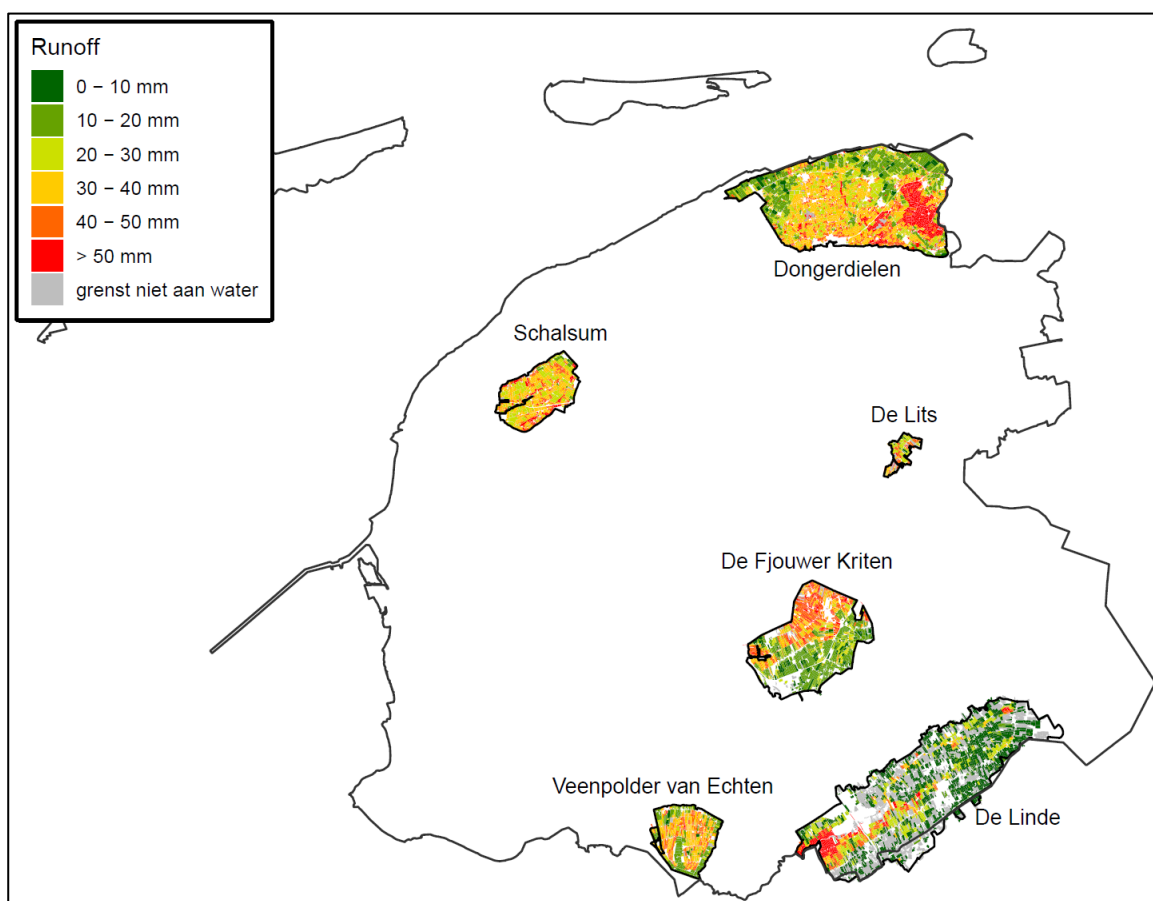
Als een volgende stap is onderzocht hoe de jaargemiddelde uitspoeling varieert binnen het jaar (Figuur 3.3). Hieruit blijkt dat de meeste uitspoeling plaatsvindt in het winterhalfjaar (oktober t/m maart) (zo'n 85%) in vergelijking met het zomerhalfjaar (april t/m september) (zo'n 15%). Dit geldt voor zowel N als P, voor zowel de diepe als de ondiepe routes en voor alle polders. Dit beeld is te verklaren vanuit het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) dat groter is in de winter dan in de zomer.



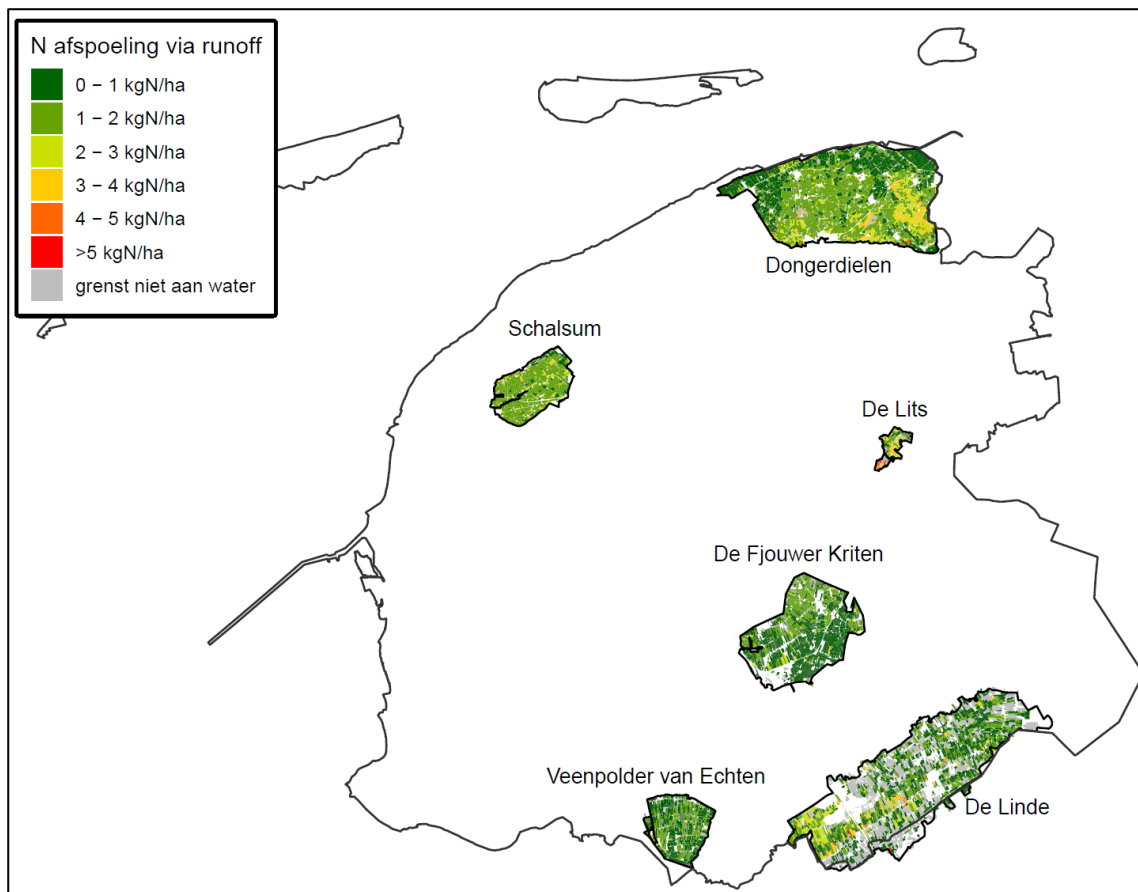
**Figuur 3.3** Variatie van de jaargemiddelde uitspoeling (periode 2010-2017) van de landbouwpercelen per polder, voor stikstof (boven), fosfor (midden) en water (beneden), uitgesplitst naar uitspoelroute (ondiep en diep) en naar periode: volledige jaar, winter (oktober t/m maart) en zomer (april t/m september).

Verder blijkt uit de modelberekeningen dat de uitspoeling flink kan verschillen per landbouwperceel, gezien de spreiding en de 'outliers' in de boxplots van Figuur 3.3. Deze verschillen in uitspoeling zijn voor de ondiepe route ruimtelijk weergegeven in Figuur 3.4 (water), Figuur 3.5 (stikstof) en Figuur 3.6 (fosfor). Hieruit blijkt dat er hotspots zijn voor ondiepe uitspoeling, gerelateerd aan de perceelseigenschappen. Vooral de grondsoort (Figuur B1.6 in Bijlage 1) en de grondwatertrap (Figuur B1.3 in Bijlage 1) zijn hierbij van belang. Zo zijn vooral de natte klei- en veengebieden gevoelig voor ondiepe uitspoeling. De hotspot in de Linde is een voorbeeld van zo'n nat veengebied met een hoge grondwaterstand (grondwatertrap 2 en 3). De zandgronden in de Linde (het overgrote deel) hebben een kleinere ondiepe uitspoeling. Voor fosfor wordt de ruimtelijke variatie ook beïnvloed door de fosfaatverzadiging van de landbouwgronden en de daaraan gerelateerde P-concentratie van het runoff water (Figuur B2.1 in Bijlage 2). Hierin is te zien dat vooral de kleipolders (Dongerdielen en Schalsum) een iets hogere fosfaatverzadiging hebben dan de andere polders, waardoor deze polders iets gevoeliger zijn voor ondiepe P-uitspoeling.

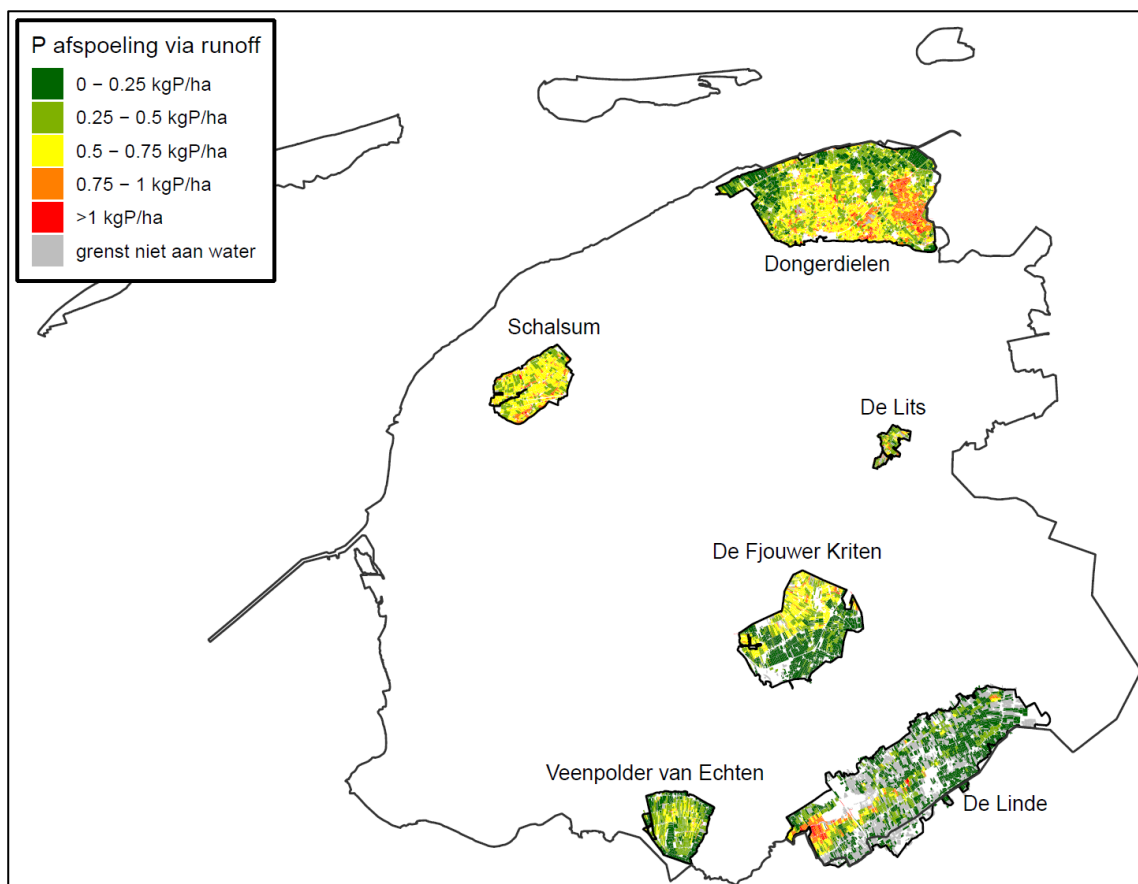
Bij de interpretatie van de hotspots van ondiepe uitspoeling (Figuur 3.4, Figuur 3.5 en Figuur 3.6) is het belangrijk om te realiseren dat de bijdrage van de ondiepe routes waarschijnlijk wordt overschat in gebieden die zijn voorzien van buisdrainage. Dit komt doordat de berekeningen van de ondiepe routes leunen op de runoff-berekening van vergelijking 2.1, die geen rekening houdt met de aanwezigheid van buisdrains. In percelen met buisdrains zal de hoeveelheid water en nutriënten via ondiepe routes daardoor waarschijnlijk kleiner zijn, omdat een deel van het overtollige water bij hevige of langdurige buien niet over het maaiveld afspoelt maar via buisdrains wordt afgevoerd. Vooral voor de kleipolders (Dongerdielen en Schalsum) is dit relevant, omdat de ingelegene landbouwpercelen grotendeels (voor zo'n 75%) zijn voorzien van buisdrains (Figuur B1.2 in Bijlage 1).



**Figuur 3.4** Jaargemiddelde ondiepe uitspoeling van water zoals berekend met de BRP-perceelskenmerken.



**Figuur 3.5** Jaargemiddelde hoeveelheid stikstof (2010-2017) die ondiep uitspoelt per BRP-perceel.



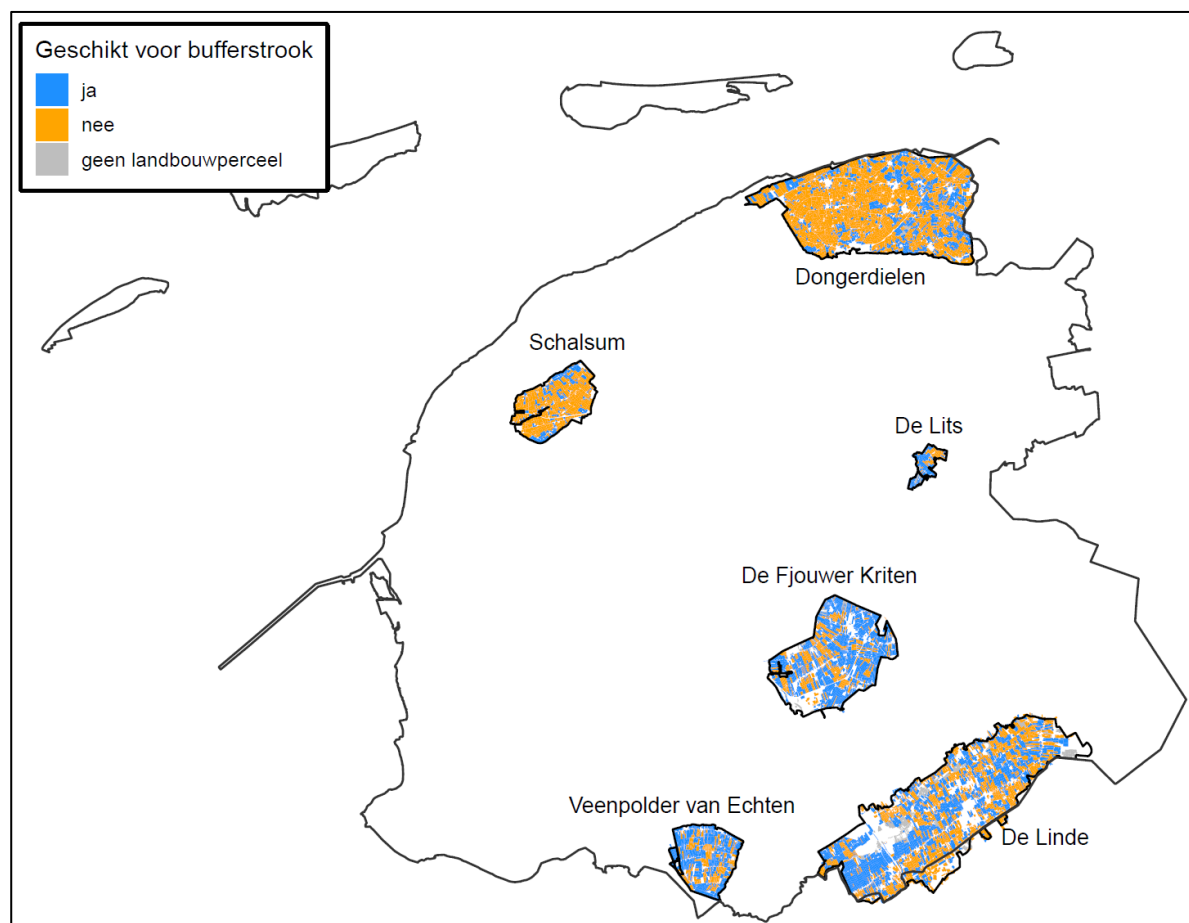
**Figuur 3.6** Jaargemiddelde hoeveelheid fosfor (2010-2017) die ondiep uitspoelt per BRP-perceel.

### 3.3 Geschiktheid landbouwpercelen voor randenteelt

De laatste analyse richt zich op de geschiktheid van de percelen voor bufferstroken en/of randenteelt. Hieruit blijkt dat gemiddeld 44% van de landbouwpercelen zich hiervoor leent, met een bijbehorende totale perceelrandlengte van bijna 3.200 kilometer (Tabel 3.4). De geschiktheid verschilt per polder (Figuur 3.7). Het meest geschikt zijn de landbouwpercelen in De Lits (69%), De Fjouwer Kriten (69%) en Veerpolder van Echten (64%), gezien het grote aantal percelen dat aan het water ligt (Figuur B1.1 in Bijlage 1) en de beperkte aanwezigheid van buisdrainage (Figuur B1.2 in Bijlage 1). De Linde is minder geschikt (51% van de percelen leent zich voor bufferstroken), omdat hier minder percelen aan water grenzen in vergelijking met de andere polders. Het minst geschikt zijn de kleipolders Dongerdielen (met 26% geschiktheid) en Schalsum (22%), vanwege de grote aanwezigheid van buisdrainage.

**Tabel 3.4**      *Geschiktheid van de polders voor bufferstroken.*

| Polder        | opper-<br>vlak (ha) | BRP landbouw-<br>percelen (ha) | landbouw-percelen<br>geschikt voor<br>bufferstroken (ha) | Areaal buffer-<br>stroken (ha) | Lengte<br>Buffer-<br>stroken (km) | Gem. breedte<br>buffer-<br>stroken (m) |
|---------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| Dongerdielen  | 13535               | 11056 (82%)                    | 2919 (26%)                                               | 167 (5.7%)                     | 728                               | 2.3                                    |
| Echten        | 2858                | 2326 (81%)                     | 1546 (66%)                                               | 99 (6.4%)                      | 462                               | 2.1                                    |
| Fjouwer       | 6883                | 4581 (67%)                     | 3148 (69%)                                               | 199 (6.3%)                     | 958                               | 2.1                                    |
| Linde         | 15570               | 10126 (65%)                    | 5123 (51%)                                               | 226 (4.4%)                     | 823                               | 2.7                                    |
| Lits          | 569                 | 476 (84%)                      | 328 (69%)                                                | 19 (5.8%)                      | 85                                | 2.2                                    |
| Schalsum      | 3165                | 2562 (81%)                     | 555 (22%)                                                | 31 (5.6%)                      | 129                               | 2.4                                    |
| <b>Totaal</b> | <b>42580</b>        | <b>31127 (73%)</b>             | <b>13619 (44%)</b>                                       | <b>741 (5.4%)</b>              | <b>3185</b>                       | <b>2.3</b>                             |



**Figuur 3.7**      *Geschiktheid van percelen voor bufferstroken.*

---

## 4 Conclusies

In deze studie is de uit- en afspoeling van water en nutriënten vanuit landbouwpercelen naar oppervlaktewater onderzocht voor zes polders in Friesland. Gekeken is hoe groot de totale uitspoeling is, hoe deze is verdeeld over diepe en ondiepe paden, en in hoeverre de uitspoeling varieert in de ruimte en tijd. De ondiepe paden geven een benadering van de doorstroming van de perceelranden. Ze verschaffen zodoende inzicht in de beschikbare hoeveelheid water en nutriënten voor eventuele extensieve teelten op de perceelrand, inclusief de maximaal te zuiveren hoeveelheid nutriënten. De resultaten zijn bepaald op perceelsniveau met modellen en rekenregels die zijn gevalideerd op nationale en regionale schaal. Daarom is voorzichtigheid geboden bij het interpreteren van de resultaten op perceelniveau. Al geven ze opgeschaald naar polderniveau een aardige indicatie van de orde van grootte van de ondiepe en diepe uitspoeling.

De belangrijkste conclusies op een rij:

- **Totale uitspoeling:** De langjarig gemiddelde uitspoeling (2010-2017) vanuit landbouwgronden bedraagt voor alle polders gemiddeld zo'n 15 kgN/ha/jaar voor stikstof en 1.7 kgP/ha/jaar voor fosfor. De variatie binnen en tussen de polders is groter voor P dan voor N. Zo hebben de zandpolder (De Linde en De Lits) een lagere P uit- en afspoeling dan de beschouwde klei- en veenpolders. Dit kan tot een factor 2 of 3 schelen.
- **Verdeling uitspoeling over ondiepe en diepe paden:** Het gros van de uitspoeling verloopt via diepe paden (grondwater). Het resterende deel dat ondiep afstroomt via het maaiveld en via het bovenste deel van de bodem (interflow) bedraagt poldergemiddeld zo'n 10% van de totale uitspoeling voor N en 25% voor P. Per polder verschillen deze percentages tot een factor 2.
- **Variatie in de tijd:** De uitspoeling verschilt per jaar. Vooral de hoeveelheid ondiepe uitspoeling is gevoelig voor het weerjaar en kan poldergemiddeld tot een factor 5 verschillen per jaar, in vergelijking met een factor 2 voor de diepe uitspoeling. Althans voor N. Voor P is de berekende variatie iets kleiner met een factor 1.5 voor de diepe uitspoeling en een factor 4 voor de ondiepe uitspoeling. Verder vindt de meeste uitspoeling plaats in de winter (zo'n 85%) ten opzichte van de zomer (zo'n 15%).
- **Variatie in de ruimte:** Ook in de ruimte varieert de uitspoeling behoorlijk. De hoeveelheid ondiepe uitspoeling hangt vooral af van de grondsoort en de grondwatertrap van het perceel. Hotspots van ondiepe uitspoeling bevinden zich vooral in natte klei- en veengebieden, terwijl droge zandgronden vaak de minste ondiepe uitspoeling hebben.
- **Geschiktheid voor bufferstroken / randteelten:** Ongeveer 45% van de landbouwpercelen in het studiegebied leent zich voor bufferstroken of randteelten. Dit komt neer op een totale perceelrandlengte van bijna 3.200 kilometer. Aangenomen is dat percelen geschikt zijn voor bufferstroken als ze aan water grenzen en als ze geen buisdrainage hebben. Omdat vrijwel alle percelen in het studiegebied aan het water grenzen (m.u.v. van de Linde waar niet ruim 90% maar 72% van de percelen aan water ligt), is vooral de aanwezigheid van buisdrainage beslissend. Daarom zijn de twee kleipolders, die beiden veel buisdrains hebben, het minst geschikt; Schalsum (met 22% geschiktheid) en Dongerdielen (26%). Daarna volgen De Linde (51%), Veenpolder van Echten (64%), De Fjouwer Kriten (69%) en de Lits (69%).

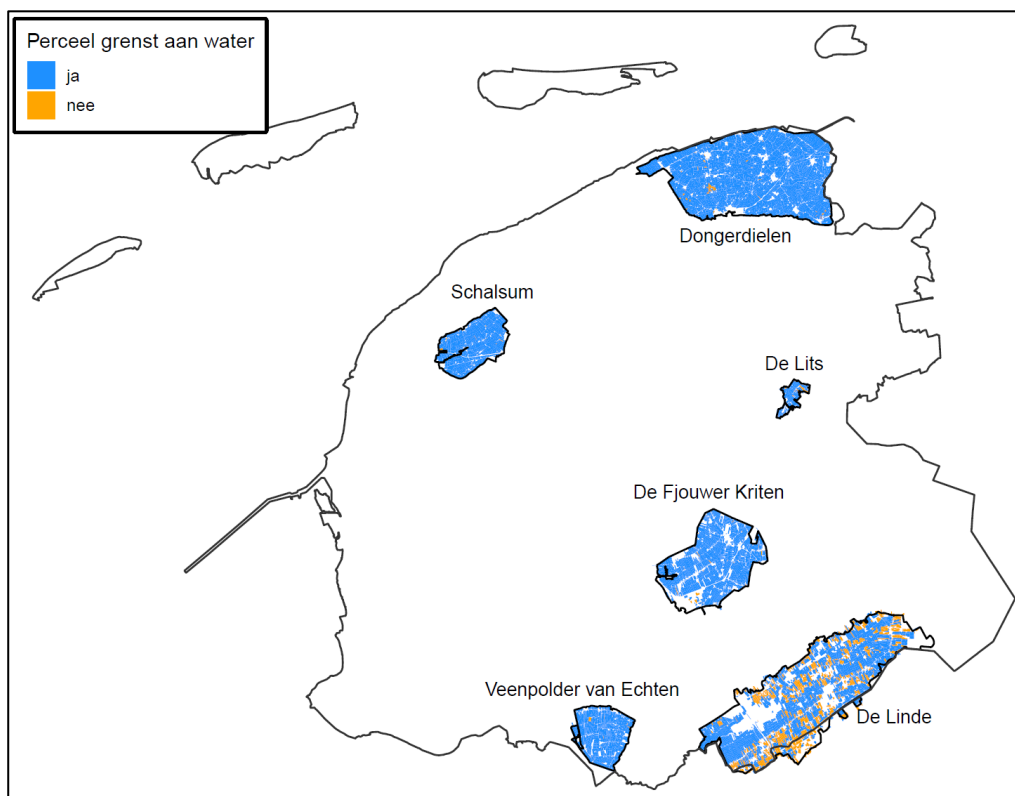


---

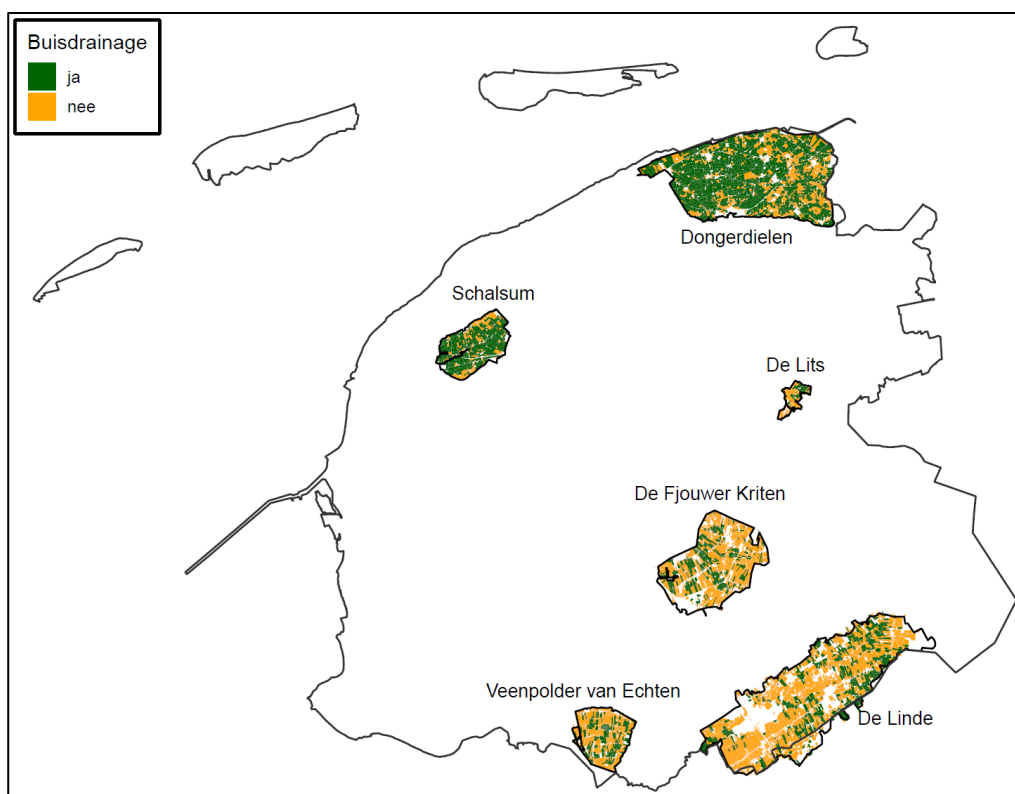
# Literatuur

- Boekel, E.M.P.M., P. Groenendijk en L.V. Renaud, 2016. Bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater in het beheergebied van Wetterskip Fryslân; Studie naar de herkomst en beïnvloedbaarheid van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor zes polders in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Wageningen, Alterra-rapport 2727.
- Gaalen, F. van, A. Tiktak, R. Franken, E.M.P.M. van Boekel, P. van Puijenbroek en H. Muilwijk, 2015. Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL.
- Gerven, L.P.A. van, Jansen, S., Groenendijk, P. (2019). Maatregel op de Kaart (Fase 1), identificeren van kansrijke landbouwmaatregelen per perceel voor schonere grond- en oppervlaktewater. Kennisimpuls Waterkwaliteit notitie. Zie ook H2O-artikel.
- Groenendijk, Piet; Boekel, Erwin van; Renaud, Leo; Greijdanus, Auke; Michels, Rolf; Koeijer, Tanja de, 2016. Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren: het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research rapport 2749.
- Groenendijk, P., L.P.A. van Gerven, E.M.P.M. van Boekel, in prep. Maatregelen op en rond landbouwpercelen ter vermindering van de uit- en afspoeling van nutriënten. Achtergrondinformatie over maatregelen ten behoeve van de Nationale Analyse Waterkwaliteit.
- Kaika, M., 2003. The Water Framework Directive: A New Directive for a Changing Social, Political and Economic European Framework, European Planning Studies, 11:3, 299-316.
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Ratter, H. van Zeijts, 2003. The integrated modeling system STONE for calculating nutriënt emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modelling & Software, Volume 18, Issue 7, Pages 597-617.

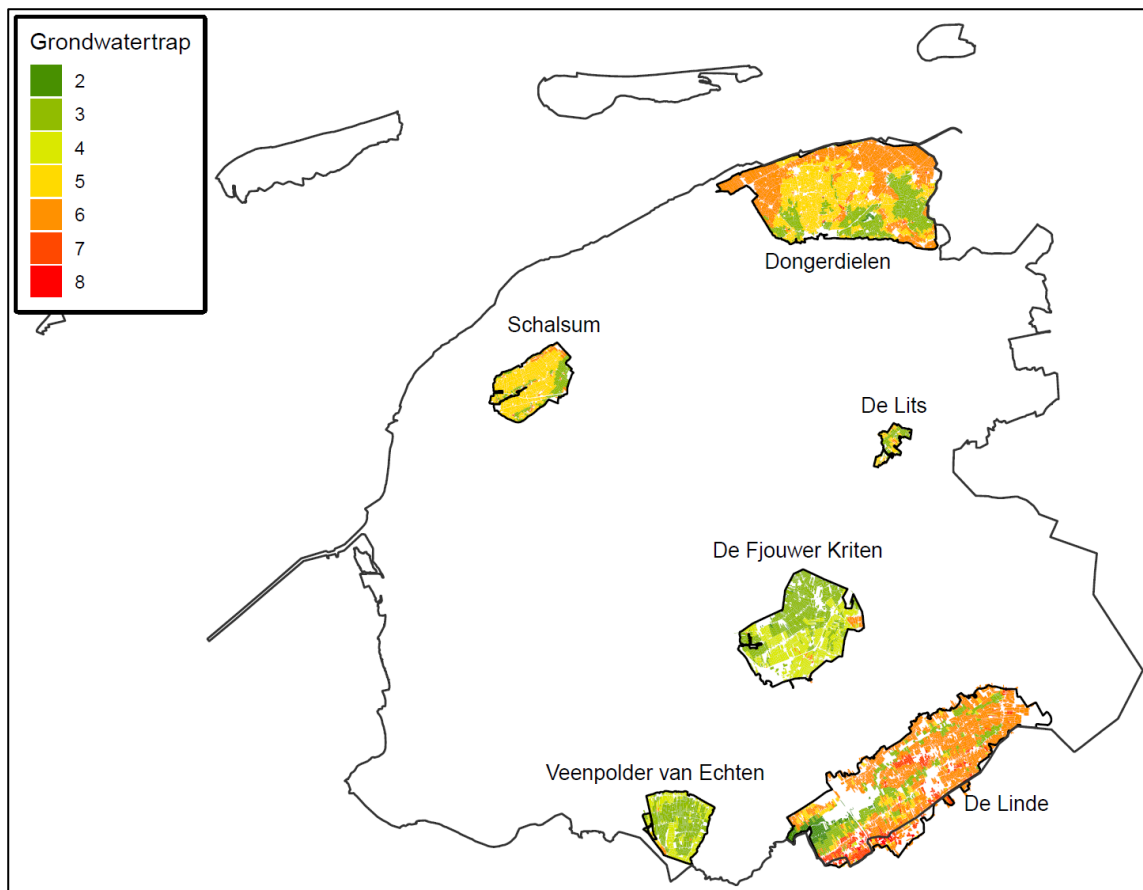
# Bijlage 1 Perceelskenmerken



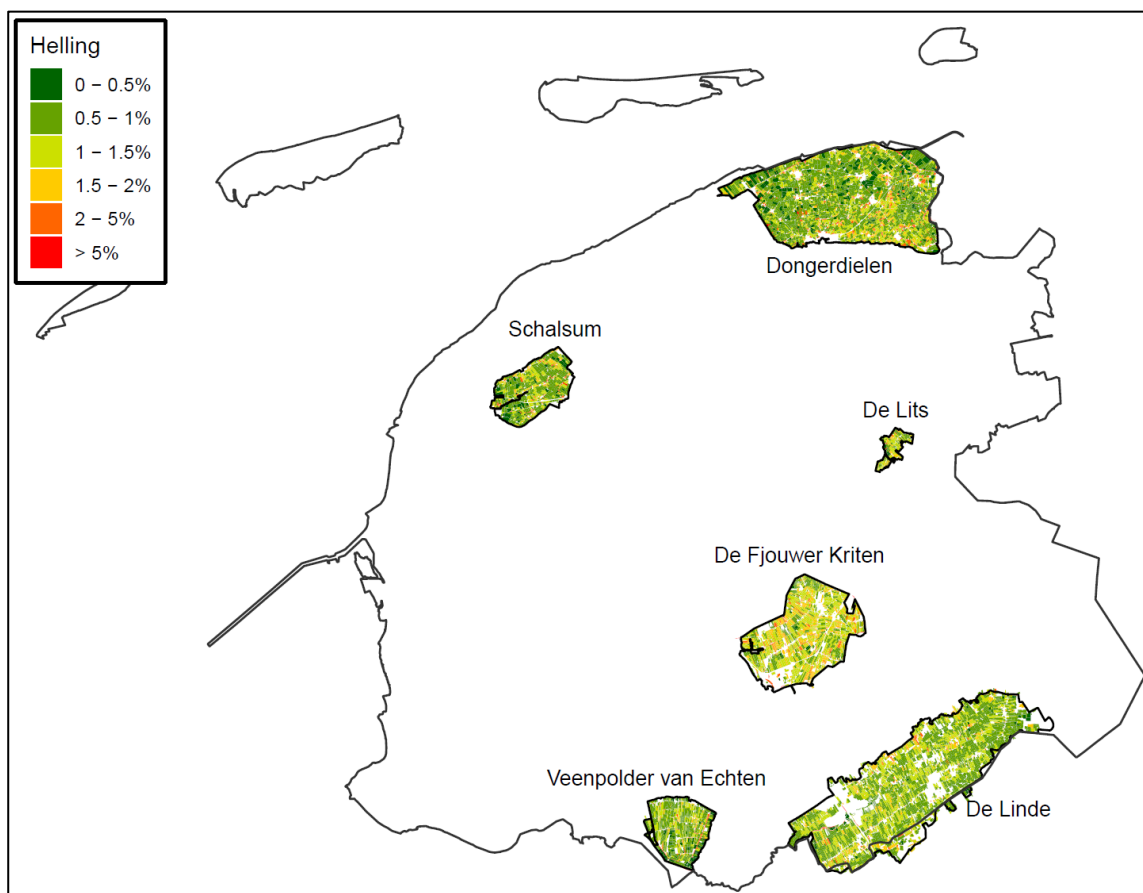
**Figuur B1.1** Aanwezigheid van aangrenzende waterlopen per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).



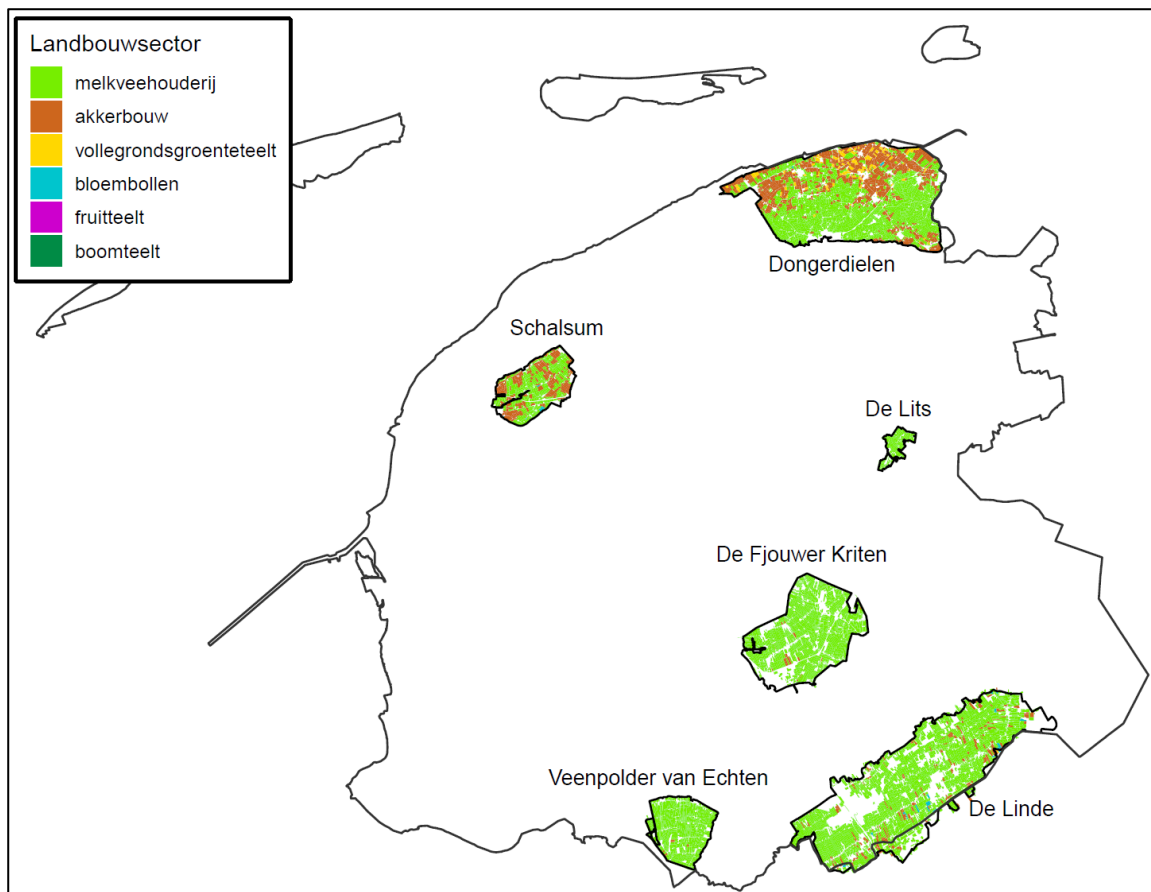
**Figuur B1.2** Aanwezigheid van buisdrainage per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).



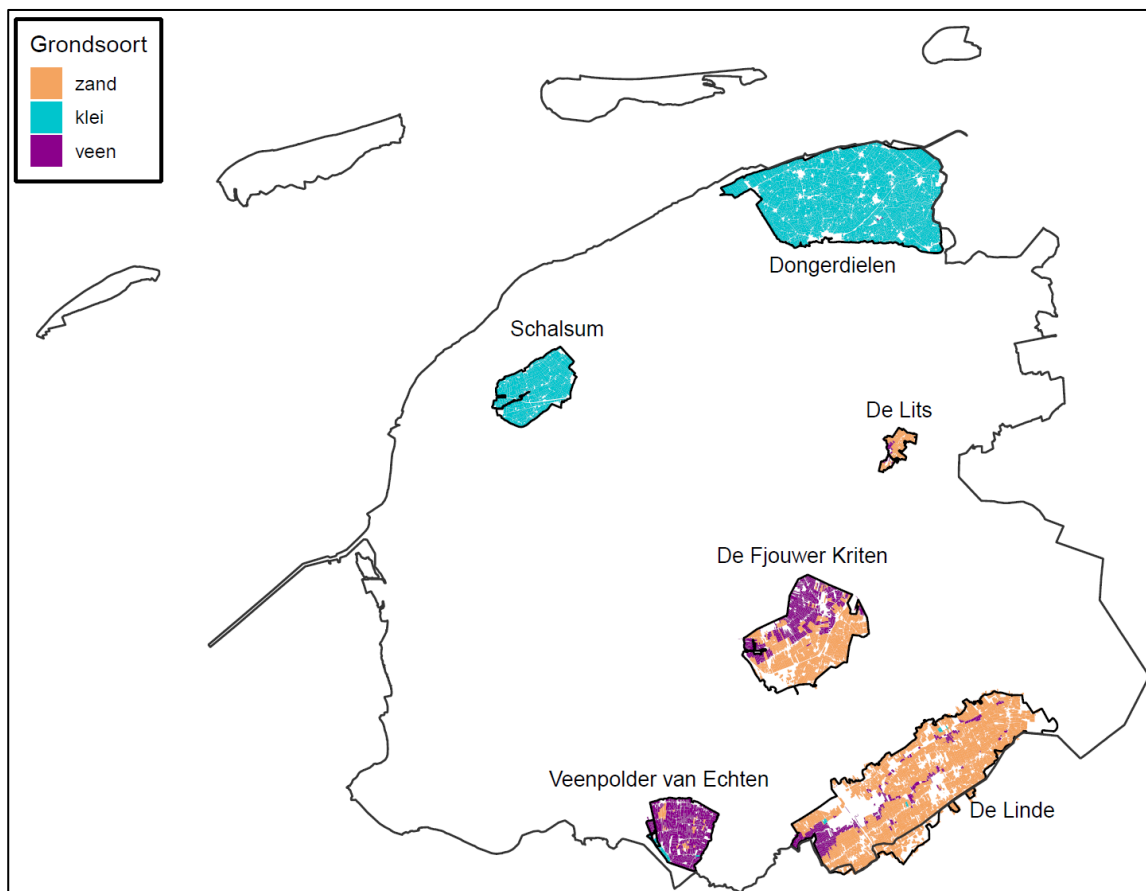
**Figuur B1.3** Grondwatertrap per BRP-perceel; van natte percelen (grondwatertrap 2) naar droge percelen (grondwatertrap 8) (bron: Van Gerven et al. 2019).



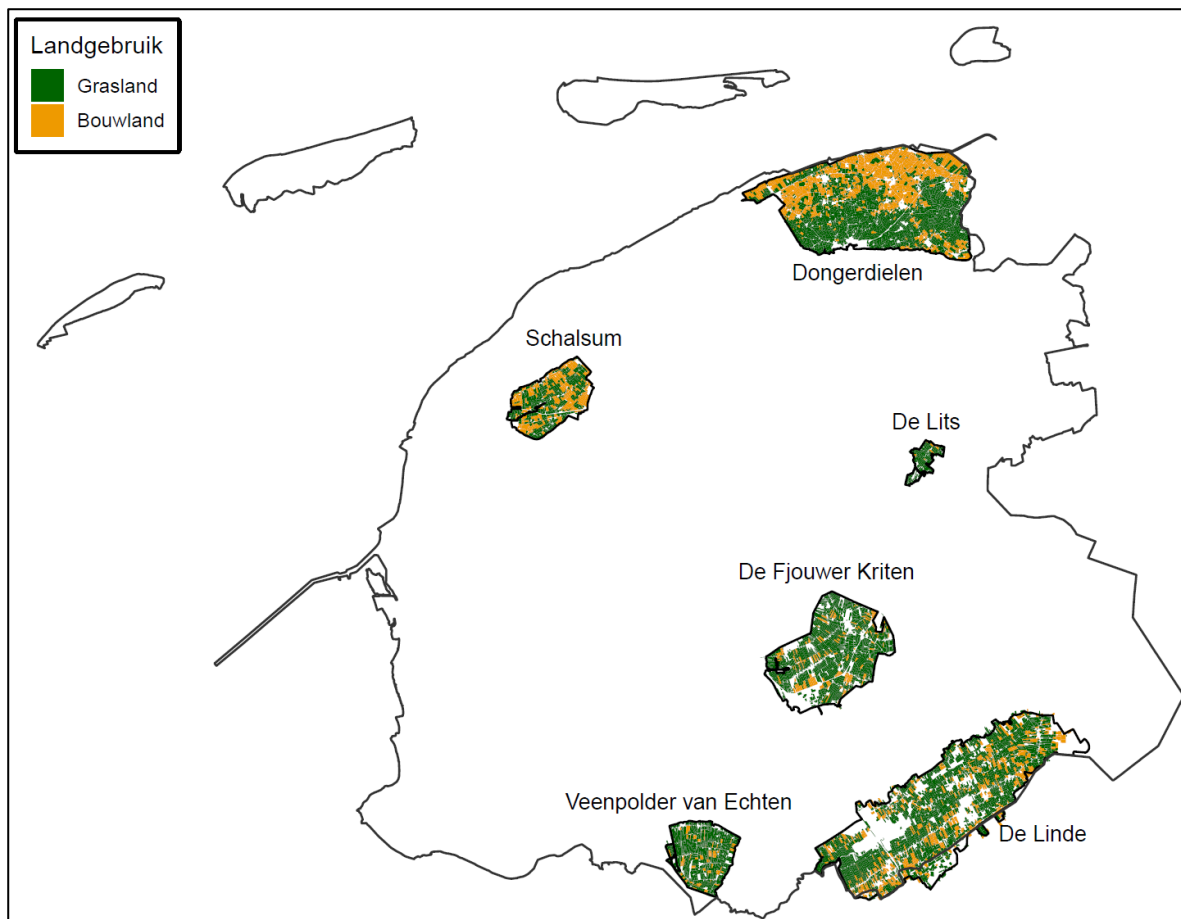
**Figuur B1.4** Mediane helling per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).



**Figuur B1.5** Landbouwsector per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).

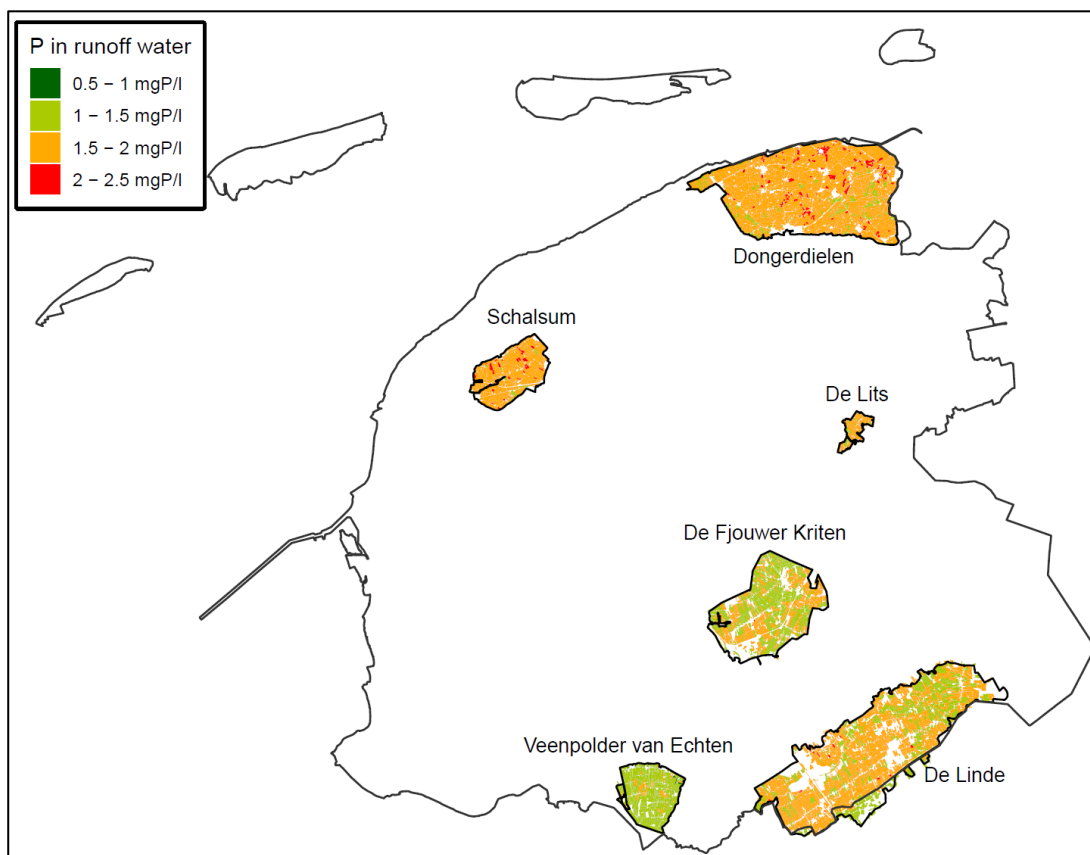


**Figuur B1.6** Bodemtype per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).



**Figuur B1.7** Landgebruik per BRP-perceel (bron: Van Gerven et al. 2019).

## Bijlage 2 P-concentratie van runoff-water



**Figuur B2.1** Jaargemiddelde P-concentratie van het runoff water per BRP-perceel, afgeleid van Eurofins-gegevens over de fosfaatverzadiging van de bovengrond.

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00

Wageningen Environmental Research  
Notitie  
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, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten 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.