

TOPSOIL DUURZAME WATERKWALITEIT DRENTHE

Effecten van klimaat- en beheerscenario's op de export van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in de stroomgebieden van de Drentsche Aa en de Hunze



Ref.: 1603390A00-R19-710
Eindversie
5 juli 2019



Waterschap Hunze en Aa's

Contactpersoon Marian van Dongen
Adres Waterschap Hunze en Aa's
Aquapark 5
Veendam

RPS advies- en ingenieursbureau bv

Auteurs Anouk Gevaert en
Maarten J. Waterloo
Projectleider Lotte Rippen
Gecontroleerd door Lotte Rippen
Projectreferentie 180902
Versie 2
Totaal aantal pagina's 42

Handtekening

Handtekening

Akkoord Anouk Gevaert
Adviseur

Akkoord Lotte Rippen
Projectleider

Dit rapport is vertrouwelijk. Geen enkel deel van dit rapport mag aan derden openbaar worden gemaakt zonder schriftelijke toestemming van RPS advies- en ingenieursbureau bv of van de opdrachtgever. Alleen aan het originele complete rapport kunnen rechten worden ontleend. Dit rapport mag UITSLUITEND in zijn geheel worden gereproduceerd.

INHOUDSOPGAVE

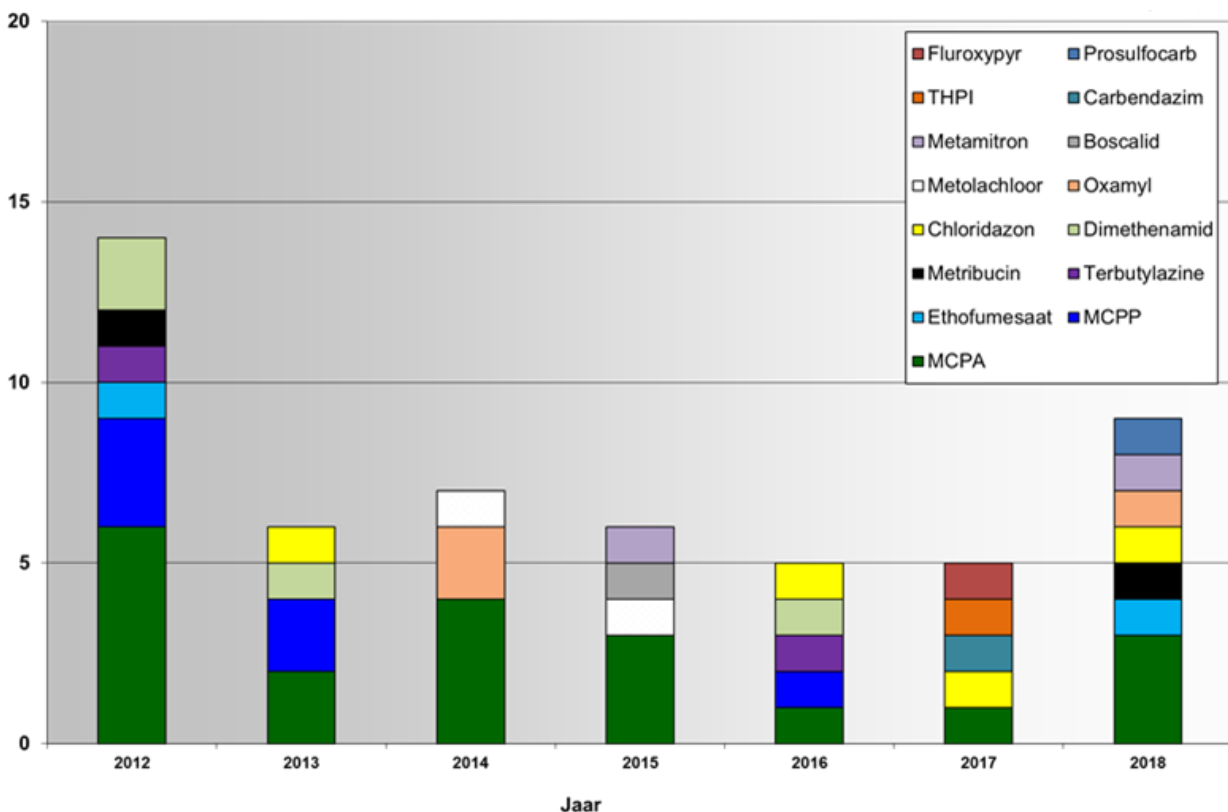
1.	INLEIDING	5
1.1	Fase 1. Ontwikkeling van de basismodellen	6
1.2	Fase 2. Gebiedsessies en scenarioberekeningen	6
1.3	Leeswijzer	7
1.4	English summary	7
2	GEBIEDSSESSIES HUNZE EN DRENTSCHE AA	9
2.1	Stroomgebied Drentsche Aa	9
2.1.1	Hydrologie	10
2.1.2	Gewasbeschermingsmiddelen	10
2.1.3	Potentiële maatregelen	11
2.2	Stroomgebied Hunze	12
2.2.1	Hydrologie	12
2.2.2	Nutriënten	12
2.2.3	Potentiële maatregelen	13
3	AANPAK SWAT-MODELLERING	15
3.1	Uniform landgebruik met maximale GBM dosering	16
3.2	Uniform landgebruik met halve GBM dosering	16
3.3	Akkerranden	17
3.4	Klimaatscenario	18
4	RESULTATEN MAATREGEL SCENARIO'S	20
4.1	Uniform landgebruik met maximale dosering	20
4.2	Uniform landgebruik met helft van maximale dosering	25
4.3	Akkerranden scenario	27
4.4	Conclusie ten aanzien van scenario's met maatregelen	29
5	KLIMAATSCENARIO'S	30
5.1	Meteorologische invoergegevens	30
5.2	Stroomgebied Drentsche Aa	31
5.3	Stroomgebied Hunze	33
5.4	Conclusies ten aanzien van klimaatverandering	36
6	OVERDRACHT SWAT-MODEL EN SCENARIO'S	37
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	38
7.1	Conclusies	38
7.1.1	Effect van maatregelen	38
7.1.2	Effect van klimaatverandering	39
7.2	Aanbevelingen	39
8	LITERATUUR	42

BIJLAGEN

1.	Kenmerken gewasbeschermingsmiddelen	I
2.	Kenmerken KNMI klimaatscenario GL-midden.....	II
3.	Uniform landgebruik met maximale dosering: MCPA met natuurgebieden	III
4.	Uniform landgebruik met maximale dosering: metolachloor met natuurgebieden	IV
5.	Uniform landgebruik met helft maximale dosering: MCPA met natuurgebieden	V
6.	Akkerranden: MCPA met natuurgebieden	VI
7.	Effect van akkerranden: MCPA met natuurgebieden.....	VII
8.	Basismodel 2001 – 2010: MCPA met natuurgebieden	VIII
9.	GL-midden: MCPA met natuurgebieden	IX
10.	Effect van klimaatverandering: MCPA met natuurgebieden	X

1. INLEIDING

De stroomgebieden van de Drentsche Aa (255 km²) en de Hunze (261 km²) hebben als dominant grondgebruik landbouw, natuur en stedelijk gebied. De stroomgebieden vallen onder beheer van het Waterschap Hunze en Aa's. De Drentsche Aa vormt tevens een bron van water voor de drinkwaterproductie voor de stad Groningen via onttrekking van oppervlaktewater bij De Punt door het Waterbedrijf Groningen. Onder de beheerstaken valt ook de zorg voor goede ecologische condities van het watersysteem met eisen ten aanzien van de waterkwaliteit. In de KRW- en drinkwaterrichtlijnen zijn ondermeer normen gesteld voor de maximale concentraties van N, P en gewasbeschermingsmiddelen die in het oppervlaktewater voor mogen komen. In beide stroomgebieden liggen de gemeten concentraties van N en P al dicht bij de normen, mede door landelijke maatregelen die in het verleden zijn genomen ten aanzien van het mestbeleid. Echter, in de Drentsche Aa vinden nog regelmatig overschrijdingen plaats van de drinkwater en milieukwaliteitsnormen voor gewasbeschermingsmiddelen. De drinkwaterlimiet geldt alleen bij het innamepunt en is 0,1 µg l⁻¹ voor een enkele stof, met een totaal van 0,5 µ l⁻¹ voor de som van de concentraties van aangetroffen stoffen. In Figuur 1 worden de overschrijdingen bij het innamepunt de Punt van Waterbedrijf Groningen tussen 2012 en 2018 weergegeven. De stoffen die de afgelopen jaren de meeste overschrijdingen hebben veroorzaakt zijn de herbiciden MCPA, mecoprop (MCP), terbutylazine, metolachloor, dimethenamid-P en chloridazon.



Figuur 1: jaarlijks aantal normoverschrijdingen voor verschillende gewasbeschermingsmiddelen en biociden zoals gemeten bij het drinkwaterinnamepunt De Punt in de Drentsche Aa (bron: Waterbedrijf Groningen).

In het jaar 2018 vonden overschrijdingen van de normen met name plaats tijdens en vlak na intensieve neerslag, wanneer water via snelle routes van de percelen afgevoerd wordt, *i.e.* via oppervlakkige afvoer en via drains, waarbij de op het land opgebrachte stoffen voornamelijk in opgeloste vorm meegevoerd worden. In andere jaren zijn overschrijdingen vooral waargenomen in de maanden mei en juni, de maanden waarin

rps.nl

de meeste gewasbeschermingsmiddelen worden toegepast en er een verhoogd risico is op af- en uitspoeling. Om zulke overschrijdingen in de toekomst tegen te gaan dienen maatregelen geïdentificeerd te worden, die zowel efficiënt zijn, als draagvlak genieten onder de telers die deze maatregelen in hun landbouwpraktijk dienen te implementeren.

Hoewel N en P concentraties momenteel rond de norm liggen, zouden verandering in het klimaat, zoals het vaker voorkomen van intensieve neerslag in de zomer of de verhoging in de temperatuur, een hogere export van nutriënten kunnen veroorzaken, wat leidt tot overschrijding van de normen. Om te anticiperen op klimaatverandering en veranderingen in landbouwpraktijk, in het licht van de duurzaam te behalen doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de drinkwaternormen, hebben het waterschap Hunze en Aa's en de provincie Drenthe een gezamenlijk project uitgevoerd binnen het TopSoil Interreg North Sea Region Programma van de Europese Unie.

Het hoofddoel van het project was om te bepalen met welke haalbare en betaalbare maatregelen ingespeeld zou kunnen worden op de gevolgen van klimaatverandering ten aanzien van uit- en afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen (GBM) uit landbouwpercelen en het behalen van de normen gesteld aan drinkwater. Het project is in november 2016 gestart en in twee opeenvolgende fasen uitgevoerd. In dit document worden de resultaten van de activiteiten in de tweede fase van het project gepresenteerd. Rapportage over fase 1 is eerder gedaan in RPS en Acacia Water (2019).

1.1 Fase 1. Ontwikkeling van de basismodellen

De eerste fase bestond uit het ontwikkelen van basismodellen die de huidige landbouwpraktijk vertegenwoordigen en waarmee risicokaarten voor wat betreft de oppervlakkige afspoeling vanuit landbouwpercelen, drainuitspoeling, en uit- en afspoeling van N, P, en gewasbeschermingsmiddelen zijn ontwikkeld. Voor het ontwikkelen van de risicokaarten voor af- en uitspoeling van water is het Soil Water Atmosphere Plant (SWAP) model (van Dam, 2000; Kroes et al., 2017) gebruikt. Hiermee is de meest recente gedetailleerde bodemschematisatie (bron: Alterra) geaggregeerd tot een simpeler, representatief bodemschema. Met de meest recente informatie over kwel, ligging van drains, diepte van het keileem, en bodemfysische informatie zijn met SWAP vervolgens risicokaarten gemaakt.

De met SWAP verkregen geaggregeerde bodemschematisatie is vervolgens in het Soil Water Assessment Tool (SWAT; Neitsch et al., 2011) geïmplementeerd, in combinatie met topografische informatie, actuele bouwplannen, informatie over toepassing van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in deze bouwplannen, weersgegevens van het KNMI etc. SWAT rekent met hydrological response units (HRU's) die unieke combinaties vormen van bodem en grondgebruik. Voor elke HRU wordt uit- en afspoeling van water, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen doorgerekend en deze vrachten worden verder in het oppervlaktewatersysteem getransporteerd naar de uitlaat van het stroomgebied. Op deze wijze is een basismodel verkregen, waarmee de huidige af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen zowel op perceelschaal (*i.e.* HRU-schaal) als op stroomgebiedschaal gesimuleerd konden worden. De ontwikkeling van deze modellen in de eerste fase en de resultaten in de vorm van risicokaarten voor af- en uitspoeling zijn eerder gepubliceerd in RPS en Acacia Water (2019).

1.2 Fase 2. Gebiedsessies en scenarioberekeningen

Fase 2 betreft evaluatie van de resultaten verkregen in fase 1 bij de belanghebbenden, het op basis van de evaluaties ontwerpen van scenario's en vervolgens het doorrekenen van de scenario's. In drie avondsessies in de stroomgebieden van de Hunze en de Drentsche Aa op 4, 6 en 18 maart 2019 zijn de risicokaarten voor af- en uitspoeling van water, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen voorgelegd aan groepen van telers

voor validatie van de resultaten. Op basis van deze evaluaties zijn aanpassingen aan het SWAT-model gedaan en zijn verschillende scenario's geformuleerd en doorgerekend om meer duidelijkheid te krijgen over de oorzaken van verschillen in de afstroming van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen en over de toekomstige ontwikkelingen hierin ten gevolge van klimaatverandering. Voor dit laatste aspect is het G_L scenario van het KNMI geselecteerd tijdens een overleg met de partners in het project. Uiteindelijk zijn de SWAT-modellen en scenario's overgedragen aan het Waterschap Hunze en Aa's, wat het in de toekomst mogelijk maakt om alternatieve scenario's door te rekenen.

1.3 Leeswijzer

In deze rapportage worden de resultaten van fase 2 gepresenteerd. De evaluaties van de gebiedsessies worden beschreven in Hoofdstuk 2. De geformuleerde scenario's en de gebruikte methoden voor de berekeningen met SWAT worden beschreven in Hoofdstuk 3. In Hoofdstukken 4 en 5 worden respectievelijk de resultaten van de maatregelsscenario's en klimaatscenario geanalyseerd. Hoofdstuk 6 beschrijft de overdacht van alle modellen en invoergegevens, en conclusies en aanbevelingen worden in Hoofdstuk 7 gepresenteerd.

1.4 English summary

The European Water Framework Directive poses limits to the concentrations of nutrients and pesticides in surface water bodies, whereas additional standards need to be met when water is extracted for drinking water supply. The agricultural sector is one of the sectors that affects water quality as applied fertilizer and pesticides can drain into the surface water with overland flow, tile drain effluent, and to a lesser extent with groundwater runoff. Water boards are responsible for ensuring that water quality meets European and drinking water standards. They make use of a range of measures to achieve the standards in collaboration with the agricultural sector, ranging from more efficient application of nutrients and pesticides, other adaptations in farming practices such as the implementation of buffer strips, and conversion of agricultural land into less intensive land use, such as nature, in highly sensitive areas.

The Hunze and Aa's Water Board is responsible for water quality in the Drentsche Aa and the Hunze catchments, among others. The Drentsche Aa has a surface area of 255 km², whereas that of the Hunze catchment is 261 km². Dominant land uses in both catchments are nature, agriculture and urban land uses. In the Hunze catchment nutrient concentrations are currently close to the water quality limits. The Drentsche Aa contributes to the drinking water supply of the City of Groningen and pesticide concentrations regularly exceed the standards, whereas P is close to the standard. Climate change is likely to affect the rainfall regime and may therefore lead to higher exports of nutrients and pesticides from agricultural fields. Therefore, measures need to be taken in the agricultural sector to ensure that water quality standards will continue to be met in the future.

To obtain a better understanding of the risks to water quality under future climate conditions the Dutch Water Boards of Hunze and Aa's and Noorderzijlvest, the province of Drenthe, and the Groningen Water Company jointly participated in the Topsoil Interreg project within the North Sea Region Programme of the European Union. Within the first phase of the project the Soil Water Atmosphere Plant (SWAP) model and the Soil Water Assessment Tool (SWAT) model were used to develop risk maps for surface runoff, drain effluent and nutrient and pesticide exports from agricultural fields under current land use, crop rotation and climate conditions. This was considered to be the reference model against which scenarios would be run in the second phase. SWAP modelling indicated that the surface layer hydraulic conductivity and the depth of the till layer in the soil were the most important factors leading to overland flow. However, the exports of nutrients

and pesticides modelled with SWAT were influenced by a much wider range of factors (soil, crop rotation factors, timing of rainfall, etc.) and a dominant factor could not be identified.

The risk maps were discussed with groups of farmers to validate the model, and to determine which types of measures to reduce contamination of surface water are deemed to be effective, practical and acceptable. One important outcome of the discussion was related to pesticide application. The application amounts were taken from the product labels and from the 2017 Delphy manual for pesticide application, but farmers noted that the amounts used as input into the model were too high and suggested to use lower application rates as input. Concerning measures, buffer strips are already applied to fields in both catchments, though they are not always permanent. Even so, they conceded that the use of buffer strips along water courses could reduce exports and viewed this as a potential measure that they could support. Farmers also indicated the importance of increasing the soil organic matter content in their fields, and are implementing different measures, such as changed plowing practices and mulching, to achieve this. Based on the discussions, several modelling scenarios were developed to gain more insight into the processes leading to different exports and to assess the impact of climate change.

To better understand the role of soil type in the export of nutrients and pesticides, a scenario was made for uniform land use (*i.e.* grass cover) instead of the different crop rotation schemes. In the first scenario the maximum pesticide application was used, whereas in a second scenario 50% of the maximum was applied. The results showed that the soil organic matter content and the slope of the HRU were important factors affecting the export. In addition, a single high rainfall event in one part of the area in combination with the timing of pesticide application several days before the rainfall event, resulted in higher exports in that area in comparison to the rest of the catchment, even when exports were averaged over a period of 10 years. This highlighted the importance of the relation between high pesticide export and field application just before high rainfall events. This observation was supported by the fact that a single large storm in May 2018 in the Drentsche Aa catchment led to concentrations being above the limits in the surface water for seven pesticides.

Sediment production is low due to the rather flat topography and most of the pesticides were therefore exported as solutes, with only a minor amount as sorbed to sediment. Lowering of the application rate of pesticides to 50% of the maximum dose lowered the amount of pesticides leaching into surface water by a corresponding 50%. Hence, a reduction of pesticide export could be achieved by lowering application rates, though farmers insisted that they are already at minimum dose level and need the current application rates to maintain crop production.

The third scenario introduced buffer strips to all HRU's in the basic model. The design of the buffer strips was such that a proportion of the HRU roughly corresponding to a buffer strip width of 4 m. The results indicated that a 30% reduction in nutrient and pesticide exports could be achieved by universally implementing this measure.

With respect to the climate change scenarios, the low-impact G_L scenario developed by the KNMI was selected. The scenario is characterized by higher temperatures, somewhat higher annual precipitation, and higher summer rainfall events spaced further apart in time. The resulting exports of pesticides from agricultural fields in the Drentsche Aa catchment increased by about 25%. For nutrients in the Hunze catchment, the result was less clear, with decreases of the export in some part of the catchment and slight increases (up to 15%) in other parts.

2 GEBIEDSSESSIES HUNZE EN DRENTSCHE AA

Om draagvlak te creëren en een praktische validatie van de modelresultaten verkregen in fase 1 te krijgen, is het belangrijk om de belanghebbenden tijdens de uitvoering van het project bij het proces te betrekken. Hiervoor zijn drie gebiedssessies georganiseerd door het waterschap Hunze en Aa's, waaraan het Waterschap Hunze en Aa's, RPS, Acacia Water, Delphy en agrariërs in het gebied hebben deelgenomen. De voorbereiding voor de gebiedssessies voor de evaluatie van de modelresultaten uit fase 1 bestond uit het afdrukken van relevante risicokaarten op A1-formaat, en het maken van presentaties over de problematiek en de wijze van modellering. De netwerken van Delphy en het waterschap Hunze en Aa's werden gebruikt om telers te informeren en uit te nodigen voor de sessies. Uitnodigingen zijn ook verspreid via advertentie in de lokale media.

Het doel van de gebiedssessies was om:

- Het hydrologische model (SWAP) en het water, nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen model (SWAT) van de gebieden te presenteren.
- De resultaten van het model met behulp van kaarten te valideren. Kaarten zijn gemaakt van de risico's van oppervlakkige afspoeling en drain uitspoeling voor beide gebieden, van vrachten van totaal N en P uit percelen voor de Hunze, en van vrachten van chloridazon, MCPA, mecoprop (MCCP), dimethenamid-P, terbutylazine en metolachloor voor de Drentsche Aa.
- Te inventariseren welke maatregelen de telers effectief en ook inpasbaar vinden om af/uitspoeling vanaf percelen te verminderen.

De gebiedssessies van de Drentsche Aa vonden op 4 en 18 maart 2019 plaats in het gebouw van de Agrarische Natuur Drenthe in Rolde, die van de Hunze was op 6 maart in Café 't Keerpunt in Spijkerboor. De agenda voor de sessies was:

- Introductie TopSoil en achtergrondinformatie over waterkwaliteit en de eisen die daaraan gesteld worden door de wetgeving (Waterschap Hunze en Aa's).
- Presentatie over hoe SWAP- en SWAT-modellen ingezet zijn om uit- en afspoeling in kaart te brengen (Acacia Water).
- Discussie over de SWAP- en SWAT-ricokaarten van hydrologie, gewasbeschermingsmiddelen (Drentsche Aa) en nutriënten (Hunze) en terugkoppeling van de telers over de plausibiliteit van de patronen op de kaarten (waterschap Hunze en Aa's, Acacia Water, Delphy).
- Discussie over modelinvoer en resultaten, mogelijke maatregelen om uit/afspoeling te verminderen, welke maatregelen op draagvlak konden rekenen en aan welke condities voldaan zou moeten worden voor implementatie (Delphy).

2.1 Stroomgebied Drentsche Aa

Het Drentsche Aa stroomgebied heeft twee gebiedssessies gehad. Op 4 maart 2019 waren er vijftien deelnemers, voornamelijk veetelers of gemengde bedrijven. Op 18 maart 2019 waren er vier deelnemers, voornamelijk akkerbouwers. In dit gebied worden percelen overigens regelmatig uitgewisseld tussen veetelers en akkerbouwers. De stemming was gemengd. Enerzijds waren de hydrologische kaarten globaal gezien geloofwaardig, maar er waren veel vragen over de gewasbeschermingsmiddelenkaarten. Tijdens beide sessies zeiden deelnemers dat er in de landbouw in de afgelopen jaren al heel veel verbeteringen doorgevoerd waren, maar dat daar te weinig aandacht voor is geweest. Ze hebben al heel veel maatregelen toegepast waaraan investeringen ten grondslag lagen en vragen zich af wanneer het voldoende zal zijn.

2.1.1 Hydrologie

Deelnemers vonden de met SWAP geproduceerde hydrologische kaarten over het algemeen herkenbaar, soms zelfs tot in detail (e.g. zeer natte plek die als rode vlek zichtbaar was op kaart), Er werd geconstateerd dat de als invoer gebruikte drainagekaarten niet overal correct of volledig waren. Dit was vooral het geval voor deelnemers uit het gebied waar de MIPWA-kaarten gebruikt waren. Deelnemers uit gebieden waar Natura 2000-kaart gebruikt was vonden de patronen op de risicokaarten beter herkenbaar. De deelnemers merkten verder op dat er in de simulaties geen rekening wordt gehouden met ouderdom van drainage, waarbij de efficiëntie afneemt. Dit is echter wel een belangrijke factor.

In de Drentsche Aa merkte men op dat het klimaat aan het veranderen is, wat tot hogere droogte of natschade kan leiden in de toekomst.

2.1.2 Gewasbeschermingsmiddelen

De deelnemers hadden meer kritiek op de risicokaarten van GBM uit- en afspoeling. Dit betrof de toepassing van stoffen in de bouwplannen, die niet overal overeenkwam met de werkelijkheid: bijvoorbeeld agrarisch gras gebruikt in het model terwijl dit nu een gebied met natuurgras is waar geen toepassing van GBM is gedaan. Dit werd in beide sessies door meerdere deelnemers gemeld. Tijdens de tweede sessie zeiden deelnemers dat de patronen voor de aardappel- en graanbouwplannen wel herkenbaar waren. Hierbij moet opgemerkt worden dat de bouwplannen hun basis vinden in de metingen van 2008 – 2016. Indien een landbouwgebied pas later in deze periode naar natuur is geconverteerd, dit op basis van voorgaande rotaties het toch als een landbouwgebied kan worden geclassificeerd. Een oplossing hiervoor is gevonden door de risicokaart te combineren met de recente kaart van natuurgebieden.

Uit de evaluatie van de GBM-risicokaarten bleek ook dat de ruimtelijke toepassing van middelen in het model niet altijd overeenkwam met gebruik in de werkelijkheid. Er waren enkele percelen waarop bepaalde middelen niet toegepast zijn, maar waar het model wel berekend heeft dat die middelen uitspoelen.

Een derde kritiekpunt betrof de dosering van de toegepaste middelen, zoals gepresenteerd in de presentatie over de SWAT-modelprocedure. Deze dosering zou niet overeenkomen met de werkelijke dosering, die veel lager zou zijn. De in het model gebruikte dosering was gebaseerd op de maximaal toegestane dosering volgens de etiketten van de middelen en het handboek van Delphy (2017). Eventueel kan registratie van middelen (spuitplannen) bij de telers opgevraagd worden om te kunnen rekenen met reëlere waarden van dosering. Ook kan een selecte groep boeren benaderd worden om een betere inschatting te krijgen van toegepaste doseringen van GBMs en de data van toepassing. Enkele deelnemers gaven aan dat ze bereid waren om dit te doen als onderdeel van een project zoals TopSoil, maar men was huiverig om de gegevens in het publieke domein te brengen.

MCPA wordt volgens de telers slechts nog als noodmiddel op aardappelen toegepast. MCPP wordt alleen op gras toegepast en niet op graan waarvoor de toelating door het CTGB is verleend. Het product Dual Gold 960 EC (S-Metolachlor) mag niet meer op zandgrond toegepast worden en mag na 2019 niet meer gebruikt worden. Frontier Optima (dimethenamide-P) mag tot 2020 toegepast worden en Pyramin DF (chloridazon) tot 2021. Dit houdt in dat drie van de zes onderzochte probleemstoffen binnen korte termijn uitgefaseerd worden en dus vanzelf minder gaan uitspoelen zodat deze op den duur geen risico meer vormen.

De agrariërs merkten ook op dat zij niet de enige gebruikers van GBM waren in het gebied. Zij waren vooral benieuwd hoe de uitspoeling van GBMs uit agrarische percelen in het gebied zich verhoudt tot uitspoeling

van andere gebruikers, zoals Prorail, burgers in stedelijk gebied, en de NAM, maar ook in het slib dat op de oevers getrokken wordt tijdens het onderhouden van watergangen door het waterschap.

2.1.3 Potentiële maatregelen

De deelnemers aan de gebiedsessies merken op dat ze al actief bezig zijn met maatregelen, ze weten niet goed wat ze nog beter zouden kunnen doen. Hun prioriteiten lagen bij het verhogen van het organisch stofgehalte in de bodem, wat als een belangrijke factor in bodemverbetering gezien werd, en toepassing van akkerranden. Ook werd het tijdstip van toepassing van gewasbeschermingsmiddelen besproken in relatie tot het weer (windsnelheid, neerslag). De deelnemers gaven aan dat ze hier al rekening mee houden in de bedrijfsvoering.

2.1.3.1 Maatregelen ter verhoging van het organisch stofgehalte

Kerende grondbewerkingen zijn niet toegestaan op oud grasland, maar zou volgens de telers wel het organisch stofgehalte kunnen verhogen door het gras in de bodem te brengen en daarna opnieuw in te zaaien. Een agrariër gaf schriftelijk na de bijeenkomst aan dat hij graag meer organische stof op zou willen bouwen door het toepassen van compost en gecomposteerd gras. Dit draagt echter bij aan de mestgift van N en P, waaraan wettelijke maxima zijn gesteld. Deze maatregel wordt hierdoor in de praktijk niet uitgevoerd. Veel groen/compost wordt nu afgevoerd uit het gebied. Het zou beter zijn als dat binnen het gebied gebruikt zou kunnen worden (denk ook aan maaisel van het waterschap), maar daar zijn kosten aan verbonden. Composteren mag eigenlijk niet meer. Als mogelijk alternatief werd geopperd om organisch materiaal op te brengen net voor de datum waarop het als compost geclassificeerd wordt. Groenbemesters en vanggewassen worden al breed toegepast en zijn bij sommige gewassen (e.g. maïs) verplicht.

2.1.3.2 Akkerranden ter beperking van afspoeling

De deelnemers stonden open voor het gebruik van akkerranden (of spuitvrije zones) en deze worden ook al toegepast in het gebied, wat met name mogelijk gemaakt is door de vergoedingen die daar tegenover staan (dit kan langs alle watervoerende sloten). Economisch gezien zijn akkerranden echter niet interessant in jaren waarin wat hoogwaardigere gewassen, zoals de aardappel, worden verbouwd. Dan worden de akkerranden verwijderd, in dat jaar, gevolgd door een eventueel verhoogde GBM-toepassing (en drift/uitspoeling) om de hogere onkruiddruk op de voormalige akkerrand te bestrijden. Het gebruik van akkerranden is dus niet consistent in de tijd. De gebruikte soorten mengsels van zaden voor akkerranden kunnen op deze wijze beperkingen hebben, omdat het kan leiden tot verhoogde onkruiddruk, waardoor er in volgende jaren meer gespoten moet worden om de groei van bepaalde planten die als onkruid gezien worden te onderdrukken. Mogelijk alternatief is om zonnebloemen te gebruiken als akkerrand. De dekking is goed, ze zien er mooi uit, en ze komen in het volgend jaar niet terug, waardoor extra GBMs niet toegepast hoeven worden.

2.1.3.3 Weersomstandigheden en toepassing van GBM

Zowel wind als neerslag kan bijdragen tot verhoogde concentraties van GBM in het oppervlaktewater. Om drift te beperken wordt toepassing alleen gedaan op windstille momenten/dagen. Een aantal deelnemers gebruiken een beslissingsondersteunend systeem om op het juiste moment te spuiten, of bellen met Delphy voor spuitadvies. Dit voorkomt dat een grote regenbui het middel afspoelt en er een tweede keer gespoten dient te worden.

2.1.3.4 Andere observaties

Deelnemers zijn tegen het invoeren van generieke maatregelen en voelen meer voor een individuele aanpak op plaatsen waar risico van uit- en afspoeling hoog is. Men ziet ook erg op tegen maatregelen waarbij de investeringskosten hoog zijn. Men vreesde dat de modeluitkomsten gebruikt zouden worden om bepaalde gewassen in risicogebieden te verbieden, of dat men bouwplannen zou moeten veranderen (e.g. aardappelen van een 1:2 of 1:2,5 rotatieschema verplicht naar een 1:3 of 1:4 rotatieschema). Men benadrukte ook dat men voor de hoge productie afhankelijk is van het gebruik van GBM en men heeft zorgen dat bepaalde middelen uit het pakket verwijderd worden zonder dat er een goed alternatief voor aanwezig is.

2.2 Stroomgebied Hunze

Zeven deelnemers deden mee aan de gebiedsavond van de Hunze op 6 maart 2019. Dit waren voornamelijk akkerbouwers uit het noordoosten van het stroomgebied van de Hunze. Uitwisseling van percelen tussen veetelers en akkerbouwers is in het stroomgebied van de Hunze beperkt. De stemming op deze avond was positief, de telers hadden een goede inbreng en dit leverde zinvolle inhoudelijke discussies op over potentiële maatregelen.

2.2.1 Hydrologie

Oppervlakkige afspoeling vanuit de percelen naar de watergangen wordt niet gemonitord en komt in het gebied, voor zover bekend, weinig voor. Wel werden de met het SWAP-model geïdentificeerde risicogebieden vaak herkend als natte zones, of als gebieden waar regelmatig plasvorming voorkomt. Natte plekken en plasvorming komen voor op de percelen en het is dan gebruikelijk om een greppeltje te graven om het water naar de sloot af te voeren om natschade te voorkomen. Het viel op dat de gebieden met hoger risico op oppervlakkige afvoer in het algemeen natuurgebieden waren. Men merkte op dat de kaart met de locaties van gedraineerde percelen in grote lijnen correct was, maar vermoedelijk niet compleet was, terwijl er ook percelen als gedraineerd te boek stonden die in de werkelijkheid niet gedraineerd waren.

De telers merken dat het klimaat aan het veranderen is en het weer onbetrouwbaarder wordt. Zowel extreme droge perioden als extreme neerslag komen vaker voor.

2.2.2 Nutriënten

De telers waren het eens met de gepresenteerde bouwplannen die in het SWAT-model gebruikt zijn. De dosering van N die in SWAT toegepast werd bleek echter veel te hoog en boven de wettelijke limiet te zijn. De norm geeft een maximum van 320 kg N ha⁻¹ voor grasland met volledig maaien op zandgrond en ligt voor de meeste akkerbouwgewassen op zandgrond tussen 80 en 260 kg N ha⁻¹ (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2018a), terwijl er in het model waarden van 500 kg N ha⁻¹ toegepast zijn. Deze hoge waarden werden echter eerder getoetst bij het NMI. De dosering van fosfor tot 50 kg P ha⁻¹ (≈153 kg PO₄ ha⁻¹) werd wel aannemelijk geacht, waarbij voor bouwland een limiet geldt van 50-75 kg PO₄ ha⁻¹ (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2018b). De vrachten van N en P naar het oppervlaktewater bleken in de lijn der verwachtingen te liggen. Hieruit volgt dat in de kalibratie van SWAT op de concentraties van N in het oppervlaktewater te hoge doseringen van N (en P) op de percelen wellicht gecompenseerd werden door bijvoorbeeld hogere opname in gewassen of in de bodem. Opvallend is dat uitspoeling van N en P in stedelijk gebied en in sommige natuurgebieden hoger was dan die van landbouwpercelen. Dit is mede te verklaren uit de hogere oppervlakkige afvoer (verharding, hoge waterstand) in deze gebieden.

Twee deelnemers gaven aan dat het RIVM ongeveer drie keer per jaar de waterkwaliteit meet in het grondwater, in de drains en in de sloot. Daaruit blijkt dat de nutriëntenconcentraties in het effluent in het

algemeen laag zijn. Er werd gesuggereerd om deze gegevens voor het project op te vragen ter vergelijking met de modeluitkomsten. Percelen met hogere afvoer van N op de risicokaarten werden herkend als zijnde maïspancelen die in gebruik zijn voor veeteelt, waar meer mest op gebruikt mag worden (derogatie). In deze zin bleken de ruimtelijke N- en P-patronen op de risicokaarten plausibel.

Deelnemers zeggen dat ze de huidige toegelaten mestgift krap is (agrariërs voeren gemiddeld meer mineralen af dan ze aanvoeren), waardoor het meeste in het gewas wordt opgenomen en weinig uitspoeling plaats kan vinden; optimale bemesting is mogelijk omdat ze allemaal over mestsilos beschikken. Door de evenwichtsbemesting voor fosfaat in huidige mestwetgeving, wordt er al veel preciezer met bemesting omgegaan.

2.2.3 Potentiële maatregelen

Er werden verschillende mogelijke maatregelen tegen af- en uitspoeling van nutriënten geïdentificeerd. Men stond ervoor dat het in het eigen voordeel was om uitspoeling van nutriënten of verdere afbraak van organische stof te voorkomen.

2.2.3.1 Maatregelen ter vermindering van afspoeling van water

Bij gewassen die in richels geteeld worden, zoals aardappelen, kan snelle afvoer uit de voor naar de watergang optreden. Er werd genoemd dat men open stond voor het investeren in machines die bij de grondbewerking op regelmatige afstand dammetjes leggen tussen de ruggen om zo afspoeling te voorkomen en infiltratie te verbeteren. De investering hiervoor is echter zo groot dat het alleen doorgevoerd wordt op het moment dat men aan een nieuwe machine toe is. Men hield rekening met de mogelijkheid dat deze wijze van telen in 2021 verplicht zou kunnen worden voor de aardappelteelt.

Een andere maatregel is het tegengaan van het graven van greppels voor snelle waterafvoer uit plassen op de percelen. De teler dient het perceel zo in te richten dat plasvorming tegengegaan wordt om natschade te beperken.

2.2.3.2 Maatregelen ter verhoging van het organisch stofgehalte

Organisch materiaal in de bodem verbetert de structuur van de bodem, de hoeveelheid water die beschikbaar is voor de plant, en draagt bij aan de absorptie in de bodem van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Men is al gericht bezig om organische stof in de bodem te conserveren, mede ook om het risico op verstuiving van de zandige toplaag te verminderen. De meeste telers in het gebied gebruiken een vorm van niet-kerende (of tussen kerend en niet-kerend in, zoals spitten) grondbewerking. Ploegen van de bodem komt steeds minder voor. Men heeft moeite om het organisch stofgehalte via aanpassingen aan het grondgebruik te verhogen en men gebruikt groenbemesters en compost om het organisch stofgehalte op peil te houden.

2.2.3.3 Verandering in bemesting

Af- en uitspoeling van meststoffen wordt beïnvloed door het tijdstip van toediening in relatie tot grotere neerslaghoeveelheden. In de praktijk hangt het tijdstip van bemesten samen met de momenten van zaaien of poten. Om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van de toegediende mest houdt men al rekening met de kans op afspoeling door de bemesting uit te stellen als er op termijn van enkele dagen veel neerslag verwacht wordt. De onvoorspelbaarheid van het weer maakt het moeilijk om dit te verbeteren. Voor wat betreft de hoeveelheden mest die wettelijk gebruikt mag worden was men het eens dat de hoeveelheid mest en met name P, die wettelijk toegediend mag worden net voldoende is om het gewas van nutriënten te voorzien en zo de huidige hoge productie te kunnen handhaven. Een vermindering van de

rps.nl

mestgift als maatregel zou onvermijdelijk leiden tot uitputting van de bodem op langere termijn en een lagere gewasproductie. De telers gaven aan dat mestopslag belangrijk blijft en dat men het gevoel heeft netjes en zuinig met de beschikbare mineralen om te gaan, ook omdat dit in hun eigen belang is. Groenbemesters worden al breed toegepast en worden door de deelnemers als een positieve bijdrage aan de mestproblematiek gezien.

2.2.3.4 Andere observaties

Deelnemers vroegen zich af of af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen of geneesmiddelen geen groter probleem zou vormen dan die van nutriënten. Er werd ook geopperd om de uitspoeling van P uit natte natuurgebieden in ogenschouw te nemen en te bestuderen of hier maatregelen tegen af- en uitspoeling mogelijk zijn. Ook zou er gekeken moeten worden of maatregelen in het watersysteem mogelijk zijn om de concentraties in het oppervlaktewater te verlagen.

3 AANPAK SWAT-MODELLERING

Op basis van de resultaten van de gebiedsessies (Hoofdstuk 2) werden in overleg met de TopSoil project partners een aantal scenario's geformuleerd die verduidelijkend moesten bieden op de in de sessies opgeworpen vragen. Het doel van de scenario's was om enerzijds meer inzicht te krijgen in de risicofactoren voor af- en uitspoeling en anderzijds om het effect van verschillende maatregelen en klimaatverandering in kaart te brengen. Aangezien de concentraties van N en P in de Hunze al rond de KRW-normen lagen werd besloten om geen scenario's met maatregelen voor telers door te rekenen. Voor de af- en uitspoeling van GBM werden voor de Drentsche Aa de drie scenario's met maatregelen ontwikkeld. Voor beide stroomgebieden is een klimaatscenario ontworpen en doorberekend.

De scenario's zijn gebaseerd op het SWAT-basismodel uit fase 1 van het TopSoil project. Een uitgebreide beschrijving van het model is eerder gegeven in RPS en Acacia Water (2019). Het basismodel van de Drentsche Aa bestaat uit 64 substroomgebieden en 2742 hydrological response units (HRU's). Voor de Hunze was het gebied onderverdeeld in 34 substroomgebieden met 1962 HRU's. Elke HRU wordt gekenmerkt door een combinatie van bodemtype, bouwplan, hellingshoek en neerslagstation. De simulatieperiode voor het basismodel bedroeg 10 jaar in de periode 2007 - 2016 en de klimaatvoer was afkomstig van 11 weerstations van het KNMI. Bodemtypen, bouwplannen en andere invoergegevens zijn in detail beschreven in RPS en Acacia Water (2019). Een overzicht van de eigenschappen van de bestudeerde gewasbeschermingsmiddelen staat in Bijlage 1.

In deze sectie worden de aanpassingen in SWAT beschreven die nodig waren voor het simuleren van de verschillende scenario's.

De scenario's ontwikkeld voor de Drentsche Aa waren:

1. Toepassing maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik (gras), periode 2007 - 2016.
2. Toepassing 50% van maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik, periode 2007 - 2016.
3. Aanleg van akkerranden (buffer strips) equivalent aan een breedte van 4 m in het basismodel.
4. Basisklimaatscenario voor de periode 1981 - 2010, waarbij historische gegevens als invoer dienden. Uitgangspunt voor gewasbeschermingsmiddelen simulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).
5. Klimaatscenario waarbij de tijdsreeksen van temperatuur, straling en neerslagwaarden voor de periode 1981 – 2010 getransformeerd zijn naar het klimaat rond het jaar 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden van het KNMI. Uitgangspunt voor gewasbeschermingsmiddelen simulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).

Voor de Hunze werden alleen klimaatscenario's doorgerekend:

1. Basisklimaatscenario voor de periode 1981 - 2010, waarbij historische gegevens als invoer dienden. Uitgangspunt voor de nutriëntensimulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).
2. Klimaatscenario waarbij de tijdsreeksen van temperatuur, straling en neerslagwaarden voor de periode 1981 – 2010 getransformeerd zijn naar het klimaat rond het jaar 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden van het KNMI. Uitgangspunt voor nutriëntensimulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).

Om deze scenario's te kunnen doorrekenen moesten er in meer of mindere mate aanpassingen gedaan worden aan het basismodel. Hierbij is de structuur van het basismodel met substroomgebieden en HRU's

rps.nl

intact gehouden. De aanpassingen aan het basismodel worden per scenario beschreven in de volgende paragrafen.

3.1 Uniform landgebruik met maximale GBM dosering

Dit scenario is geformuleerd om de factor landgebruik te homogeniseren, zodat de verschillen in export van GBM ontstaan door verschil in bodems en hellingshoek (en neerslag) beter zichtbaar worden. Om het uniforme landgebruikmodel zo veel mogelijk gelijk te houden aan het basismodel is geen nieuw model opgezet, wat geleid zou hebben tot versimpeld model met veel minder HRU's, waarvan de ligging, grootte en hellingshoek af zou wijken van de HRU's in het basismodel. In plaats daarvan is het landgebruik in alle oorspronkelijke HRU's van het basismodel vervangen door gras. De resultaten van het scenario zijn niet gevoelig voor het gekozen gewas omdat gewaseigenschappen beperkt invloed hebben op de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Het effect van bodemeigenschappen, neerslag, en de eigenschappen van de middelen zelf zijn bepalender. Op alle HRU's in het stroomgebied worden alle zes onderzochte gewasbeschermingsmiddelen toegepast. Voor de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen zijn de tijdstippen en de hoeveelheden aangehouden zoals weergegeven in Tabel 1.

Het model is doorgerekend met de klimaatvoer voor de periode 2007 – 2016, die eerder voor het basismodel is aangehouden. Tevens is dezelfde spin-up periode aangehouden (1965 – 2006).

Tabel 1: doseringen van gewasbeschermingsmiddelen in het uniform landgebruik met maximale dosering scenario, en de toepassingen per gewas in het basismodel waarop de waarden zijn gebaseerd

GBM	Toepassing GBM in scenario [kg/ha]	Toepassing GBM per gewas volgens etiketten					
		Aardappel	Maïs	Gras	Bieten	Graan	Bloembollen
Chloridazon	0,98				0,49		0,98
Metolachloor	1,54		1,54		0,29		1,44
MCPA	1,50	0,5		1,5		1,0	
Mecroprop (MCP)	1,20					1,2	
Terbutylazine	0,75		0,75				
Dimethanamide	0,84		0,84		0,19		0,74

3.2 Uniform landgebruik met halve GBM dosering

Het tweede uniforme landgebruik scenario gaat net als het eerste scenario uit van uniform gewas, waarop alle gewasbeschermingsmiddelen worden toegepast. In dit scenario wordt echter de dosering van de middelen, zoals aangegeven op het etiket van het middel en geadviseerd in Delphy (2017), gehalveerd. Vergelijking van de resultaten van de twee uniforme landgebruik scenario's met maximale en halve dosering geeft inzicht in hoe gevoelig de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen is voor de dosering van middelen. De twee SWAT-modellen zijn identiek van opzet, met als enig verschil de dosering van GBM. Een overzicht van de hele en halve doseringen van gewasbeschermingsmiddel is gegeven in Tabel 2.

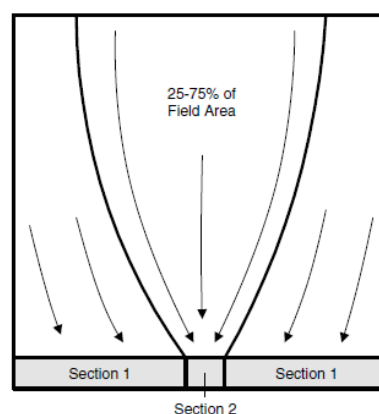
Tabel 2: toepassing van gewasbeschermingsmiddelen in het uniform landgebruik met halve dosering scenario, vergeleken met de doseringen in het maximale dosering scenario

GBM	Maximale dosering	Halve dosering
Chloridazon	0,98	0,49
Metolachloor	1,54	0,77
MCPA	1,50	0,75
Mecroprop (MCP)	1,20	0,60
Terbutylazine	0,75	0,375
Dimethanamide	0,84	0,42

3.3 Akkerranden

In het SWAT-model zijn filterstrips in gedefinieerd als “scheduled management options”. Deze filter strips zijn randen van begroeiing die de stroomsnelheid reduceren, infiltratie bevorderen, fungeren als depositiegebieden van sediment en als filter voor vervuulende stoffen (Neitsch et al., 2011). Aangenomen werd dat de filterstrips permanent waren en op 1 januari in het eerste jaar van de simulaties aangelegd werden. Akkerranden (filterstrips) worden in SWAT aan de hand van drie parameters gedefinieerd (Neitsch et al., 2011).

De eerste parameter (FILTER_RATIO) heeft te maken met de breedte van de akkerranden. De breedte wordt niet direct opgegeven in SWAT, maar als de verhouding tussen de oppervlakte van het perceel en die van de akkerrand. Dit betekent dat bij een akkerrand van 4 m, de waarde van de parameter varieert in relatie tot de oppervlakte en vorm van het perceel. In het model is uitgegaan van een vierkant perceel met een oppervlakte van 1 hectare, wat overeenkomt met een verhouding oppervlakte perceel naar oppervlakte akkerrand van 25. Dit is aan de lage kant van het algemene bereik (30-60) in SWAT. De standaardwaarde in SWAT is 40.



Figuur 2: schematisatie van akkerranden in SWAT: Section 2 is het deel van de akkerrand waar het grootste deel van de oppervlakkige afspoeling door stroomt (bron: Neitsch et al., 2011).

De tweede parameter (FILTER_CON) geeft aan hoeveel van de oppervlakkige afspoeling door de meest actieve 10% van de akkerrand afstroomt (zie Figuur 2). Oppervlakkige afspoeling vindt via kanaaltjes plaats en wordt in het algemeen niet gelijk verdeeld over de rand van het perceel. Hoe meer afstroming er door een relatief klein deel van de akkerrand stroomt, hoe kleiner de filterende capaciteit van de akkerrand. In het

rps.nl

model is de standaardwaarden van 50% gebruikt, wat betekent dat de helft van het perceel door 10% van de akkerrand afgevoerd wordt.

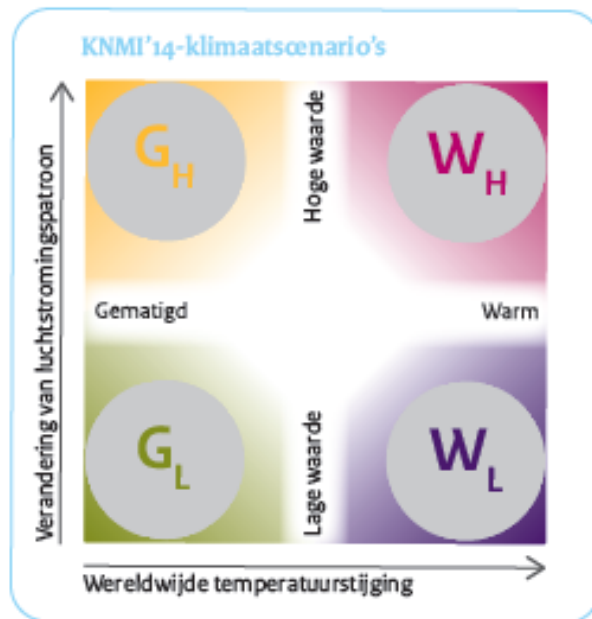
De derde parameter (FILTER_CH) die van belang is voor akkerranden geeft aan hoeveel van de oppervlakkige afspoeling door kanaaltjes/scheuren/macro-poriën stroomt. Als een groot deel van de afvoer gekanaliseerd is, dan zal een akkerrand relatief weinig effect hebben. In het model is een waarde van 10% aangenomen vanwege de relatief lage hellingen in het stroomgebied en het feit dat er nauwelijks geconcentreerde stroming in grotere kanalen voorkomt.

3.4 Klimaatscenario

Klimaatverandering kan gevolgen hebben voor de af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen omdat het de verdeling van water over snelle en langzame routes kan veranderen. Hevigere neerslagpieken kunnen ervoor zorgen dat er meer oppervlakkige afvoer voorkomt, wat hogere vrachten naar het watersysteem toe veroorzaakt. Inzicht in het effect van klimaatverandering is cruciaal om inzicht te krijgen de toekomstige vrachten en in welke mate maatregelen nodig zijn om ook in de toekomst aan de normen van waterkwaliteit te voldoen.

In Nederland werden door het KNMI in 2014 vier scenario's onderscheiden, waarvoor gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging en veranderingen in het luchtstromingspatroon bepalend zijn (Figuur 3). De W_H en W_L scenario's zijn voor een extremere temperatuurstijging dan de G_L en G_H scenario's, terwijl de G_H en W_H scenario's veranderingen in de luchtstromingen vertegenwoordigen. Voor de stroomgebieden van de Drentsche Aa en de Hunze is het van belang te bepalen in welke mate de af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen zullen veranderen als er een toename zou zijn van extreme neerslag. Er is tijdens het projectoverleg besloten niet voor de extreme klimaatveranderingen en droge zomers van de G_H en W_H scenario's te kiezen. Mede omdat zowel in de G_L als W_L scenario's een verandering in extreme neerslag in de zomer plaatsvindt, is besloten het minst extreme G_L scenario te onderzoeken, met als richtingsjaar 2050.

Het klimaatscenario G_L gaat uit van een gemiddelde temperatuurstijging van 1 °C en een toename in jaarlijkse neerslag van 4% in 2050. Voor deze studie zijn echter de veranderingen in klimaat tijdens het groeiseizoen, wanneer nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen toegediend worden, van belang. De veranderingen in temperatuur en neerslag in de lente komen overeen met de jaarlijkse cijfers. In de zomer is het aantal neerslagdagen nagenoeg hetzelfde als onder het huidige klimaat (neemt met 0,5% toe), maar de maximale uurlijkse neerslagintensiteit en het aantal dagen met hoge neerslag (>20 mm/dag) nemen toe. Hierdoor neemt de kans op dagen met hoge oppervlakkige afspoeling toe, met daarbij een verhoogd risico op af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Kerncijfers over dit scenario voor het hele jaar en het groeiseizoen zijn gepresenteerd in Bijlage 2.



Figuur 3: overzicht van de vier klimaatscenario's van het KNMI, waarin de mate van wereldwijde temperatuurstijging en verandering van luchtstromingspatronen zijn opgenomen (bron: KNMI).

Getransformeerde meteorologische tijdsreeksen voor verschillende klimaatscenario's zijn beschikbaar via het KNMI (KNMI, 2015). De reeksen zijn gebaseerd op waarnemingen van de jaren 1981 - 2010, die getransformeerd zijn naar verschillende richtingsjaren. De transformatie houdt in dat de gemiddelden en variabiliteit van de neerslagreeksen aangepast worden om een reeks te creëren die overeenkomt met de verwachtingen ten aanzien van het betreffende klimaatscenario en de tijdshorizon. Voor neerslag betekent dat bijvoorbeeld dat in de toekomst zowel de neerslagintensiteit als het aantal droge dagen tussen buien toenemen.

De toekomstige klimaatreeksen zijn gebaseerd op waarnemingen in de periode 1981 - 2010, wat niet overeenkomt met de voor het basismodel gekozen gemodelleerde periode 2007 - 2016. Dit betekent dat intensieve neerslaggebeurtenissen die tussen 2011 en 2016 plaatsgevonden hebben niet voorkomen in de toekomstige klimaatreeks. Om een goede vergelijking mogelijk te maken zijn de basismodellen van de Drentsche Aa en de Hunze opnieuw doorgerekend voor de periode 1981 - 2010 om zodoende als referentie te kunnen dienen voor de toekomstige klimaatscenario's. De eerste twintig jaar (1981 - 2000) zijn gebruikt om het model in evenwicht te brengen (spin-up), de laatste 10 jaar (2001 - 2010) zijn gebruikt om de af- en uitspoeling van stoffen te analyseren.

Gegevens van het station Eelde van het KNMI zijn voor het basismodel gebruikt voor de invoer van straling, temperatuur, relatieve vochtigheid en windsnelheid. Voor de toekomstige temperatuur en straling zijn getransformeerde tijdsreeksen gebruikt (KNMI, 2015). Voor de relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid zijn geen getransformeerde reeksen beschikbaar, en zijn de reeksen van 1981 - 2010 onveranderd overgenomen. Veranderingen in relatieve vochtigheid en windsnelheid zullen een klein effect hebben op de verdamping, maar zijn veel minder belangrijk voor de af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen dan temperatuur en neerslag. Voor neerslag zijn de GL-midden tijdsreeksen van verschillende stations gebruikt (KNMI, 2015). Voor het stroomgebied van de Drentsche Aa worden de neerslagstations Eelde, Assen, Eext, Onnen en Schoonloo gebruikt. Voor het stroomgebied van de Hunze zijn dit de stations Veendam, Gieterveen, Eext, Schoonloo, Nieuw Buinen en Onnen.

4 RESULTATEN MAATREGEL SCENARIO'S

De resultaten van de eerste fase van de modellering gaven inzicht in de huidige risico's op af- en uitspoeling van water, nutriënten en zes beschermingsmiddelen in de verschillende landschapseenheden en delen van het gebied. Daarvoor waren gedetailleerde ruimtelijke gegevens over meteorologie, bodemtypes en landgebruik in het model opgenomen, waardoor het lastig was om de effecten van verschillende factoren op de uit- en afspoeling te isoleren. In fase 2 zijn derhalve verschillende scenario's doorgerekend met het SWAT-model om enerzijds inzicht te krijgen in welke risicofactoren leiden tot hoge af- en uitspoeling en anderzijds om de effectiviteit van maatregelen in te schatten. Hierbij is ook het commentaar van de telers op de modelresultaten van de eerste fase meegenomen.

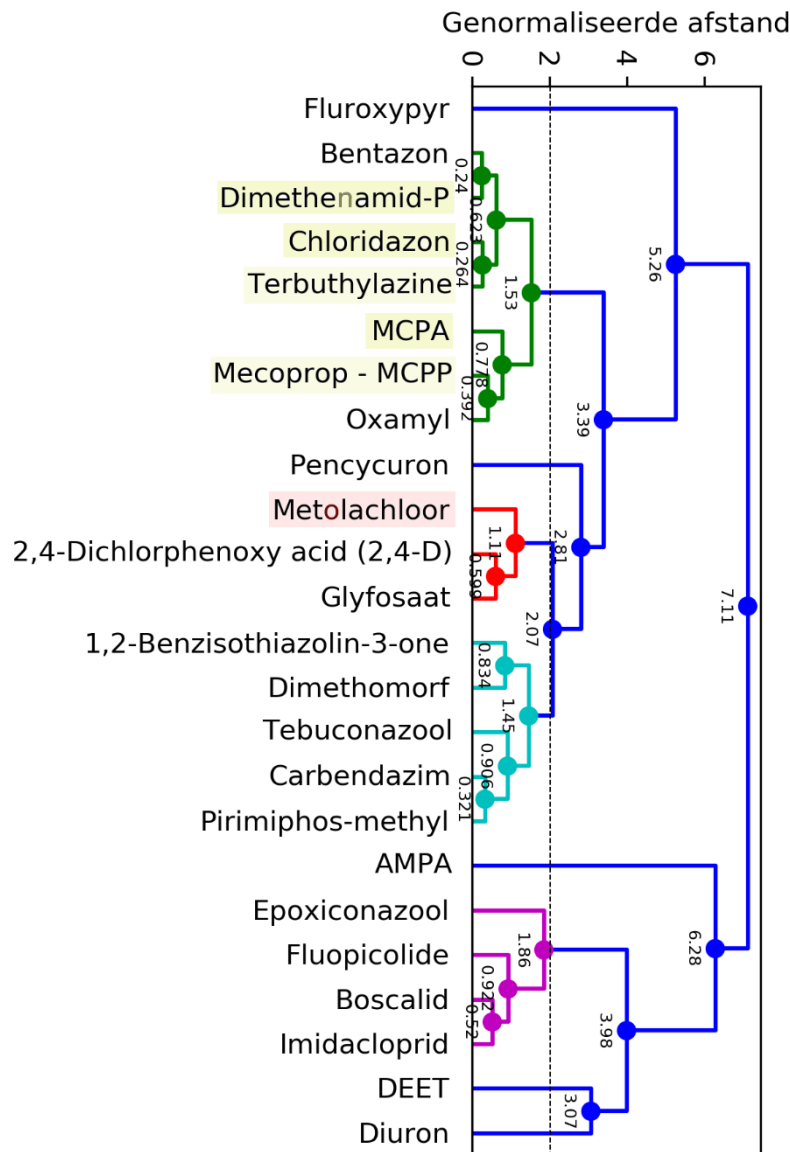
Op basis van de gebiedssessies beschreven in hoofdstuk 2 zijn de volgende drie scenario's gedefinieerd en deze zijn in SWAT uitgewerkt:

1. Toepassing maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik (gras), periode 2007 – 2016.
2. Toepassing 50% van maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik (gras), periode 2007 – 2016.
3. Aanleg van akkerranden (filter strips) equivalent aan een breedte van 4 m in het basismodel.

4.1 Uniform landgebruik met maximale dosering

In het eerste scenario is het landgebruik in het hele stroomgebied uniform gras, en worden alle zes onderzochte gewasbeschermingsmiddelen toegepast. De resultaten van dit scenario geven inzicht in welke locaties gevoelig zijn voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen, onafhankelijk van het landgebruik. Verschillen binnen het stroomgebied worden dan veroorzaakt door bodemtype, helling en neerslag.

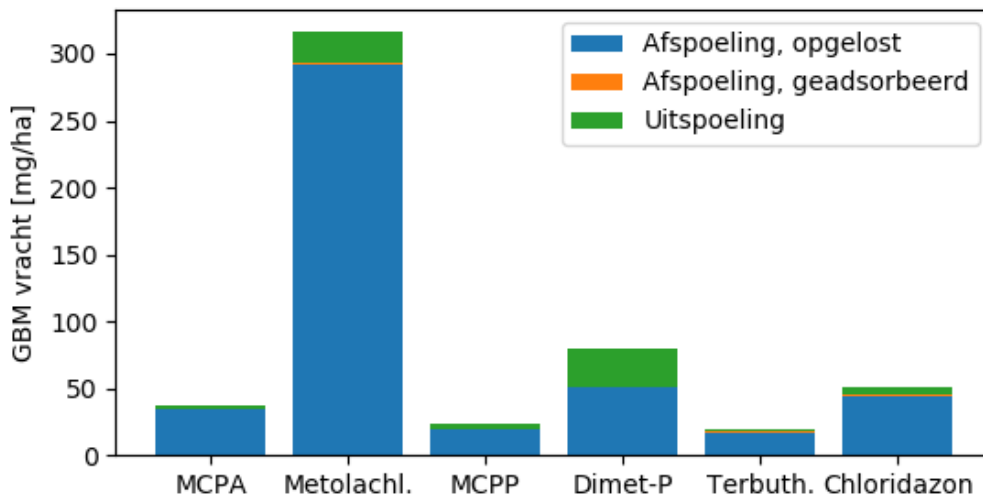
Een clusteranalyse is toegepast op een aantal prioritaire GBM's om een groepering te verkrijgen op basis van de stoffeïenschappen zoals gebruikt in het SWAT-model (WOF, WSOL, SKOC, HLIFE_S en HLIFE_F). De resultaten zijn getoond in Figuur 4. Chloridazon en Terbuthylazine vormen een groep op een laag niveau, en zijn op een hoger niveau geclusterd in een eerste grotere groep met dimethenamid-P (en bentazon). MCPP en MCPA zijn geclusterd in een tweede groep, die op een hoger niveau geclusterd wordt met de eerste groep. Metolachloor vormt een aparte groep, en wordt geclusterd met ondermeer glyfosaat. Fluroxypyr en de AMPA – Diuron groep worden pas op een veel hoger niveau geclusterd. Van de zes geselecteerde GBM's vormt metolachloor, op basis van eigenschappen, een aparte groep naast de overige vijf stoffen. Er kan derhalve verwacht worden dat de resultaten voor metolachloor om deze reden af zullen wijken van die van de andere vijf meer gelijksoortige stoffen. Stoffen in de andere groepen, zoals AMPA en fluroxypyr, kunnen af- en uitspoeling vertonen verschillend van die van de gemodelleerde stoffen.



Figuur 4. Clusteranalyse op basis van stoffeigenschaften zoals gebruikt in het SWAT-model voor een aantal prioritaire GBM's aangetroffen in de Drentsche Aa, waaronder de zes gemodelleerde stoffen.

De gemiddelde jaarlijkse af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen bij uniform landgebruik varieert sterk (Figuur 5). Metolachloor heeft de hoogste dosering (Tabel 1) en de vrachten naar het oppervlaktewater zijn ook het hoogst. De dosering van MCPA is vergelijkbaar met dat van metolachloor, maar de mate van uitspoeling is veel lager. De verschillen tussen deze en de andere gewasbeschermingsmiddelen worden deels verklaard door de eigenschappen van de middelen (Figuur 4), waaronder de oplosbaarheid, de sorptiecoëfficiënt en de halfwaardetijd in bodem en op het blad. Het moment van toepassing speelt echter ook een rol. Het voorkomen van een grote bui net na toepassing van een middel zal leiden tot een (veel) hogere af- en uitspoeling van dat middel. De invloed van piekbuien in de neerslagreeksen op af- en uitspoeling wordt later in dit hoofdstuk verder onderzocht. Het is niet mogelijk om op basis van dit scenario de rol van de eigenschappen van de middelen te onderscheiden van de rol van het moment van toepassing.

Uit de modelberekeningen blijkt dat het grootste deel van de vrachten van gewasbeschermingsmiddelen via oppervlakkige afspoeling in het oppervlaktewater terecht komt (Figuur 5). Daarvan is een klein aandeel (< 3%) geadsorbeerd aan sediment, het meeste is in opgeloste vorm. Tussen 5 en 36% van de totale af- en uitspoeling wordt uitgespoeld via de bodem, of via drains getransporteerd naar het oppervlaktewater. Dit aandeel is relatief groot voor dimethenamide-P en laag voor terbuthylazine. De verdeling over af- en uitspoeling, geadsorbeerd en opgelost is gerelateerd aan eigenschappen van de gewasbeschermingsmiddelen (verschillende clusters, Figuur 4) en het moment van neerslag. Het verschil in het aandeel van uitspoeling in de totale vracht van dimethenamide-P en terbuthylazine, die beide op dezelfde dag zijn toegepast, kan bijvoorbeeld gerelateerd zijn aan de relatief hogere oplosbaarheid in water van dimethenamide-P (Bijlage 1).



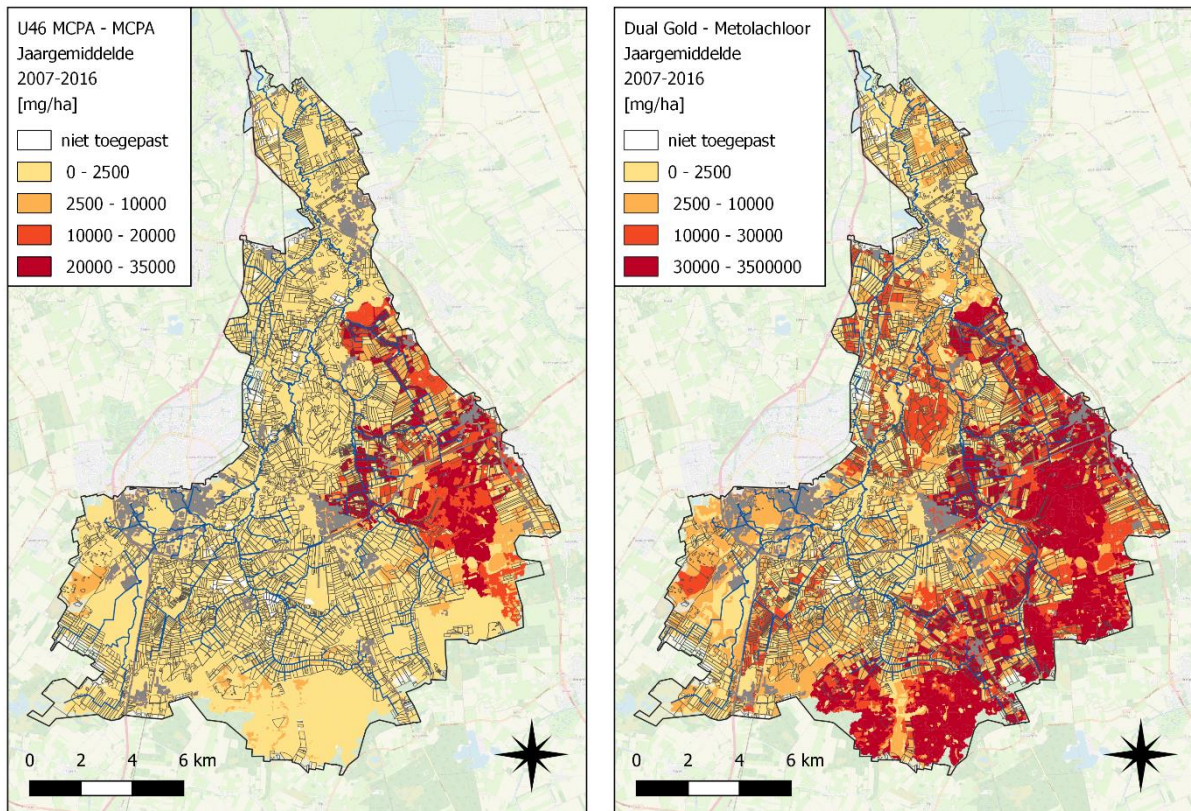
Figuur 5: gemiddelde af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen op stroomgebiedsniveau in de Drentsche Aa, waarbij de oppervlakkige afspoeling verdeeld is in de opgeloste en geadsorbeerde componenten.

In het SWAT model is het momenteel niet mogelijk om op HRU niveau vrachten in af- en uitspoeling te onderscheiden, SWAT rapporteert echter wel de vrachten in uit- en afspoeling op stroomgebiedschaal. De gemiddelde jaarlijkse af- en uitspoeling van MCPA en metolachloor voor het hele stroomgebied zijn weergegeven in Figuur 6 (en met natuurgebieden in Bijlagen 3 en 4). De hoogste vrachten van MCPA naar het oppervlaktewater zijn geconcentreerd in het oostelijke deel van het stroomgebied. Vrachten van metolachloor zijn ook hoog in het oostelijke deel, alsook in het zuiden. De gebieden met bovengemiddelde af- en uitspoeling van MCPA komt overeen met de substroomgebieden die de neerslagreeks van station Eext gebruiken. Bij station Eext is op 6 mei 2015, vijf dagen na de toepassing van MCPA, een bui van bijna 30 mm gemeten (Figuur 7). De andere neerslagstations hebben op dezelfde datum slechts ongeveer 10 mm neerslag geregistreerd. Hoge vrachten van metolachloor komen voor in substroomgebieden die neerslag van stations Eext en Schoonloo gebruiken. Deze stations hebben hoge neerslag gemeten op 21 mei 2007 (Figuur 7), zes dagen na toepassing van het gewasbeschermingsmiddel.

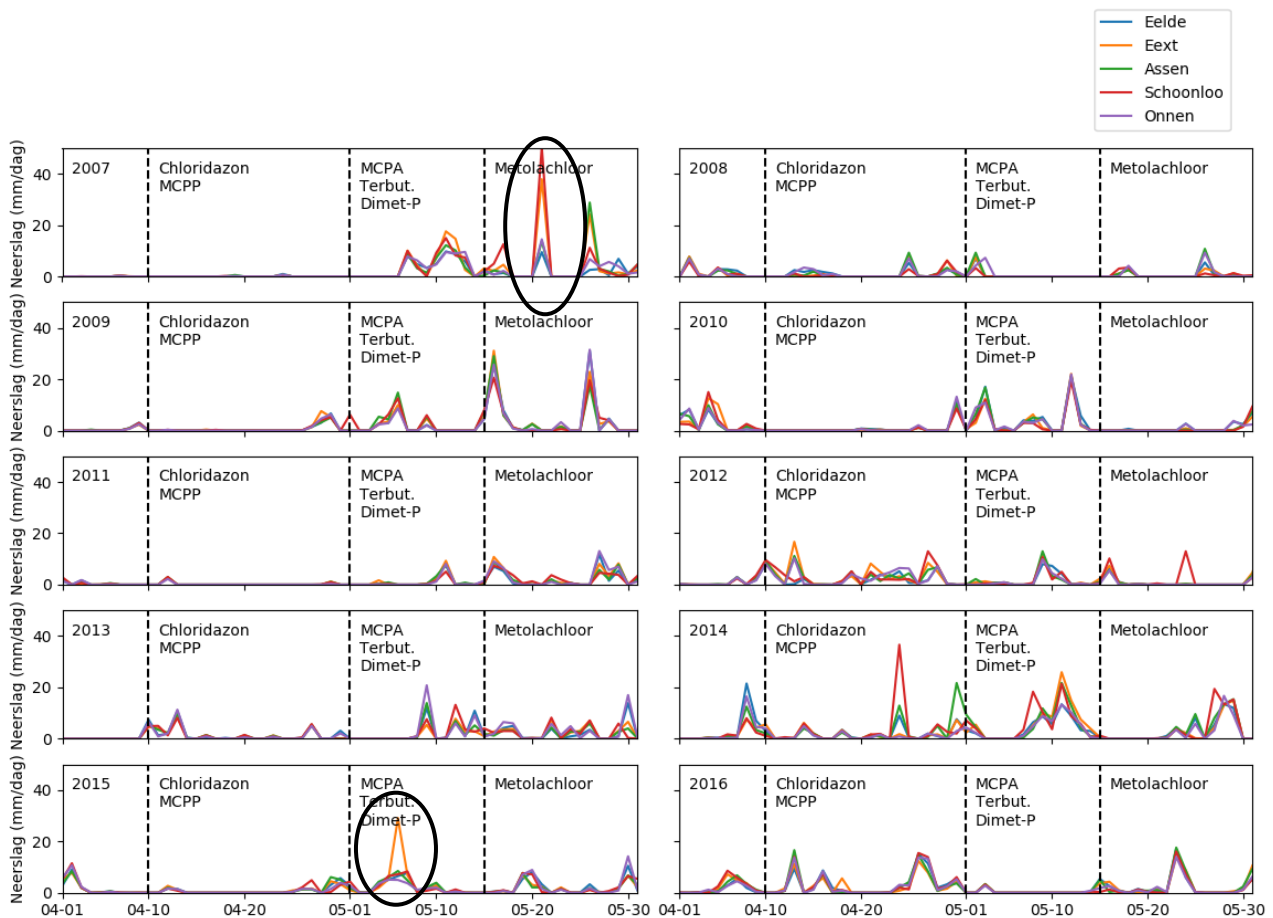
De invloed van neerslag wordt verder onderzocht door de patronen van af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen die op dezelfde datum toegepast worden te vergelijken. MCPA, terbuthylazine en dimethenamide-P werden alle drie op 1 mei toegepast in het model en de patronen van af- en uitspoeling komen overeen. De ruimtelijke correlatie tussen de drie middelen is goed met een correlatiecoëfficiënt groter dan 0,85. De ruimtelijke correlatie tussen MCPP en chloridazon, die beide op 10 april worden toegepast, is

rps.nl

uitstekend met een coëfficiënt van ongeveer 0,9. Als middelen die op verschillende data zijn toegepast op dezelfde manier vergeleken worden zijn de ruimtelijke correlaties veel lager. Deze resultaten geven aan dat neerslag en vooral het voorkomen van grote buien enkele dagen na toepassing van de gewasbeschermingsmiddelen, een belangrijke rol speelt in de af- en uitspoeling van deze middelen. De pieken in af- en uitspoeling als gevolg van grotere individuele buien vlak na toepassing zijn zo belangrijk dat ze nog steeds overheersen in het 10-jarig gemiddelde zoals gepresenteerd in Figuur 6.



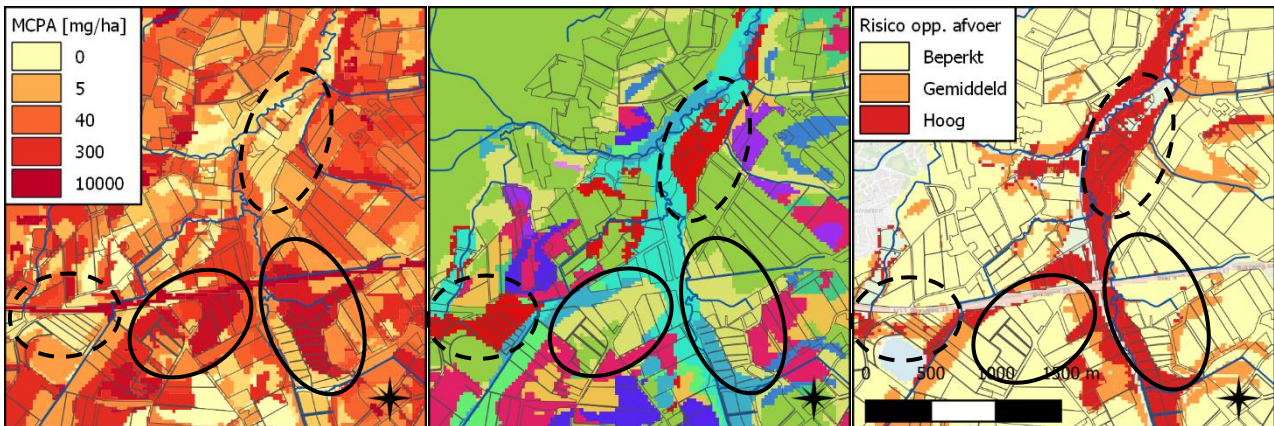
Figuur 6: gemiddelde jaarlijkse (2007-2016) af- en uitspoeling van MCPA (links) en metolachloor (rechts) in de periode 2007-2016. Grijs vlakken zijn stedelijk gebied. De hogere vrachten in de roodgekleurde gebieden worden veroorzaakt door hoge neerslag binnen enkele dagen na toepassing in een jaar.



Figuur 7: neerslagtijdsreeksen voor april en mei in de periode 2007-2016. De data waarop de gewasbeschermingsmiddelen zijn toegepast zijn aangegeven met verticale zwarte stippellijnen. Extreme buien in 2007 en 2015 die mogelijk tot hoge af- en uitspoeling hebben geleid zijn omcirkeld.

De volgende factor die een rol speelt in de mate van af- en uitspoeling is het bodemtype. In Figuur 8 wordt de af- en uitspoeling ten zuiden van Assen vergeleken met de bodemkaart en met het risico op oppervlakkige afspoeling uit het SWAP-model (RPS en Acacia Water, 2019). Daaruit blijkt dat bodems met ondiepe keileem (bijvoorbeeld het lichtgeel gekleurde bodemtype) over het algemeen gevoeliger zijn voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Vrachten van gewasbeschermingsmiddelen van bodemtypen met veel organische stof (bijvoorbeeld het rode bodemtype) zijn juist relatief laag. Variatie tussen locaties met hetzelfde bodemtype kunnen verklaard worden door verschillen in helling van de HRU's.

Opvallend is dat het risico op af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen en het risico op oppervlakkige afspoeling van water niet altijd overeenkomen (Figuur 8). Het risico op oppervlakkige afspoeling is op de natte venige bodemtypes in de beekdalen relatief hoog, terwijl de vrachten van gewasbeschermingsmiddelen daar relatief laag zijn. Een verklaring hiervoor is dat de hoge organische stofgehalten in de venige bodems gemakkelijk tot adsorptie van gewasbeschermingsmiddelen leidt, waardoor er relatief weinig in het oppervlaktewater terecht komt. Het risico op snelle drainafvoer is ook een hydrologisch risicofactor die niet in Figuur 8 is opgenomen, maar uit Figuur 5 blijkt dat het grootste deel van de vracht van gewasbeschermingsmiddelen, en MCPA in het bijzonder, afspoelt en dat een relatief klein deel uitspoelt. Daardoor blijft het aannemelijk dat het risico op snelle afvoer niet de enige factor is die de vrachten bepaalt, en dat bodemeigenschappen ook een belangrijke rol spelen.



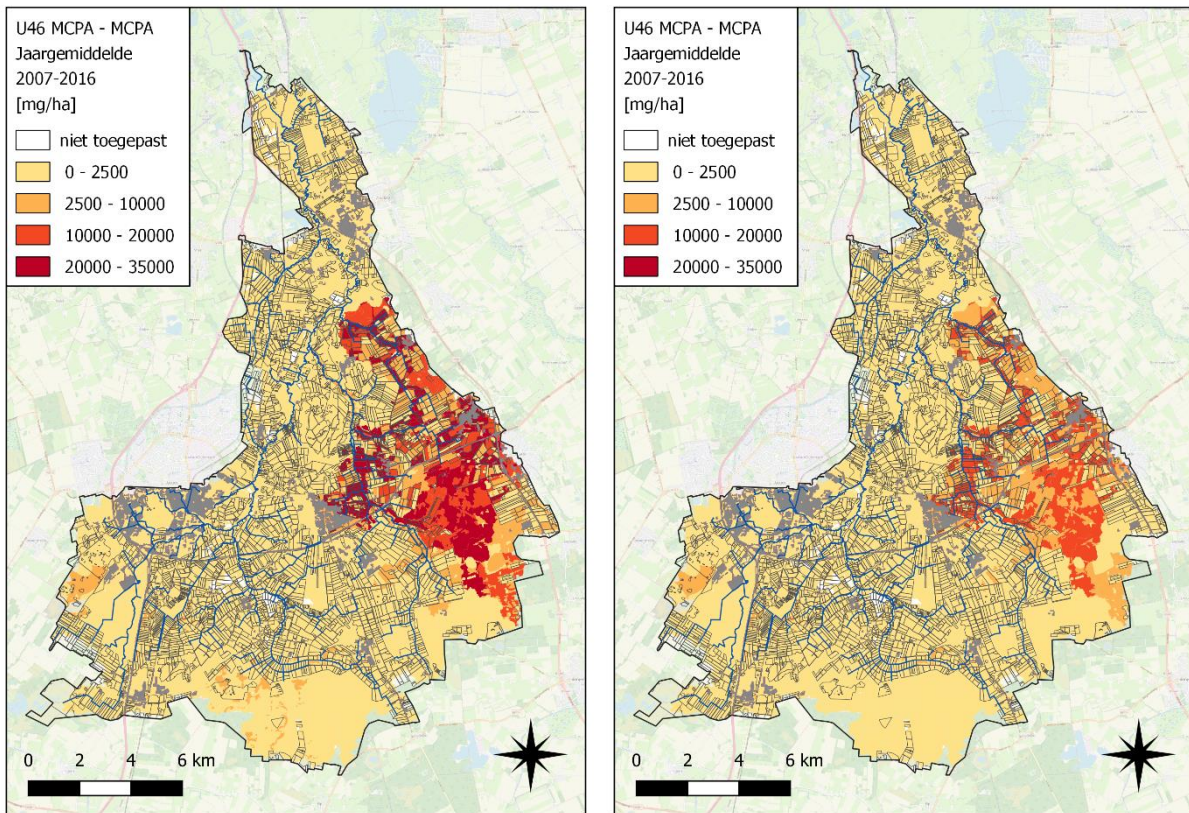
Figuur 8: gemiddelde jaarlijkse (2007-2016) af- en uitspoeling van MCPA onder het uniform landgebruik scenario met maximale dosering van gewasbeschermingsmiddelen (links), vergeleken met de bodemkaart (midden) en de risicokaart van oppervlakkige afspoeling (rechts). Het rode bodemtype (omcirkeld met stippellijn) is een venige bodem, het lichtgele bodemtype (omcirkeld met ononderbroken lijn) heeft keileem op geringe diepte.

4.2 Uniform landgebruik met helft van maximale dosering

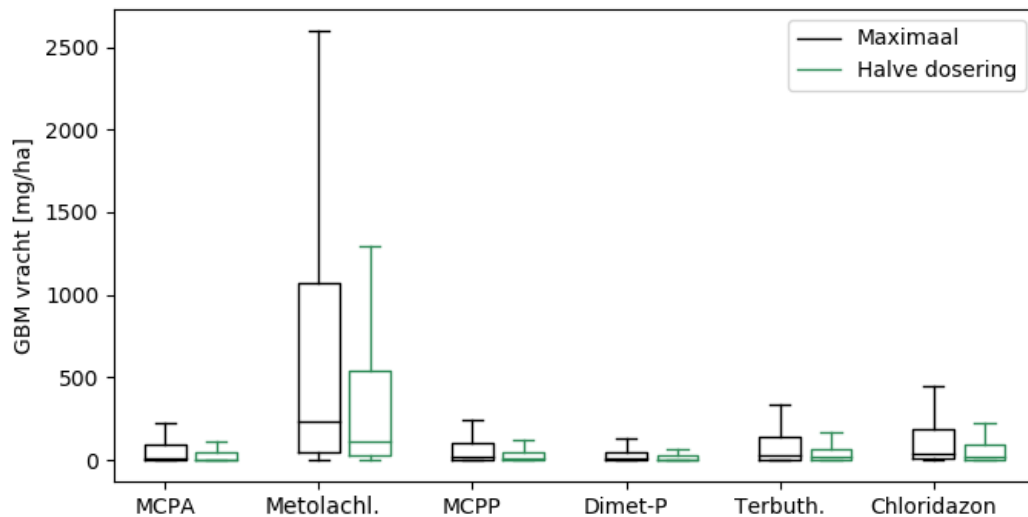
Tijdens de gebiedssessies is aangegeven dat de op basis van de informatie op de etiketten in het model geïmplementeerde toepassingen van gewasbeschermingsmiddelen te hoog zijn (Sectie 2.1). Het was echter moeilijk bij de telers te achterhalen wat de werkelijke toepassingen zijn. De gevoeligheid voor de dosering van de berekende vrachten van gewasbeschermingsmiddelen is bepaald door de dosering in het voorgaande scenario met uniform landgebruik te halveren. De resultaten werden vergeleken met de uitkomsten van het scenario met uniform landgebruik met de maximale dosering van gewasbeschermingsmiddelen (Sectie 4.1).

Uit de modelberekeningen blijkt dat de af- en uitspoeling van MCPA significant lager is als de dosering wordt gehalveerd (Figuur 9 en met natuurgebieden in Bijlage 5). De ruimtelijke patronen blijven gelijk aan die van het referentiescenario met een maximale dosering van MCPA, met vergelijkbare hoge afspoeling in substroomgebieden in het oosten van het stroomgebied, die neerslag ontvingen van het KNMI station Eext. In deze gebieden waar de MCPA vracht het hoogst is, is het verschil tussen de twee uniform landgebruiksscenario's het grootst. De vrachten zijn daar ongeveer 50% lager als de dosering gehalveerd wordt.

Het effect voor andere gewasbeschermingsmiddelen is vergelijkbaar met dat voor MCPA. Uit Figuur 10 blijkt dat af- en uitspoeling van alle gewasbeschermingsmiddelen ongeveer halveert als de dosering gehalveerd wordt. Dit is het geval voor alle individuele HRU's. Hieruit blijkt dat de relatie tussen de dosering van een gewasbeschermingsmiddel en de uitspoeling van dat middel proportioneel is. Aanvullende modelberekeningen zijn derhalve niet nodig zijn om in te schatten hoeveel de vrachten zullen veranderen als de dosering van een middel verandert. Een aangepaste dosering kan het gevolg zijn van aangescherpte regelgeving, maar ook van beter inzicht in de werking van het middel voor de bestrijding van een bepaald probleem onder de specifieke omstandigheden in Drenthe.



Figuur 9: gemiddelde jaarlijkse (2007-2016) af- en uitspoeling van MCPA in de scenario met uniform landgebruik met maximale dosering volgens de etiketten van het middel (links) en met de helft van de aangegeven dosering (rechts).

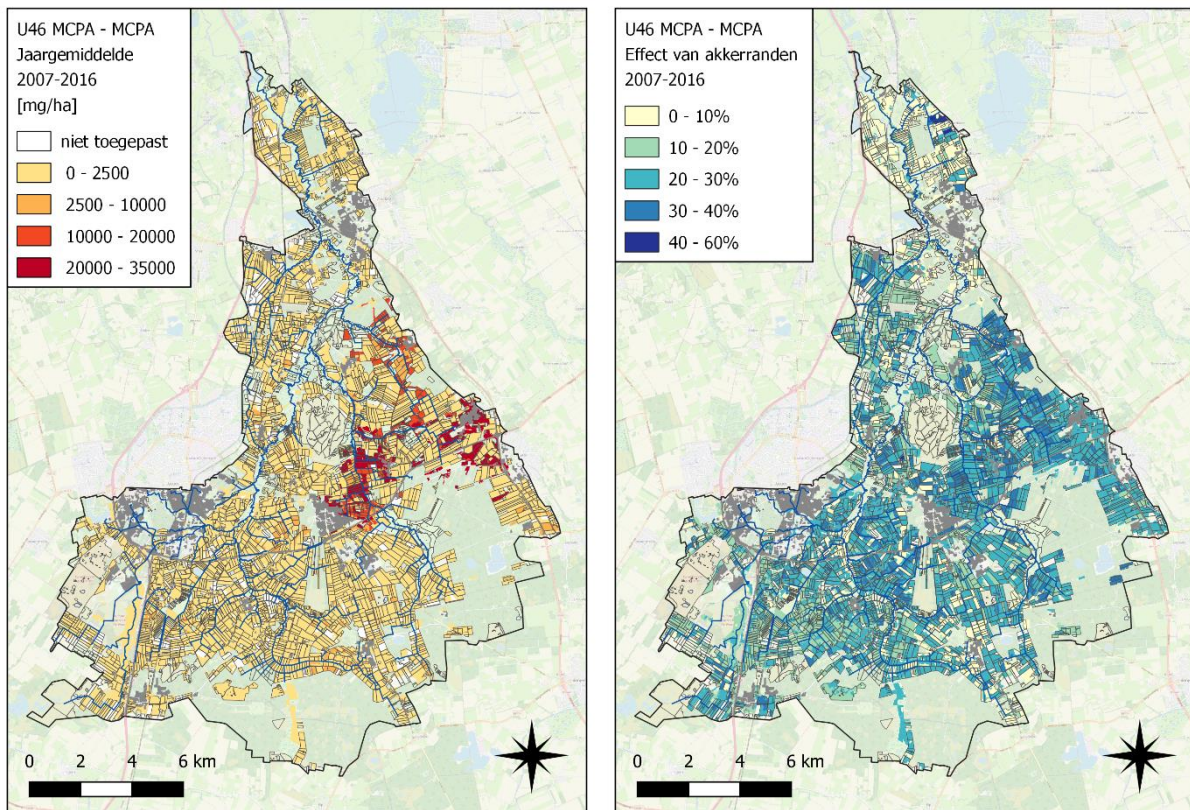


Figuur 10: vergelijking van de af- en uitspoeling van zes gewasbeschermingsmiddelen voor de scenario's met uniform landgebruik en verschillende doseringen.

4.3 Akkerranden scenario

In het derde scenario werd het effect van aanleg van akkerranden in de percelen op de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen onderzocht. De resultaten geven inzicht in hoe effectief akkerranden met een gangbare breedte van 4 m zijn om af- en uitspoeling te verminderen op verschillende locaties in het stroomgebied. Deze inzichten kunnen eventueel gecombineerd worden met resultaten van het reistijdenonderzoek in RPS en Acacia Water (2019), om zodoende percelen te selecteren waar akkerranden het meest kunnen bijdragen aan een verlaging van het aantal overschrijdingen bij de drinkwaterwinning bij De Punt.

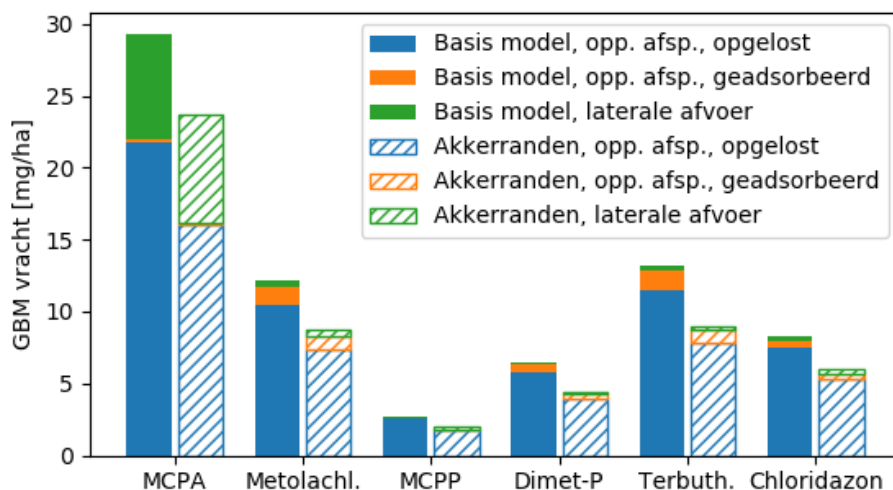
Het effect van akkerranden op de af- en uitspoeling van MCPA is Figuur 11 weergegeven (met natuurgebieden in Bijlagen 6 en 7). Het blijkt dat aanleg van akkerranden of bufferstroken de vrachten van MCPA tot 50% kunnen verlagen. De variatie in reductie binnen het stroomgebied is echter groot. In de omgeving van De Punt was het berekende effect van akkerranden voor MCPA relatief laag. Akkerranden waren over het algemeen effectiever in de omgeving van Rolde, Eext en Anloo. In deze regio is de uitspoeling van MCPA relatief hoog. De hogere uitspoeling is wel een gevolg van de extreme bui gemeten bij station Eext, zoals beschreven in hoofdstuk 4.1. Door de hoge af- en uitspoeling in het basismodel nemen de jaargemiddelde MCPA vrachten af met waarden tot 5 g ha^{-1} in dit gebied.



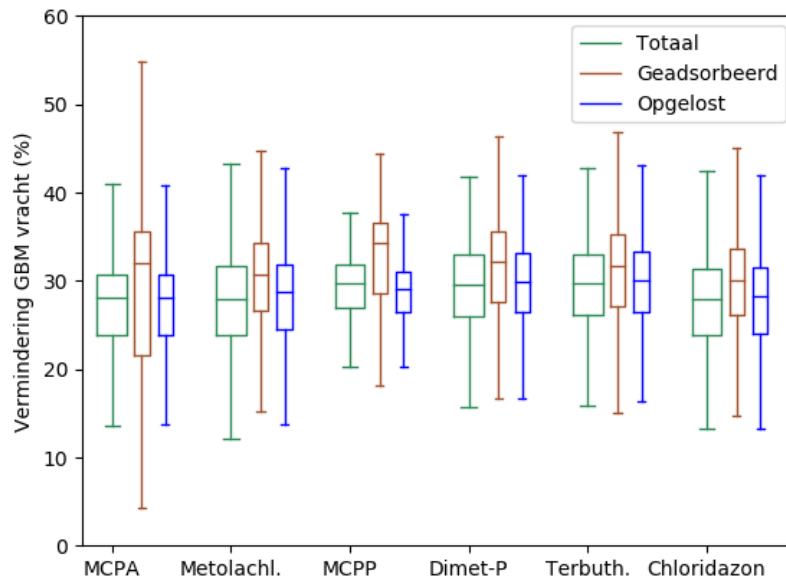
Figuur 11: gemiddelde jaarlijkse (2007–2016) af- en uitspoeling van MCPA in de akkerranden scenario (links) en de afname in af- en uitspoeling vergeleken met het basismodel (rechts).

De resultaten voor de andere gewasbeschermingsmiddelen zijn vergelijkbaar met die voor MCPA. Het effect van akkerranden gemiddeld over het stroomgebied van de Drentsche Aa ligt voor de zes middelen tussen 20 en 30% (Figuur 12). Akkerranden verlagen de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen die geadsorbeerd zijn aan sediment meer dan gewasbeschermingsmiddelen in opgeloste vorm. Dit komt omdat filterstrips oppervlakkige afspoeling vertragen, waardoor sedimentdepositie plaatsvindt in de akkerranden. Akkerranden verlagen echter ook de afspoeling van opgeloste middelen, doordat een deel van de oppervlakkige afspoeling infiltreert in de bodem. Het aandeel van de afspoeling dat geadsorbeerd is aan sediment is in de Drentsche Aa echter zo laag dat het effect van akkerranden op afspoeling in absolute zin (in mg ha⁻¹) gedomineerd wordt door het opgeloste deel (Figuur 13). Doordat een deel van de oppervlakkige afspoeling alsnog infiltreert in de akkerranden, neemt de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen licht toe, maar dit effect is maximaal 3%.

De reductie in vrachten varieert ruimtelijk voor de gewasbeschermingsmiddelen tussen 10 en 40%, met een mediaan tussen 25 en 30% (Figuur 13). Voor MCPA is het effect van akkerranden iets groter, met een variatie in reductie tussen 20 en 40%. Het effect van akkerranden op de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen is gerelateerd aan de eigenschappen van de middelen (Figuur 4) en de hoeveelheid oppervlakkige afspoeling. Van de stoffeïenschappen zijn de bodemadsorptie (SKOC) en de oplosbaarheid in water (WSOL) ondermeer bepalend voor de mate van binding in de bodem door hogere infiltratie in de akkerrand. Om deze reden zouden MCPA en MCPP, met lagere SKOC en hogere WSOL waarden (Bijlage 1), een wat hogere kans op uitspoeling kunnen laten zien dan de andere stoffen, en derhalve een lagere effectiviteit van akkerranden. De oppervlakkige afspoeling wordt beïnvloed door het bodemtype, het grondgebruik, en het voorkomen van grote neerslaggebeurtenissen. Door de complexe interactie tussen deze gegevens, zoals te zien aan de hoge variatie in de vermindering van vrachten voor elke stof (Figuur 13) is het niet goed mogelijk om te achterhalen welke factoren bepalend zijn voor hoe effectief de akkerranden of filterstroken zijn. Het effect van bodemeigenschappen zou beter onderzocht kunnen worden door akkerranden ook toe te passen op de uniform-landgebruik scenario's.



Figuur 12: gemiddelde jaarlijkse (2007 - 2016) af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen in het basis model en het akkerrand scenario, waarin de opgeloste en geadsorbeerde delen onderscheiden worden.



Figuur 13: boxplots van het effect van akkerranden op de totale af- en uitspoeling van verschillende gewasbeschermingsmiddelen op perceelschaal (HRUs). Het effect op de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen in opgeloste vorm en geadsorbeerd aan sediment wordt ook getoond.

4.4 Conclusie ten aanzien van scenario's met maatregelen

De scenario's waarin verschillende maatregelen verwerkt zijn hebben geleid tot de volgende inzichten:

- Op stroomgebiedschaal komen gewasbeschermingsmiddelen voornamelijk als gevolg van afspoeling in het oppervlaktewater terecht, waarbij >95% van de middelen die afspoelen in opgeloste vorm is. Uitspoeling is goed voor 5 tot 30% van de totale vracht;
- Extreme neerslag in relatie tot het moment van toepassing van gewasbeschermingsmiddelen in een jaar is bepalend voor de mate van af- en uitspoeling, ook indien gemiddeld wordt over een periode van meerdere jaren;
- Bodemtype is na neerslag de belangrijkste factor voor af- en uitspoeling: bodemtypes met ondiepe keileem zijn gevoeliger voor af- en uitspoeling, terwijl hogere organische stofgehaltenes in de bodem leiden tot lagere af- en uitspoeling;
- Bij een halvering van de dosering van gewasbeschermingsmiddelen halveert ook de af- en uitspoeling;
- Akkerranden equivalent aan een breedte van 4 m verlagen de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen met gemiddeld 20 – 30%, maar de variatie tussen HRU's is groot.

5 KLIMAATSCENARIO'S

Klimaatverandering kan gevolgen hebben voor de af- en uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen omdat het de verdeling van water over snelle en langzame hydrologische routes kan veranderen. Hevigere neerslagpieken kunnen ervoor zorgen dat er meer oppervlakkige afvoer voorkomt, wat hogere vrachten naar het watersysteem toe veroorzaakt. Inzicht in het effect van klimaatverandering is cruciaal om inzicht te krijgen de toekomstige vrachten en in welke mate maatregelen nodig zijn om ook in de toekomst aan de normen van waterkwaliteit te voldoen.

Voor de Drentsche Aa is onderzocht wat het effect van klimaatverandering is op het af- en uitspoelen van zes gewasbeschermingsmiddelen. Daarvoor werden de volgende scenario's doorgerekend:

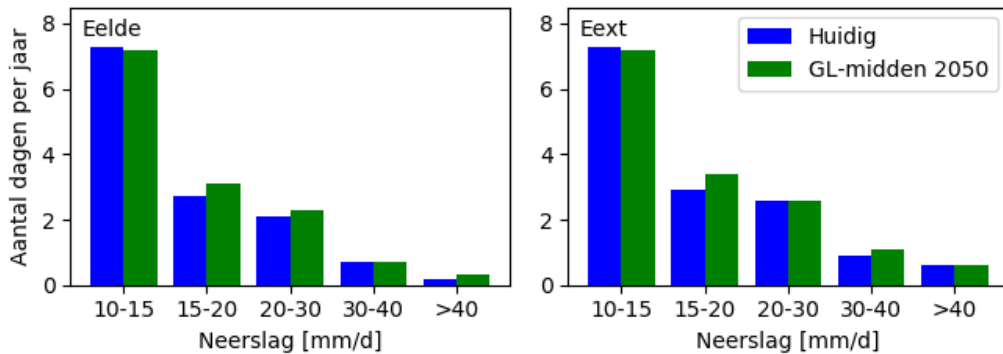
1. Basisklimaatscenario voor de periode 1981 – 2010, waarbij de historische gegevens van het KNMI als invoer dienden. Uitgangspunt voor gewasbeschermingsmiddelen simulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).
2. Klimaatscenario waarbij de tijdsreeksen van temperatuur, straling en neerslagwaarden voor de periode 1981 – 2010 getransformeerd zijn naar het klimaat rond het jaar 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden van het KNMI. Uitgangspunt voor gewasbeschermingsmiddelen simulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).

Voor de Hunze is het effect van klimaatverandering op de af- en uitspoeling van totale stikstof en totale fosfor onderzocht. Daarvoor werden de volgende scenario's doorgerekend:

1. Basisklimaatscenario voor de periode 1981-2010, waarbij historische gegevens als invoer dienden. Uitgangspunt voor de nutriëntensimulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).
2. Klimaatscenario waarbij de tijdsreeksen van temperatuur, straling en neerslagwaarden voor de periode 1981 – 2010 getransformeerd zijn naar het klimaat rond het jaar 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden van het KNMI. Uitgangspunt voor nutriëntensimulaties was de toediening zoals gedefinieerd in het basismodel (RPS en Acacia Water, 2019).

5.1 Meteorologische invoergegevens

Verandering in de frequentie van het voorkomen van dagen met hoge intensieve neerslag, vooral in de lente en zomer, is een belangrijk risicofactor voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten. Een analyse van het effect van klimaatscenario G_L-midden op grotere neerslaggebeurtenissen tussen april en september tijdens de periode 2001-2010 wordt in Figuur 14 getoond voor stations Eelde en Eext. Neerslaggegevens van station Eext worden gebruikt in de modellering van beide stroomgebieden, station Eelde wordt alleen gebruikt voor de Drentsche Aa. Uit de analyse van de frequenties van het voorkomen van dagen met hoge neerslag blijkt dat het effect van klimaatverandering voor beide stations het grootst is op neerslaggebeurtenissen van 15-20 mm d⁻¹. De frequenties van neerslaggebeurtenissen groter dan 20 mm d⁻¹ nemen over ook licht toe over de geanalyseerde periode. Klimaatverandering kan derhalve leiden tot hogere af- en uitspoeling indien hoge neerslag vaker voor gaat komen binnen enkele dagen na de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen of mest.

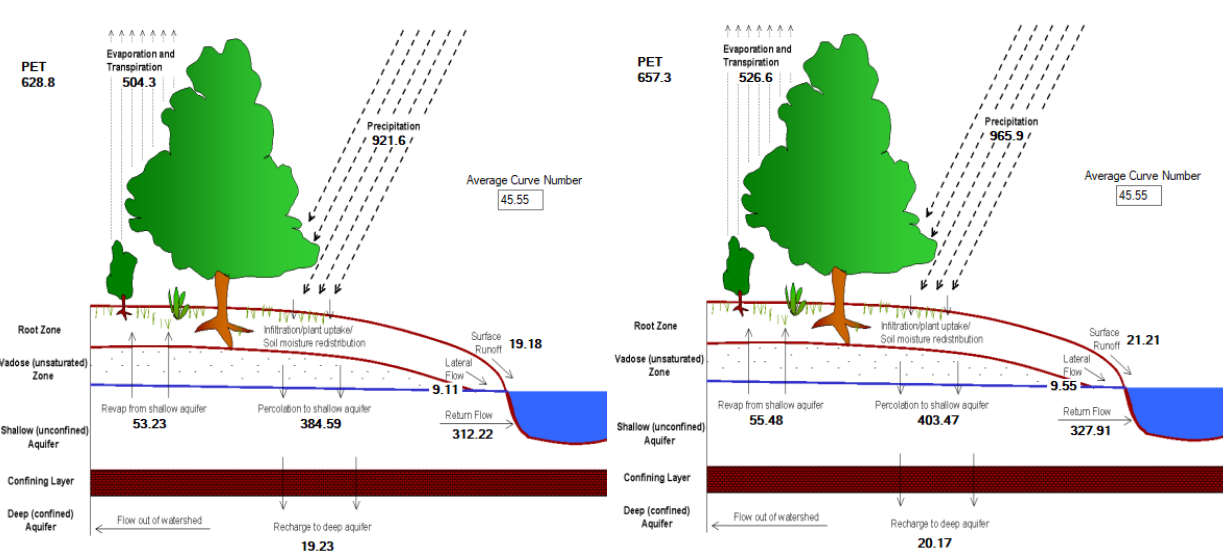


Figuur 14: het effect van klimaatscenario GL-midden op de frequenties van het voorkomen van verschillende neerslaggebeurtenissen tussen de maanden mei en september. De aantallen zijn gemiddelden berekend over 10 jaar (2001-2010) voor KNMI stations Eelde (links) en Eext (rechts).

5.2 Stroomgebied Drentsche Aa

In de Drentsche Aa is onderzocht hoe de af- en uitspoeling van zes gewasbeschermingsmiddelen zal veranderen als gevolg van klimaatverandering. De voorspelde toename in neerslaghoeveelheid en intensiteit is de belangrijkste factor die kan leiden tot verhoogde uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen onder de GL-midden scenario.

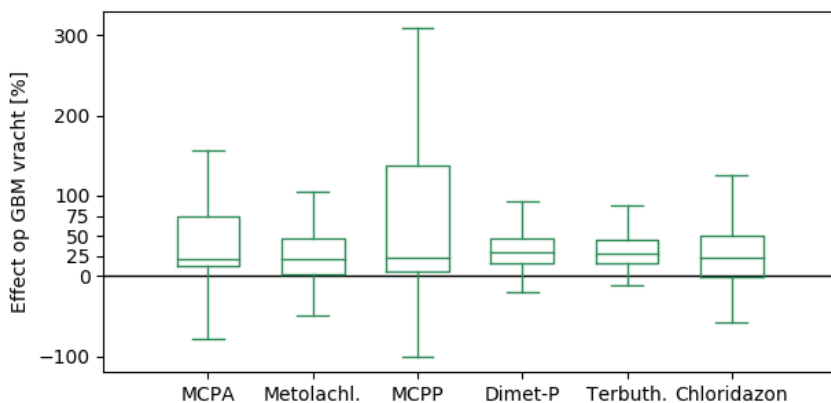
Uitgaande van klimaatscenario GL-midden zal de gemiddelde jaarlijkse neerslag berekend over de periode 2001-2010 toenemen met ongeveer 45 mm. Uit de berekeningen van SWAT blijkt dat de extra neerslag wordt verdeeld over verschillende posten van de waterbalans (Figuur 15). Het grootste verschil is terug te vinden in de berekende verdamping, die met ongeveer 20 mm toeneemt. De hogere verdamping wordt niet alleen beïnvloed door veranderingen in neerslag, maar is ook een gevolg van de hogere temperaturen en een lichte stijging in kortgolvlige straling. De fluxen naar het oppervlaktewater nemen ook toe. Oppervlakkige afvoer, een belangrijke transportroute van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater, neemt toe met ongeveer 10%. Het effect van klimaatverandering op transport van water naar het diepe grondwater is relatief klein.



Figuur 15: gemiddelde jaarlijkse waterbalans van het stroomgebied van de Drentsche Aa over de referentieperiode 2001-2010 (links) en voor dezelfde 10 jaar onder klimaatscenario GL-midden (rechts).

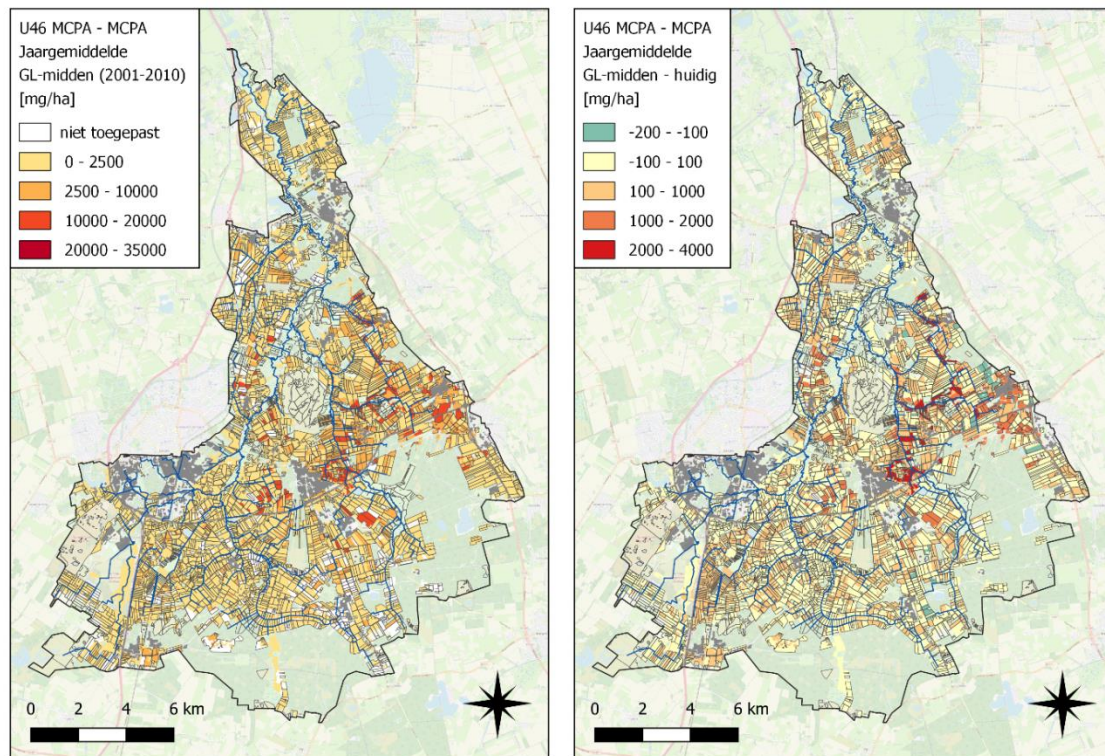
Uit modelberekeningen blijkt dat de af- en uitspoeling van de zes gewasbeschermingsmiddelen met ongeveer 25% toe zullen nemen, maar de ruimtelijke variatie binnen het stroomgebied is hoog (Figuur 16). Voor alle middelen kan de uitspoeling uit HRU's verdubbelen uitgaande van het klimaatscenario G_L-midden, en voor MCPP kunnen de vrachten zelfs verviervoudigen. Tegelijkertijd zijn er ook HRU's waarbij af- en uitspoeling in de toekomst lager zullen zijn dan onder het huidige klimaat (zie een voorbeeld voor MCPA in Figuur 16).

De afname in af- en uitspoeling van MCPA is onderzocht voor drie HRU's waarin in de vrachten onder het klimaatscenario met 15 – 30% af zullen nemen. Uit de jaargemiddelden blijkt dat voor deze HRU's de vrachten van MCPA het hoogst waren in het jaar 2010. Meer dan 90% van de totale som van MCPA af- en uitspoeling in 10 jaar tijd spoelde in dit jaar af of uit. Deze HRU's gebruiken stations Eext en Assen voor de neerslaggegevens. Uit de neerslagtijdsreeksen blijkt dat een bui van 12 (Eext) en 17 (Assen) mm die in 2010 op 3 mei 2010 waargenomen zijn in de getransformeerde tijdsreeks verschoven zijn naar 4 mei. Doordat de bui een dag later plaatsvindt zal een groter aandeel van de totale dosering van het gewasbeschermingsmiddel afgebroken zijn. Verschuivingen van de neerslag in de tijd in de twee klimaatreeksen, in relatie tot het tijdstip van toepassing van GBM's, kunnen derhalve leiden tot zowel verhoging als verlaging van vrachten uit HRU's.



Figuur 16: toename in af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen rond 2050 onder klimaatscenario G_L-midden.

De ruimtelijke variatie in het effect van klimaatverandering op vrachten van MCPA naar het oppervlaktewater wordt in Figuur 17 weergegeven (met natuurgebieden afgedekt in Bijlagen 9 en 10). De risicogebieden van af- en uitspoeling van MCPA zijn in de toekomst dezelfde als die waargenomen in de referentieperiode met het huidige klimaat (vergelijk met Bijlage 8). Het effect van klimaatverandering is in het algemeen het grootst waar de vrachten van MCPA ook hoog zijn, *i.e.* voornamelijk in het oosten van het stroomgebied. De af- en uitspoeling neemt daar toe met 1–4 mg ha⁻¹. De hoogste procentuele effecten van klimaatverandering, zoals in Figuur 16 getoond, komen voor in het gebied bij De Punt. Hier is de af- en uitspoeling in 2050 onder klimaatscenario G_L-midden echter nog steeds relatief laag.

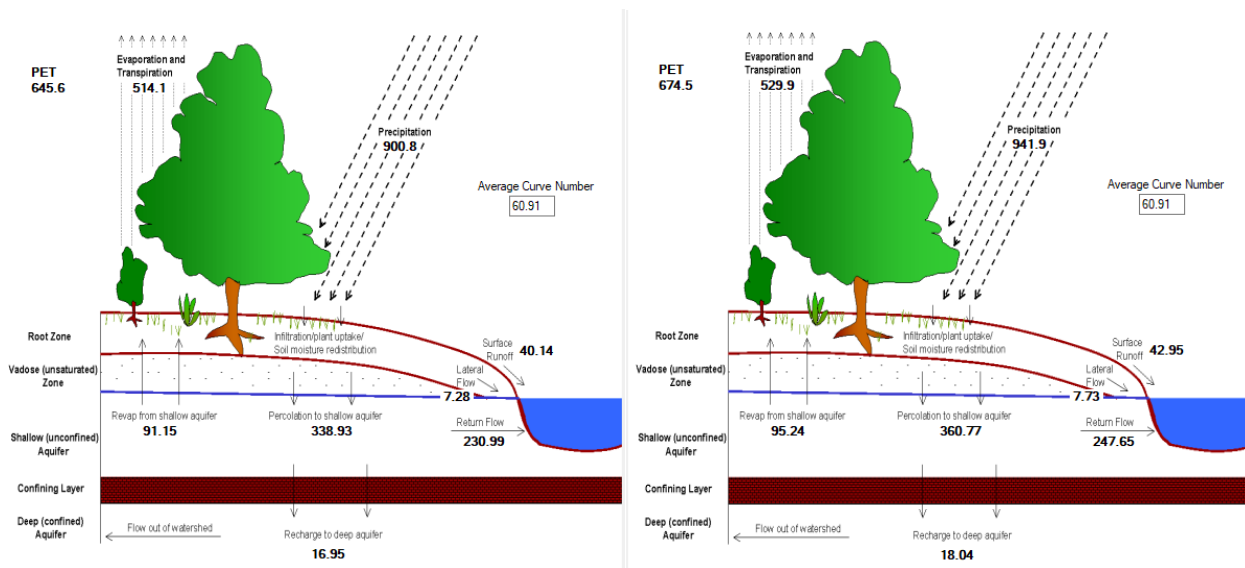


Figuur 17: de gemiddelde jaarlijkse af- en uitspoeling van MCPA rond 2050 onder klimaatscenario GL-midden (links) en het verschil met het huidige klimaat (rechts).

5.3 Stroomgebied Hunze

In de Hunze is het effect van klimaatverandering op de af- en uitspoeling van totaal stikstof en totaal fosfor onderzocht. De af- en uitspoeling van nutriënten kan toenemen ten gevolge van hogere neerslagintensiteiten, maar ook door hogere temperaturen die invloed hebben op de mineralisatie van organisch materiaal en op de opname van nutriënten door de planten in de groeicyclus.

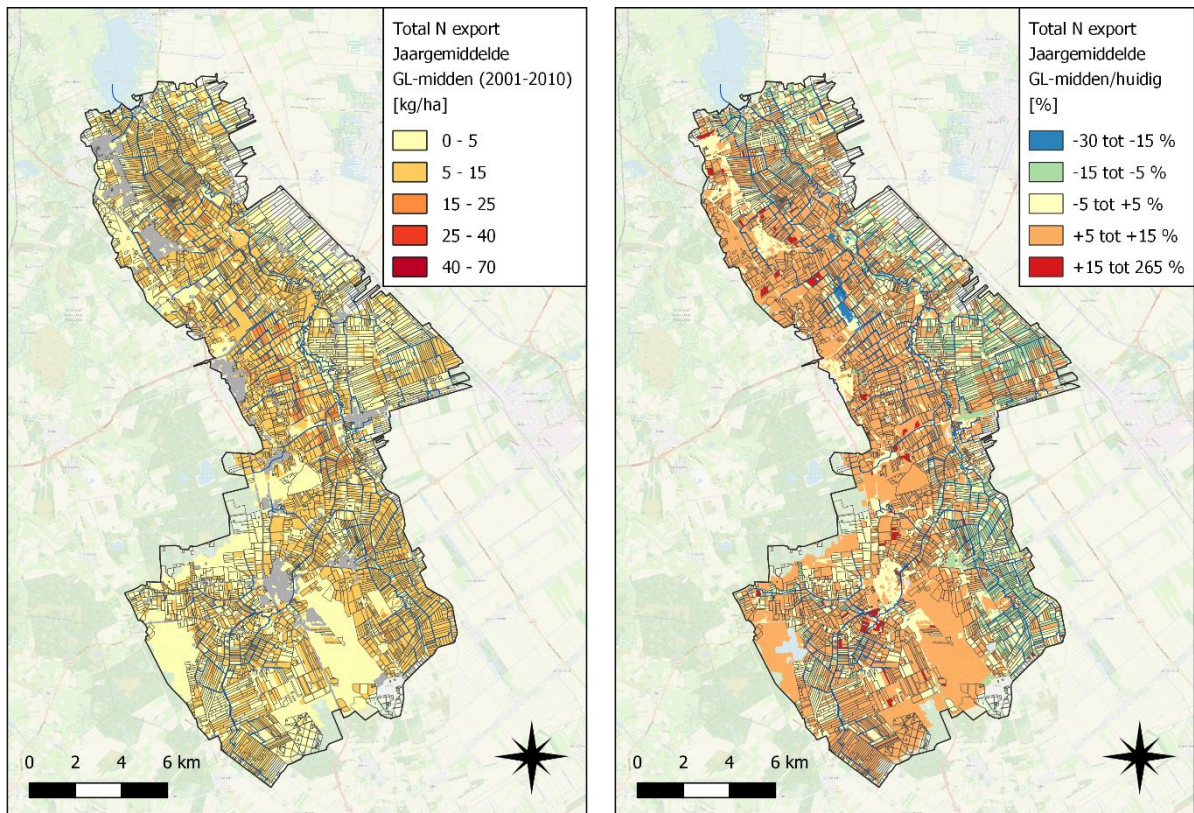
Onder invloed van klimaatscenario GL-midden neemt de neerslag in het stroomgebied van de Hunze berekend over de periode 2001-2010 toe met ongeveer 40 mm j^{-1} . De neerslag wordt door SWAT verdeeld over verschillende posten van de waterbalans (Figuur 18). Het grootste gedeelte van de extra neerslag belandt via verschillende routes in het oppervlaktewater. Oppervlakkige afspoeling is een relatief klein aandeel van de totale flux naar het oppervlaktewater, maar is een belangrijke route voor af- en uitspoeling van nutriënten. De oppervlakkige afspoeling is rond 2050 gemiddeld 3 mm j^{-1} hoger dan tijdens de referentieperiode, een verschil van ongeveer 7%. De actuele verdamping neemt ook toe, mede als gevolg van de hogere potentiële verdamping gebaseerd op hogere temperaturen en een lichte toename in straling rond het jaar 2050. Het effect van klimaatverandering op transport van water naar het diepe grondwater is relatief klein.



Figuur 18: gemiddelde jaarlijkse waterbalans van het stroomgebied van de Hunze over de referentieperiode 2001-2010 (links) en 10 jaar onder klimaatscenario GL-midden (rechts).

De modelberekeningen tonen aan dat de vrachten van stikstof vanuit de percelen naar het oppervlaktewater toe in de toekomst over het algemeen tot 10% hoger zullen zijn dan onder het huidige klimaat (Figuur 19). In het westen van het stroomgebied neemt de af- en uitspoeling van stikstof licht af. De gebieden die het meest kwetsbaar zijn voor klimaatverandering zijn die waar de stikstof vrachten al relatief hoog zijn en waar het effect van klimaatverandering ook groot is. Dit is bijvoorbeeld het geval ten oosten van Gieten en ten oosten van Annen. Op de locaties waar het effect van klimaatverandering het grootst is (>15%) zijn de vrachten echter ook in de toekomst relatief laag. Dit betekent dat, ondanks het grote effect van klimaatveranderingen, maatregelen in deze gebieden minder effect zullen hebben dan in de eerdergenoemde gebieden bij Gieten en Annen met de hogere vrachten.

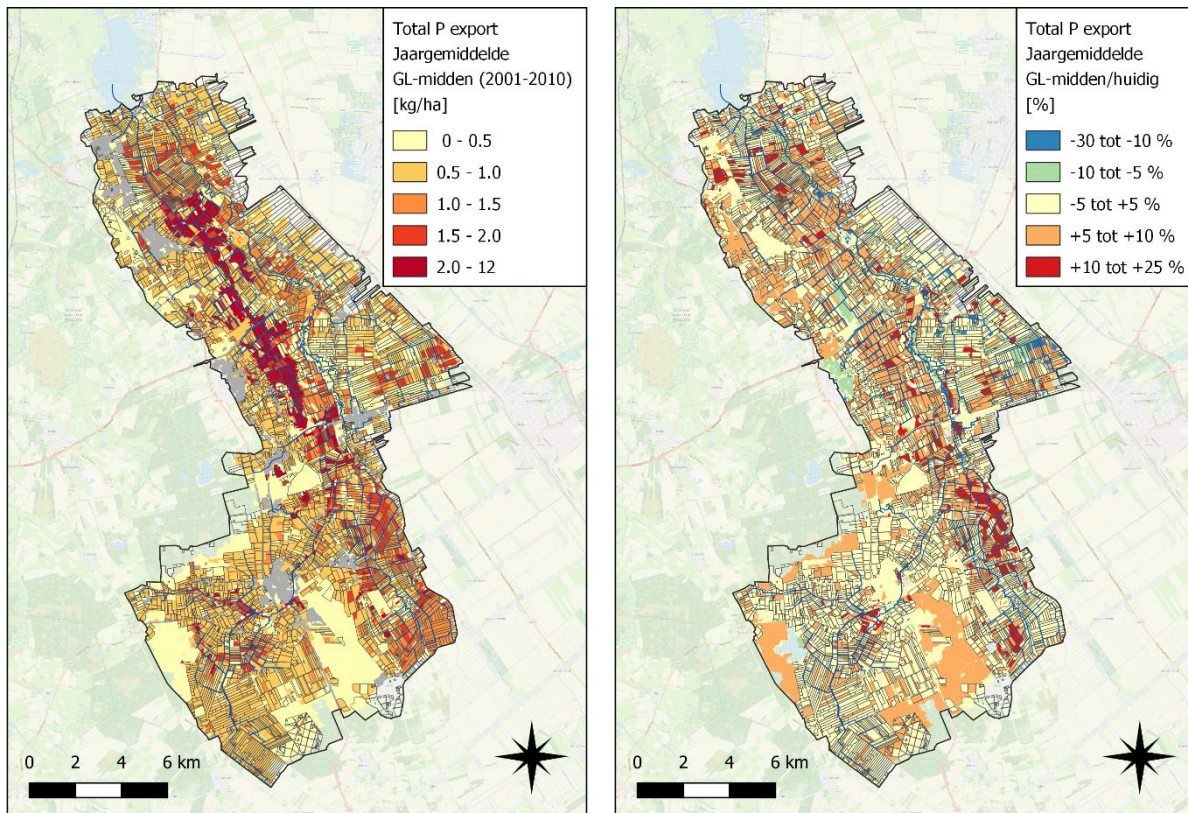
Het effect van klimaatverandering op de concentraties van stikstof in het oppervlaktewater is niet alleen afhankelijk van de vrachten, maar ook van de hoeveelheid water. Op basis van de waterbalans in Figuur 18 nemen de oppervlakkige afspoeling, laterale afvoer en stroming van ondiep grondwater naar het oppervlaktewater allemaal toe met ongeveer 7%. Op basis van deze waarden zal de concentratie op jaarlijkse basis licht toenemen. In de praktijk kan het vaker voorkomen van grote neerslaggebeurtenissen echter leiden tot hoge, maar kortstondige pieken in concentraties van nutriënten die niet zichtbaar zijn op de jaarlijkse tijdstap die in deze analyses gebruikt is. Ook is het effect op afvoeren in de groeiseizoenen belangrijker dan het effect op jaarbasis. Of klimaatverandering ertoe leidt dat de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater boven de KRW norm van 2,2 mg l⁻¹ stijgt, hangt ook af van in hoeverre de stikstoftransformatieprocessen in het oppervlaktewater veranderen. Een analyse van het transport en de transformaties van nutriënten in het oppervlaktewatersysteem in SWAT, gecombineerd met een dagelijkse of maandelijkse tijdstap, is nodig om meer inzicht te krijgen in het effect van klimaatverandering op de concentraties van stikstof in het oppervlaktewater.



Figuur 19: jaargemiddelde af- en uitspoeling van totale stikstof rond 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden (links) en het effect van klimaatverandering vergeleken met het huidige klimaat (rechts).

De modelberekeningen tonen aan dat de vrachten van totaal fosfor naar het oppervlaktewater toe in 2050 (scenario G_L-midden) zullen stijgen met 5-10%, in vergelijking met die in het huidige klimaat (Figuur 20). Het effect van klimaatverandering is het grootst in de nattere zones in de buurt van de waterlopen, waar de vrachten tot 25% kunnen toenemen. De meest kwetsbare gebieden voor klimaatverandering zijn ten zuiden van Drouwenerveen, ten oosten van Gieten en ten westen van Zuidlaren. In deze gebieden is het effect van klimaatverandering groot en zijn vrachten navenant hoger. De verklaring voor deze hogere vrachten is niet duidelijk, en kan een combinatie zijn van verschillen in neerslag, bouwplan, en bodemtype.

Zoals hierboven beschreven is het effect van klimaatverandering op de concentraties van nutriënten in het oppervlaktewater afhankelijk van de vrachten maar ook de afvoeren en transformaties in het oppervlaktewatersysteem. Op basis van de waterbalans in Figuur 18 is het effect op afvoeren vergelijkbaar met het effect op vrachten van fosfor. Hieruit lijkt het dat het effect van klimaatverandering op concentraties van fosfor in het oppervlaktewater beperkt zal zijn. Een analyse op dag- of maandbasis die ook het watersysteem onderzoekt is noodzakelijk om te bepalen of klimaatverandering een effect zal hebben op de kans op overschrijdingen van de KRW-norm voor fosfor.



Figuur 20: jaargemiddelde af- en uitspoeling van totale fosfor rond 2050 uitgaande van klimaatscenario G_L-midden (links) en het effect van klimaatverandering vergeleken met het huidige klimaat (rechts).

5.4 Conclusies ten aanzien van klimaatverandering

De effecten van klimaatverandering op de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten uitgaande van klimaatscenario G_L-midden zijn:

- De af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen in de Drentsche Aa neemt toe met ongeveer 25% door toename in de frequentie van dagen met hoge neerslag in de zomerperiode;
- Het effect van klimaatverandering op af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen in de Drentsche Aa varieert sterk: in enkele HRU's neemt de vracht af, in andere is het tot drie keer hoger dan onder de huidige situatie. Dit heeft mede te maken met verschuivingen in de dagen met neerslag;
- De af- en uitspoeling van stikstof uit de HRU's neemt in de Hunze toe met ongeveer 10%
- De af- en uitspoeling van fosfor uit de HRU's neemt in de Hunze toe met 5–10%
- Doordat de afvoer van water ook 5-10% hoger is ten gevolge van klimaatverandering is het effect van klimaatverandering op de concentraties van N en P in het oppervlaktewater op jaarbasis lager dan het effect op de vrachten uit de HRU's. Transformaties van N en P in het watersysteem hebben ook invloed op de uiteindelijke concentraties. Aanvullende berekeningen zijn nodig om te bepalen of er verschillen zullen zijn in de concentraties in het watersysteem op dagbasis.

6 OVERDRACHT SWAT-MODEL EN SCENARIO'S

Om het mogelijk te maken dat het Waterschap Hunze en Aa's ook na afloop van het TopSoil project gebruik kan maken van de ontwikkelde modellen om andere scenario's door te kunnen rekenen, was overeengekomen dat er overdracht plaats zou vinden van het SWAT-model en de verschillende scenario's die voor het waterschap Hunze en Aa's doorgerekend zijn. Tijdens een werksessie bij het waterschap in juni 2019 zijn de volgende modellen/scenario's overgedragen:

- Basismodel voor de Drentsche Aa, met de verschillende bouwplannen, de op basis van het SWAP-model geaggregeerde bodeminformatie en de meteorologische invoer van 1965 tot 2016.
- Basismodel voor de Hunze, met de verschillende bouwplannen, de op basis van het SWAP-model geaggregeerde bodeminformatie en de meteorologische invoer van 1965 tot 2016.
- Uniform landgebruik (gras) model, waarbij het basismodel als uitgangspunt heeft gediend (zelfde aantal HRU's om het basismodel zo veel mogelijk te kunnen benaderen). Hierbij is de hoogste applicatie voor de zes gewasbeschermingsmiddelen in verwerkt.
- Uniform landgebruik model (gras), waarbij de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen is gehalveerd.
- Model waar akkerranden (buffer strips) zijn aangelegd op alle landbouwpercelen (met parameters gebaseerd op een breedte van 4 m) om het effect op de afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen te kunnen kwantificeren.
- Basismodel voor de Drentsche Aa, met getransformeerde klimaatserie van 1981 tot 2010 om de effecten van klimaatverandering op de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen te kunnen kwantificeren.
- Basismodel van de Hunze, met getransformeerde klimaatserie van 1981 tot 2010 om de effecten van klimaatverandering op de uitspoeling van nutriënten te kunnen kwantificeren.

Deel van de overdracht bestond uit het geven van een korte cursus in het gebruik van het SWAT-model. Aanwijzingen voor hoe SWAT te installeren waren eerder schriftelijk gecommuniceerd. Tijdens de werksessie is aandacht besteed aan:

- Algemene uitleg over de opbouw van het model, de erbij horende gegevensbanken en gegevens-tabellen, het opzetten en runnen van het model, en het visualiseren van modelresultaten in QGIS.
- Bespreking van de bestanden waarin de uitvoer van het model weggeschreven wordt en hoe deze uitvoer ruimtelijk of als tijdseries te kunnen weergeven.
- Bespreking van de werking van het model voor hydrologische simulaties.
- Bespreking van irrigatieroutines in het model voor simulaties van perioden van droogte.
- Het verlengen van de aangeleverde klimaat tijdseries en hoe deze in te brengen in de verschillende modellen. Dit maakt het mogelijk om ook de extreme neerslag in mei 2018 in het model te brengen.
- Het werken met de SWAT-editor voor het maken van veranderingen in de modelparameters.
- Uitleg over hoe een nieuw gewasbeschermingsmiddel (metamitron) toe te voegen aan de gegevensbank, en deze aan de "operations" toe te voegen voor een bouwplan.

Met deze werksessie en de overdracht van de modellen en achterliggende gegevens werd dit onderdeel succesvol afgerond.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

In dit onderzoek is de af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten naar het oppervlaktewater gesimuleerd voor drie scenario's waarbij maatregelen centraal stonden en voor één klimaatscenario. Het doel van de maatregelscenario's was om meer inzicht te krijgen in de risicofactoren voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen in de Drentsche Aa en om de effectiviteit van maatregelen te beoordelen. Het doel van het klimaatscenario was om inzicht te krijgen in hoe de af- en uitspoeling van stoffen zal veranderen in de toekomst.

7.1.1 Effect van maatregelen

De volgende scenario's voor maatregelen zijn onderzocht voor de Drentsche Aa:

1. Toepassing maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik (gras).
2. Toepassing 50% van maximale dosis gewasbeschermingsmiddel op uniform landgebruik (gras).
3. Aanleg van akkerranden (bufferstroken) equivalent aan een breedte van 4 m in het basismodel.

Moment van neerslag bepaalt in sterke mate de afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

De resultaten van de scenario's met uniform landgebruik geven inzicht in de risicofactoren voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen onafhankelijk van landgebruik. Uit de modelberekeningen bleek dat hoge dagelijkse neerslag in relatie tot het tijdstip van de toepassing van GBM bepalend is voor de vrachten van gewasbeschermingsmiddelen. Een enkele grote neerslaggebeurtenis binnen een week na toepassing van een bepaald middel kan bepalend zijn voor het tienjarig gemiddelde van de vracht.

Keileembodems zijn gevoeliger voor af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen dan veenbodems

Na neerslag is bodemtype een belangrijke factor. De vrachten van gewasbeschermingsmiddelen uit bodemtypes met een hoog organisch stofgehalte zijn relatief laag. Bodemtypes met keileem ondiep in het profiel zijn gevoeliger voor af- en uitspoeling van deze middelen. Opvallend is dat bodemtypes waarvan het hydrologisch risico op oppervlakkige afspoeling hoog is juist minder gevoelig zijn voor uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. In de risicogebieden voor oppervlakkige afvoer komen bodemtypes voor met een hoog organisch stofgehalte voor, waardoor een relatief groot aandeel van de middelen vastgehouden wordt.

Het verband tussen de af- en uitspoeling van een middel en de dosering van dat middel is proportioneel

De relatie tussen de dosering van een gewasbeschermingsmiddel en de vrachten van dat middel naar het oppervlaktewater is eenvoudig. Bij een halvering van de dosering halveert ook de af- en uitspoeling van dat middel. In de praktijk zal een halvering van de dosering waarschijnlijk leiden tot grotere schade aan het gewas en een lagere gewasopbrengst, maar de eenvoudige relatie betekent dat het eenvoudig is om rekening te houden met veranderingen in de dosering. Daarvoor hoeft het model niet aangepast te worden en de vrachten opnieuw worden berekend. Dit is vooral belangrijk aangezien deelnemers aan de gebiedssessies aangaven dat de doseringen gebruikt in het SWAT-model hoger waren dan die in de werkelijkheid.

Akkerranden zijn effectief tegen af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

De aanleg van akkerranden of filterstroken van ongeveer 4 m breed verlagen de af- en uitspoeling van alle zes onderzochte gewasbeschermingsmiddelen met 25-30%. De ruimtelijke variatie binnen het stroomgebied is groot, lokaal kunnen vrachten tot 40% lager zijn. Akkerranden zijn daarmee een effectieve maatregel tegen af- en uitspoeling kunnen zijn. Dit gaat wel uit van permanente akkerranden, terwijl uit de gebieds-sessies bleek dat akkerranden in de praktijk soms verwijderd worden op het moment dat een gewas met hoog rendement op het perceel geteeld wordt.

7.1.2 Effect van klimaatverandering

Het effect van klimaatverandering op de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen (Drentsche Aa) en nutriënten (Hunze) is onderzocht uitgaande van de G_L-midden scenario van het KNMI. Onder dit scenario neemt de neerslagintensiteit toe en komen piekbuien vaker voor.

Af- en uitspoeling van gbm's zal in 2050 ~25% hoger zijn dan onder het huidige klimaat

Modelberekeningen tonen aan dat de af- en uitspoeling van de zes onderzochte gewasbeschermingsmiddelen in de Drentsche Aa rond 2050 ongeveer 25% hoger zullen zijn dan onder het huidige klimaat. De ruimtelijke variatie binnen het stroomgebied is echter hoog, en lokaal kunnen vrachten twee tot drie keer hoger zijn dan elders. Dit heeft mede te maken met verschillen in de hoeveelheden en tijdstippen van dagelijkse neerslagen in de twee tijdseries van het klimaat.

Af- en uitspoeling van nutriënten zal in 2050 ~10% hoger zijn dan onder het huidige klimaat

Het effect van klimaatverandering op af- en uitspoeling van nutriënten in de Hunze is lager dan het effect op gewasbeschermingsmiddelen in de Drentsche Aa. Vrachten van stikstof naar het oppervlaktewater zijn in 2050 ongeveer 10% hoger dan in de periode 2001 - 2010. Lokaal kunnen vrachten zelfs licht afnemen, vooral in het oosten van het stroomgebied. Mogelijk is dit een gevolg in veranderingen in de opname door de gewassen en verhoging in de productie, mogelijk in combinatie met verschillen in de hoeveelheden en tijdstippen van dagelijkse neerslagen in de twee tijdseries van het klimaat. Vrachten van fosfor nemen ook met ongeveer 10% toe als gevolg van klimaatscenario G_L-midden. Omdat ook de gemiddelde jaarlijkse afvoer toeneemt zal het effect van klimaatverandering op concentraties in het oppervlaktewater minder zijn dan dat voor de berekende vrachten uit de HRU's op jaarbasis.

7.2 Aanbevelingen

De onderzochte scenario's hebben nieuwe inzichten gegeven in de risicofactoren op af- en uitspoeling en de effecten van het nemen van maatregelen en die van klimaatverandering. De analyses zijn beperkt gebleven tot HRU-schaal (ongeveer perceelschaal). Met name voor de Drentsche Aa zou het nuttig zijn om te analyseren in welke gebieden het toepassen van maatregelen tot vermindering van de vrachten van gewasbeschermingsmiddelen het meeste effect zouden hebben op waterkwaliteit bij het innamepunt De Punt. Hiervoor zouden de vrachten in het watersysteem bij De Punt, maar ook op andere locaties in het oppervlaktewatersysteem, in de analyse meegenomen kunnen worden. Ook kan zo gekeken wat de invloed van transformaties in het oppervlaktewatersysteem (afbraak, adsorptie, etc.) op de vrachten en concentraties is. In SWAT kan één gewasbeschermingsmiddel tegelijk in het oppervlaktewater gesimuleerd worden. Meerdere modelsimulaties zijn dus nodig om alle bestudeerde middelen te analyseren. Deze analyses zijn van belang om inzicht te krijgen in het effect van maatregelen en klimaatverandering op het halen van de KRW waterkwaliteitsnormen in de Drentsche Aa, maar ook in de Hunze.

De resultaten van de uniform landgebruik scenario's suggereren dat organisch stofgehalte in de bodem een belangrijke invloed heeft op de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. De gegevens in SWAT zijn gebaseerd op de organisch stofgehalten in de PAWN bodemprofielgegevens. Het wordt aanbevolen om voor de in deze studie verschillende gedefinieerde bodemtypes representatieve waarden te verkrijgen voor het organische stofgehalte, met name voor dat in de toplaag. Als het verkrijgen van zulke gegevens niet mogelijk is, kan de gevoeligheid van het model getest worden door het organisch stofgehalte van alle bodemtypes met bijvoorbeeld 1% te verhogen. De resultaten van een dergelijk scenario kunnen ook dienen als maatregelscenario, al blijkt het volgens de telers in de praktijk moeilijk om een verhoging van organisch stofgehalte in de bodem te bereiken.

De tijdreeks van meteorologie kan verlengd worden tot en met het jaar 2018. De extreme buien in het voorjaar hebben geleid tot meerdere overschrijdingen bij de drinkwater innamepunt in de Drentsche Aa. Dit kan gebruikt worden om het model nogmaals te ijken, maar ook om te achterhalen waar volgens het model de meeste uitspoeling heeft plaatsgevonden.

Aanvullende gewasbeschermingsmiddelen kunnen aan het model worden toegevoegd, zoals metamitron, en de toepassingen van middelen kunnen aangepast worden. MCPA wordt bijvoorbeeld niet meer op aardappelen toegepast en MCPP wordt op gras toegepast en niet op graan. In het huidige model en alle scenario's is uitgegaan van een vaste toepassingsefficiëntie voor alle gewasbeschermingsmiddelen. Deze efficiëntie parameter kan aangepast worden om het effect van maatregelen tegen drift te simuleren.

Verder kan het effect van de eigenschappen van de verschillende gewasbeschermingsmiddelen onderzocht worden door alle middelen op dezelfde dag toe te passen binnen een uniform landgebruik scenario. Daardoor verdwijnt de invloed van neerslag en piekbuien op de af- en uitspoeling van de middelen. Dit scenario zou niet overeenkomen met de praktijk, maar de resultaten zouden inzicht geven in welke middelen gevoeliger zijn voor af- en uitspoeling.

Uit de maatregelscenario's bleek dat het aanleggen van akkerranden of bufferstroken een effectieve maatregel is tegen af- en uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Het effect lijkt over het algemeen groot genoeg om het effect van het GL-midden klimaatscenario te compenseren, al zou een scenario met klimaatverandering en akkerranden berekend moeten worden om dit te kunnen bevestigen. Het wordt ook aanbevolen om de akkerranden scenario te herhalen waarbij verschillende breedtes aangehouden worden, bijvoorbeeld akkerranden van 2 m breed. Op basis van de resultaten kan een afweging gemaakt tussen de effectiviteit van de akkerranden en de economische aspecten zoals een kleinere teeltoppervlakte en eventuele subsidieregelingen.

Verder is gebleken dat neerslagpieken een grote invloed hebben op de hoeveelheid af- en uitspoeling. Tijdens gebiedssessies gaven deelnemers aan dat zij rekening houden met grote buien in het plannen van werkzaamheden, waaronder toepassen van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Uit de simulaties blijkt echter dat een extreme bui tot zes dagen na toepassing van MCPA en metolachloor nog tot grote vrachten leidt. Weersvoorspellingen van een week vooruit zijn echter onbetrouwbaar. Aanvullende simulaties zijn nodig om te bepalen of dit effect ook zichtbaar is na zeven dagen, of na 10 dagen. Er zou ook onderzocht kunnen worden of het mogelijk is om de volledige GBM dosis te verspreiden over meerdere momenten om het risico op af- en uitspoeling te verkleinen.

Verschillen tussen neerslagstations tijdens perioden van hoge neerslag leiden lokaal tot hogere vrachten in die gebieden met de hoogste neerslaggebeurtenissen. Om het effect van ruimtelijke verschillen in neerslag tussen de klimaatstations te elimineren, kan ervoor gekozen worden om het model met een enkele neerslagreeks te voeden, waardoor het hele stroomgebied uniform neerslag ontvangt. De invoer zou kunnen bestaan

uit het gemiddelde van de neerslagstations, of een keuze kan gemaakt worden voor een station dat centraal gelegen is in het stroomgebied.

De drainagekaarten voor de stroomgebieden en met name de MIPWA kaart, vertonen gebreken in de zin dat de informatie over de drainagestatus van percelen niet altijd correct is. Het SWAT-model kan verbeterd worden door de informatie op de drainagekaarten te controleren tegen de in de metingen opgegeven drainagestatus van de percelen en de gecorrigeerde informatie in het model te brengen.

8 LITERATUUR

Delphy, 2017. Handleiding Gewasbescherming Akkerbouw en Veehouderij.

KNMI, 2015. KNMI'14 Toelichting transformatie tijdreeksen. 41 p.

http://www.klimaatscenario.nl/toekomstig_weer/transformatie/Toelichting_TP.pdf.

J.G. Kroes, J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, P.E.V. van Walsum, 2017. SWAP version 4; Theory description and user manual. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2780. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/416321>

S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406. Texas A&M University System College Station, Texas, VS. 647 p. <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2018a. Mestbeleid 2019-2021 Tabellen. Tabel 1. Stikstofgebruiksnormen. 6 p. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen-2018.pdf>.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2018b. Mestbeleid 2019-2021 Tabellen. Tabel 1. Fosfaatgebruiksnormen. 1 p. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/01/Tabel-2-Fosfaatgebruiksnormen-2019-2021.pdf>.

RPS en Acacia Water, 2019. TopSoil duurzame waterkwaliteit Drenthe – Rapportage classificatie bodem en grondgebruik SWAP/SWAT. Ref.nr. 1603390A00, 110 p.

J.C. van Dam, 2000. Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation, and case studies. PhD-thesis, Wageningen Universiteit, Nederland. <http://edepot.wur.nl/121243>.

Bijlage

1. Kenmerken gewasbeschermingsmiddelen

Tabel Bijlage 1. Parameterwaarden voor verschillende gewasbeschermingsmiddelen gemodelleerd in SWAT. IPNUM is het nummer van de stof in database, PNAME is de naam van stof, SKOC is de sorptiecoëfficiënt gecorrigeerd naar het organisch stofgehalte in de bodem (100Kd/%C), HLIFE_F is de halfwaardetijd op het blad, HLIFE_S is de halfwaardetijd in de bodem, AP_EF is de efficiëntie van toepassing en WSOL is de oplosbaarheid van de stof in water

IPNUM	PNAME	PESTNAME	SKOC [l kg ⁻¹]	WOF [-]	HLIFE_F [dag]	HLIFE_S [dag]	AP_EF [-]	WSOL [mg l ⁻¹]
234	Pyramin	Chloridazon	120 ¹	0.60 ⁵	5	35 ¹	0.75	422 ¹
88	Dual	Metolachloor	120 ¹	0.60 ⁴	6	21 ¹	0.75	530 ¹
235	U46 MCPA	MCPA	20 ²	0.95 ⁴	5	25 ¹	0.75	29390 ¹
236	Mecoprop	Mecoprop (MCP)	47 ¹	0.95 ⁴	3	8 ¹	0.75	250000 ¹
237	Calaris	Terbuthylazine	220 ⁶	0.55 ⁵	4	22 ¹	0.75	6.6 ¹
238	Akris	Dimethanamide-P	210-247 ²	0.60 ⁵	3	7 ¹	0.75	1499 ¹

¹PPDB gegevensbank d.d. november 2017

²<http://npic.orst.edu>

³http://www.herbiguide.com.au/Descriptions/hg_Terbuthylazine.htm

⁴Gleams pesticide parameters

⁵Estimated based on solubility

⁶Siris gegevensbank 2012 (https://siris-pesticides.ineris.fr/bdd_siris_pesticides)

Bijlage

2. Kenmerken KNMI klimaatscenario G_L-midden

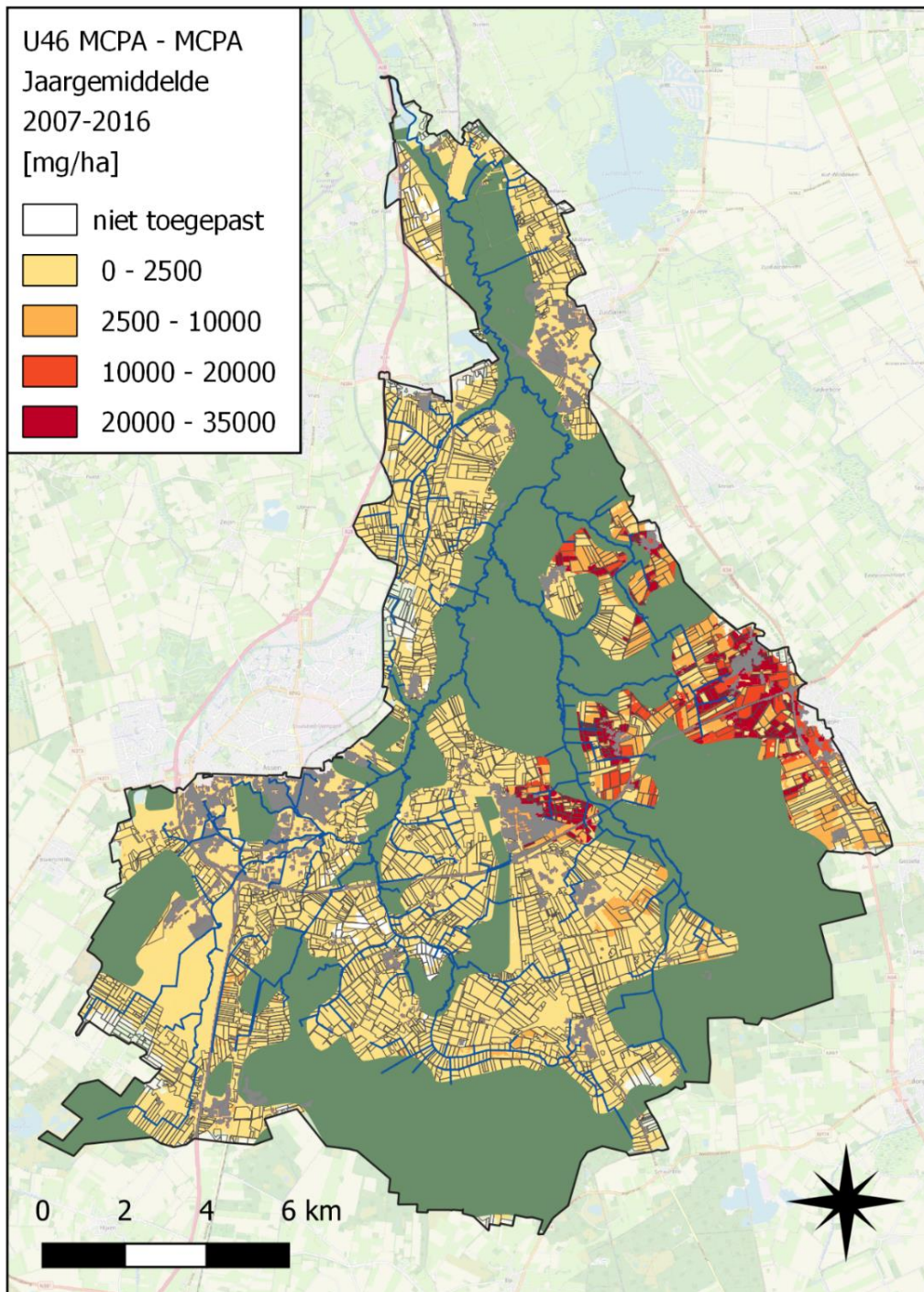
Tabel Bijlage 2: Kerncijfers van het klimaatscenario G_L voor de variabelen neerslag, temperatuur en straling over het hele jaar, en tijdens de lente (maart, april, mei) en zomer (juni, juli, augustus). Het 'midden' neerslagscenario gaat uit van een waarde midden binnen het opgegeven bereik

Seizoen	Variabele	Indicator	Klimaat 1981-2010	Klimaat 2050 G _L -midden
Jaar	Temperatuur	gemiddelde	10,1 °C	+1,0 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	851 mm	+4%
	Zonnestraling	zonnestraling	354 kJ/cm ²	+0,6%
Lente	Temperatuur	gemiddelde	9,5 °C	+0,9 °C
	Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	173 mm	+4,5%
Zomer	Temperatuur	gemiddelde	17,0 °C	+1,0 °C
		jaar-op-jaar variaties	± 1,4 °C	-3,5%
		dagmaximum	21,9 °C	+0,9 °C
		dagminimum	11,9 °C	+1,1 °C
		koelste zomerdag per jaar	11,1 °C	+0,9 °C
		warmste zomerdag per jaar	24,7 °C	+1,4 °C
		aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)	21 dagen	-22%
		aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)	0,1 dagen	-0,5%
		Neerslag	gemiddelde hoeveelheid	224 mm
	jaar-op-jaar variaties		± 113 mm	+2,1 tot +5%
	dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden		44 mm	+1,7 tot +10%
	maximum urneerslag per jaar		15,1 mm/uur	+5,5 tot 11%
	aantal natte dagen		43 dagen	+0,5%
	aantal dagen ≥ 20mm		1,7 dagen	+4,5 tot +18%
	Zonnestraling	zonnestraling	153 kJ/cm ²	+2,1%

Bron: KNMI, www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/

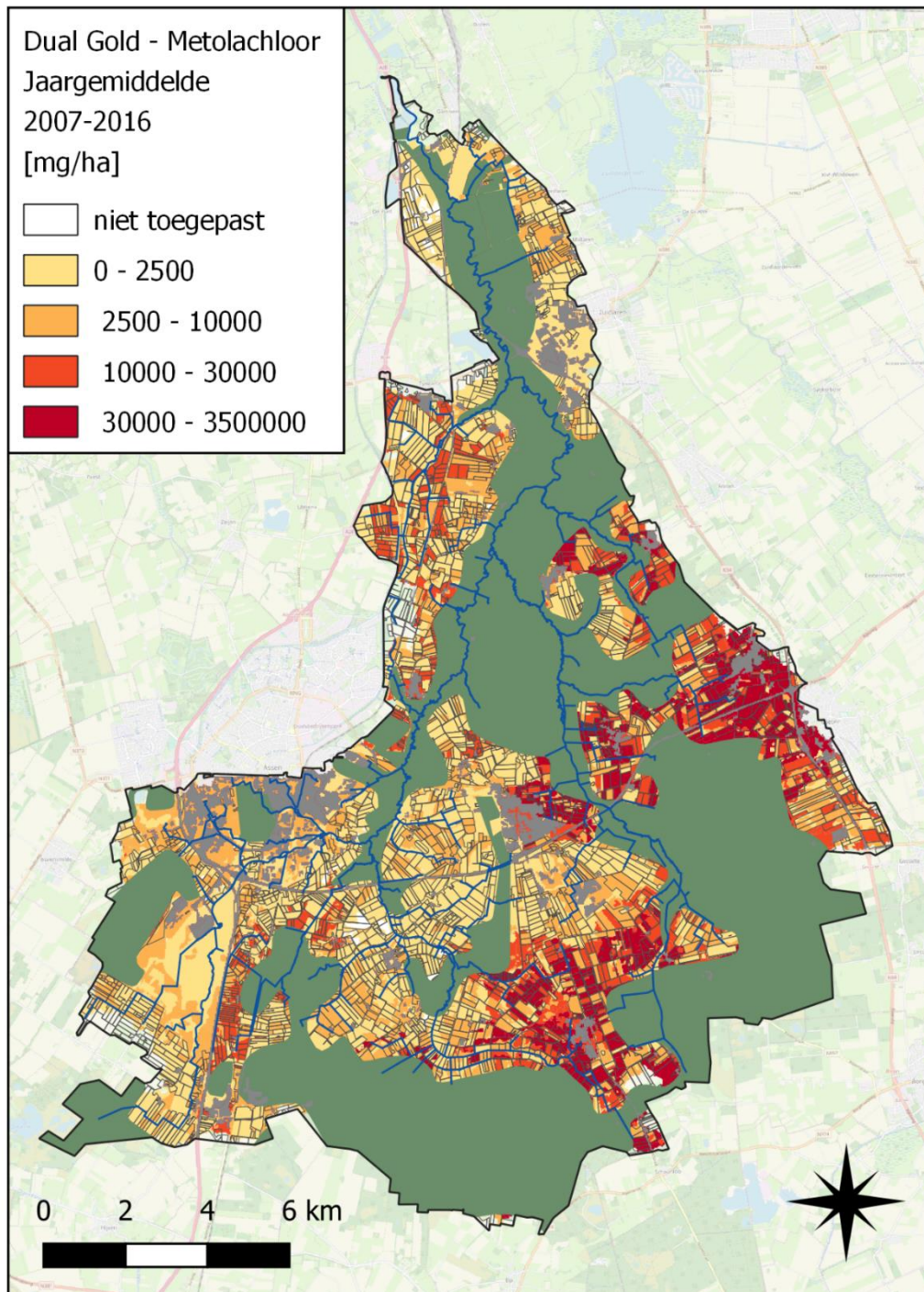
Bijlage

3. Uniform landgebruik met maximale dosering: MCPA met natuurgebieden



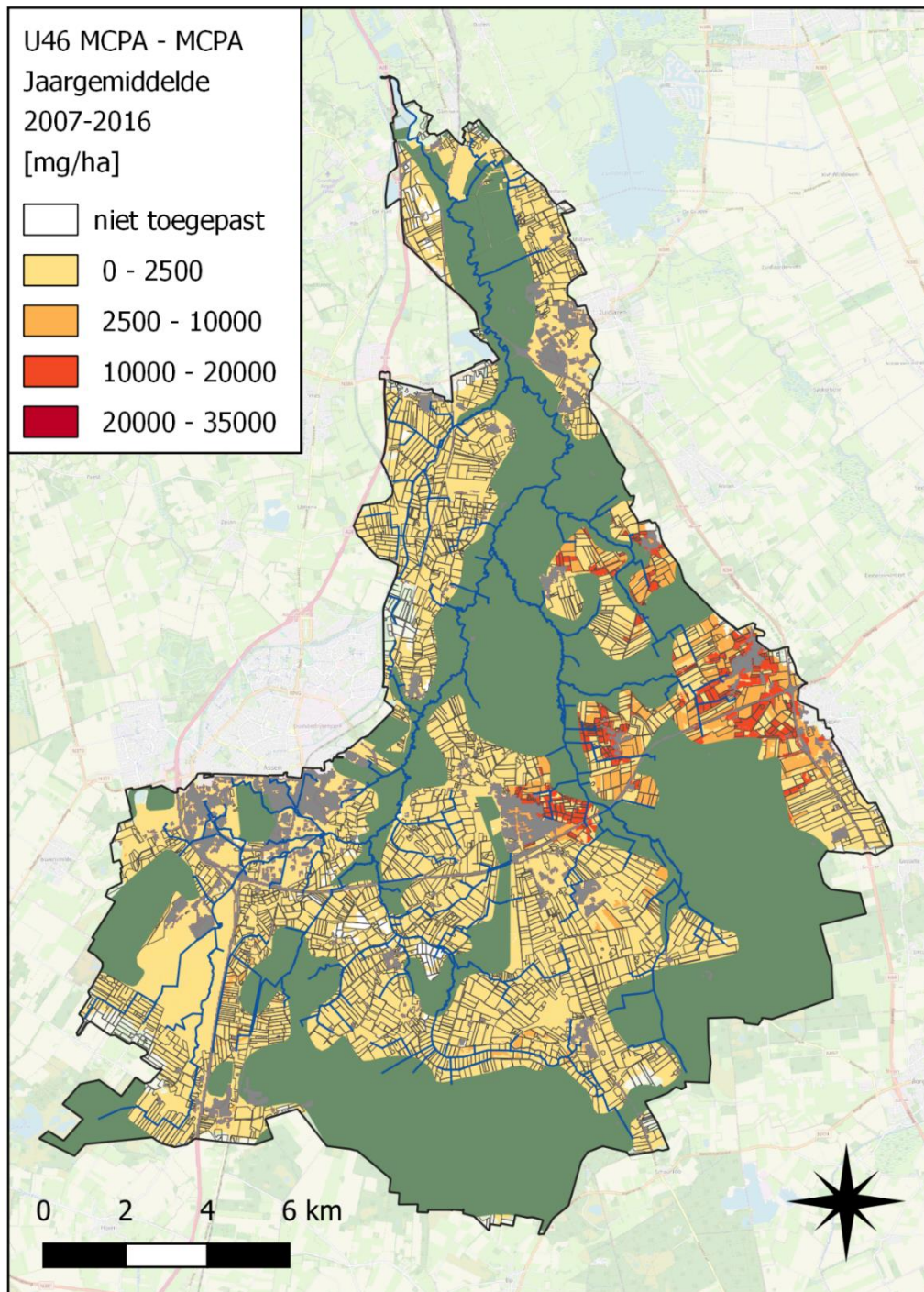
Bijlage

4. Uniform landgebruik met maximale dosering: metolachloor met natuurgebieden



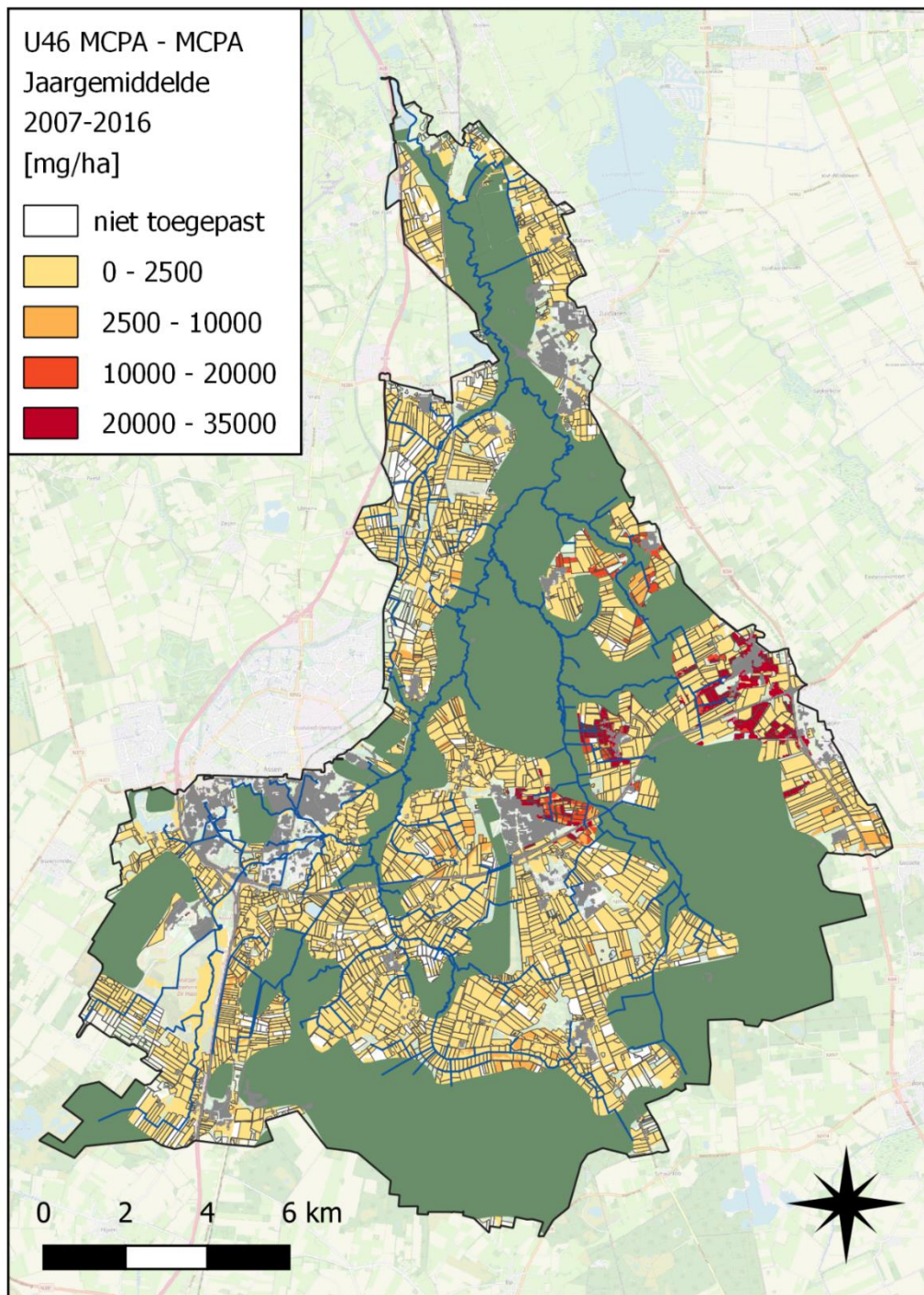
Bijlage

5. Uniform landgebruik met helft maximale dosering: MCPA met natuurgebieden



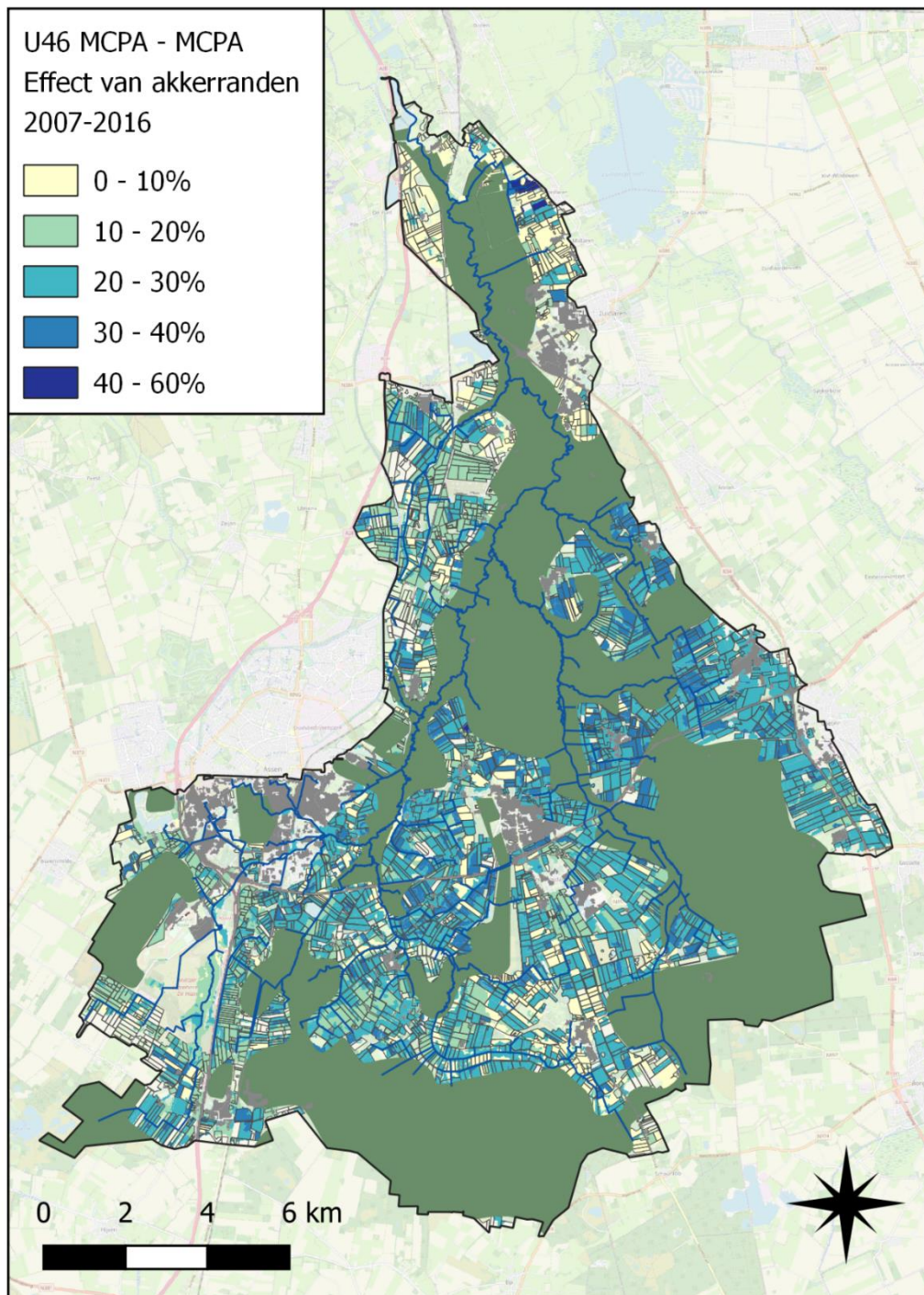
Bijlage

6. Akkerranden: MCPA met natuurgebieden



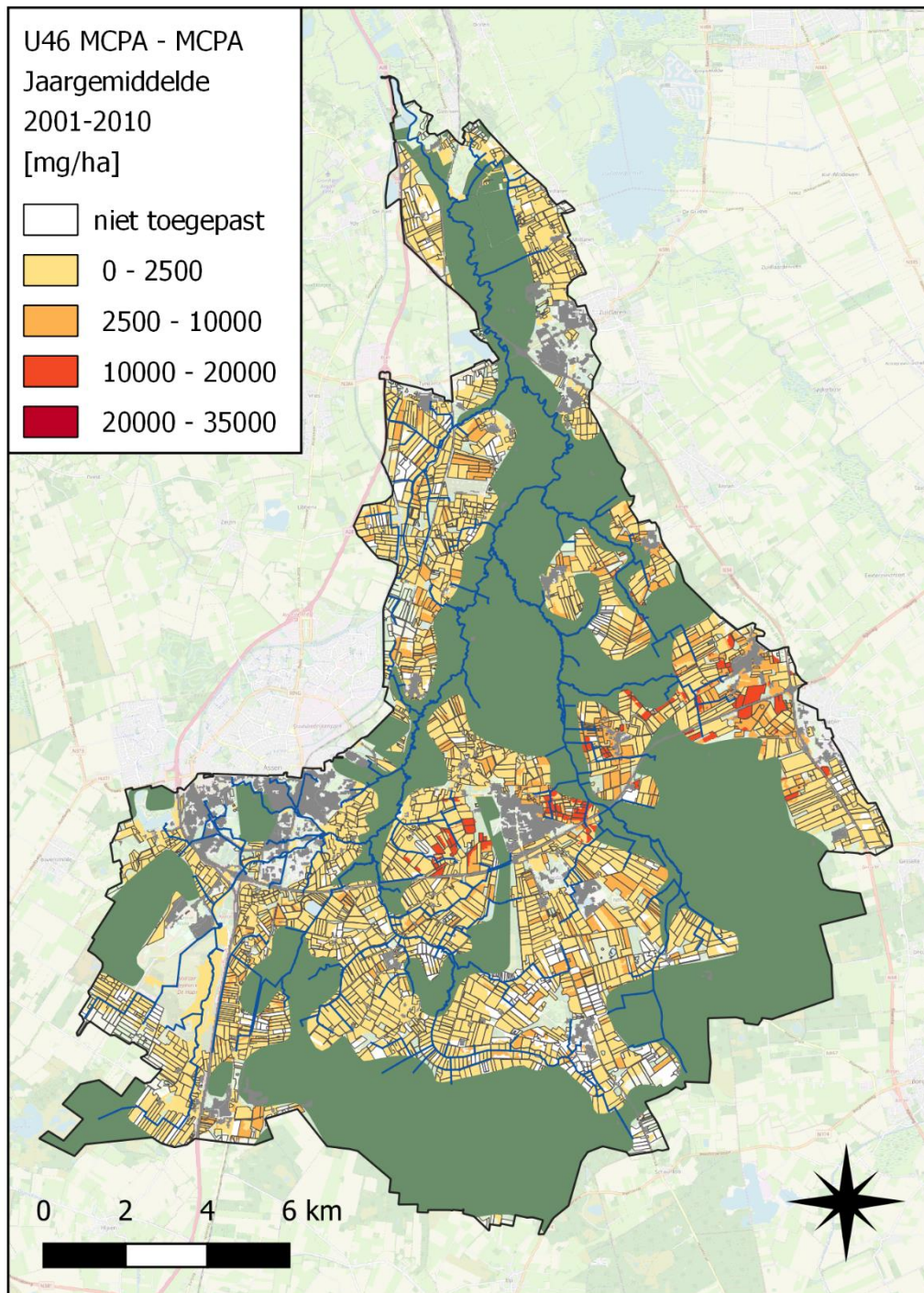
Bijlage

7. Effect van akkerranden: MCPA met natuurgebieden



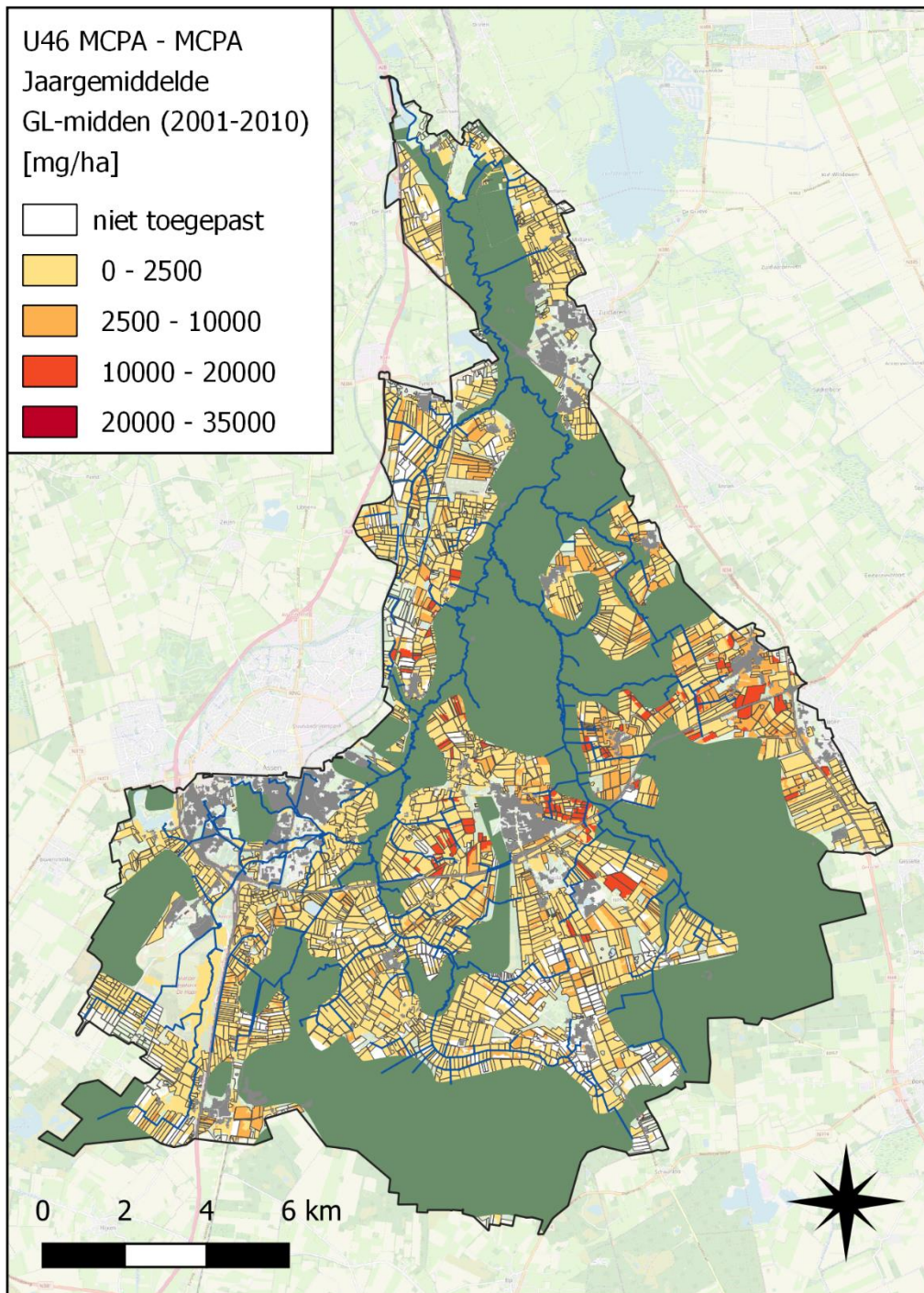
Bijlage

8. Basismodel 2001 – 2010: MCPA met natuurgebieden



Bijlage

9. GL-midden: MCPA met natuurgebieden



Bijlage

10. Effect van klimaatverandering: MCPA met natuurgebieden

