



# Het landelijk Waterkwaliteitsmodel

Versie LWKM1.2

Bolt, F.J.E. van der, E.M.P.M. van Boekel, W. Kuindersma, L.V. Renaud, P. Groenendijk, H. Kros,  
J. van den Roovaart, A. Marsman en W. Altena



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



# Het landelijk Waterkwaliteitsmodel

Versie LWKM1.2

Bolt, F.J.E. van der<sup>1</sup>, E.M.P.M. van Boekel<sup>1</sup>, W. Kuindersma<sup>2</sup>, L.V. Renaud<sup>1</sup>, P. Groenendijk<sup>1</sup>, H. Kros<sup>1</sup>, J. van den Roovaart<sup>2</sup>, A. Marsman<sup>2</sup> en W. Altena<sup>2</sup>

1 Wageningen Environmental Research

2 Deltares

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en Deltares in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (DGWB, PBL en RWS) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Wageningen Environmental Research

Wageningen, februari 2022

---

Gereviewd door:

Laura Timmermans onderzoeker bodem en nutriënten (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:

Gert-Jan Reinds, teamleider van Duurzaam Bodemgebruik

Rapport 3148

ISSN 1566-7197



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

Bolt, F.J.E. van der, et al., 2021. *Het landelijk Waterkwaliteitsmodel: versie LWKM1.2*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3148. 74 blz.; 22 fig.; 23 tab.; 32 ref.

De stuurgroep Nationaal Water Model heeft de opdracht gegeven voor het ontwikkelen van een landelijk Waterkwaliteitsmodel Nutriënten. Dit landelijk Waterkwaliteitsmodel (LWKM) is gebaseerd op de recentste data, gebruikt de resultaten van het Landelijk hydrologisch Model (LHM) en bouwt waar mogelijk voort op of maakt gebruik van onderdelen van eerdere modelinstrumenten als STONE en het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM). Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van LWKM1.2, waarin aanpassingen en verbeteringen zijn toegepast t.o.v. van eerdere versies van het LKWM (LWKM1.0 en LWKM1.1), die zijn toegepast voor respectievelijk de Nationale Analyse Waterkwaliteit en het aanleveren van emissiecijfers voor de Emissieregistratie 2019 en 2020.

Trefwoorden: Landelijk WaterKwaliteitsModel, LWKM, waterkwaliteit, waterkwaliteitsmodel, waterkwaliteitsinstrumentarium, waterkwaliteits-modellering, nutriënten, ANIMO, MT3DMS, KRW-Verkenner, Landelijk Hydrologisch Model, LHM, Nationaal Water Model, NWM, STONE

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/566236> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

---

# Inhoud

<b>Verantwoording</b>	<b>5</b>
<b>Woord vooraf</b>	<b>7</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>13</b>
<b>2 Uitsluiten van modelartefacten als oorzaken van trends</b>	<b>14</b>
2.1 Verbeteren initialisatie bodemvoorraden	14
2.2 Verbeteren parameters gewasopname	15
2.3 Andere werkwijze voor elimineren weerseffecten	15
2.4 Aanvullende analyses	16
<b>3 Corrigeren van weinig plausibele hydrologische resultaten</b>	<b>17</b>
3.1 Vervangen resultaten hydrologisch extreme HRU's	17
3.2 Opvullen uitgesloten SVAT's met hoofdwaterlopen	19
<b>4 Integrale analyse van de rekenresultaten</b>	<b>22</b>
4.1 Effect van de aangepaste HRU's	23
4.2 Effecten van uitgesloten artefacten op trends	24
4.2.1 Aanpassen gewasparameters	25
4.2.2 Uitsluiten van de variatie in weer	25
4.2.3 Analyse resterende trends	26
4.2.4 Emissie van nutriënten	28
4.3 Plausibiliteit en toepassingsbereik	29
4.3.1 Vergelijking met eerdere LWKM-versies	30
4.3.2 Toepassingsbereik	31
4.3.3 Effecten van maatregelen	32
<b>5 Emissies uit natuurgronden</b>	<b>33</b>
5.1 Gebiedsindeling	33
5.2 Mogelijkheden om te toetsen	37
5.2.1 Metingen bodemvocht en grondwater	37
5.2.2 Metingen oppervlaktewater	39
5.2.3 Toetsen en gebiedsindeling	40
5.3 Plausibiliteit emissies natuur in LWKM1.2	41
5.4 Emissies LWKM1.2 voor de ER	41
<b>6 Nieuwe fosfaatindicatoren</b>	<b>42</b>
6.1 Gecombineerde fosfaatparameters	42
6.2 Relatie met het Pw-getal	43
6.3 Gevolgen voor het LWKM	44
<b>7 Aanpassingen KRW-Verkenner</b>	<b>45</b>
7.1 RWZI-vrachten	46
7.1.1 Benadering via afvoer RWZI's	46
7.1.2 Benadering via aanvoer naar RWZI's	49
7.1.3 Conclusies	50
7.2 Foutief stoftransport via verdamping	51
7.2.1 Aanleiding	51
7.2.2 Testen van de gecorrigeerde verdampingsflux	51
7.2.3 Voorlopige conclusies	56

---

7.3	Nieuwe emissies uit de bodem	57
7.3.1	Veranderingen in de emissies uit de bodem	57
7.3.2	Doelbereik	60
7.3.3	Conclusies	60
7.4	Waterlichamen en afwateringseenheden	61
7.4.1	Afwateringseenheden EmissieRegistratie	61
7.4.2	Aanpassingen KRW-oppervlaktewaterlichamen	62
7.4.3	Conclusies	63
<b>8</b>	<b>Conclusies en discussie</b>	<b>64</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>67</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Hydrologisch extreme HRU's</b>	<b>69</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Gebiedsindelingen</b>	<b>72</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Details testen KRW-verkenner</b>	<b>73</b>

---

# Verantwoording

Rapport: 3148

Projectnummer: 5200046884

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

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker bodem en nutriënten

naam: Laura Timmermans

datum: december 2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert-Jan Reinds

datum: januari 2022





---

# Woord vooraf

Uit de analyse van de plausibiliteit van het Landelijk WaterKwaliteitsModel (LWKM) (Van der Bolt et al, 2020; Groenendijk et al., 2020) blijkt dat een groot deel van het toepassingsbereik van het LWKM wordt beperkt door de gebruikte hydrologie van het Landelijk Hydrologisch model (LHM3.5.1). Deze beperking geldt voor de resultaten van alle versies van het LWKM die zijn gebaseerd op de informatie uit LHM3.5.1 (LWKM1.0 en LWKM1.1). Voor de hoge zandgronden, en met name in het zuidelijke zandgebied, worden te diepe grondwaterstanden en te lage waterafvoeren berekend.

Eind 2019 is een nieuwe versie van het LHM beschikbaar gekomen (Hunink et al., 2020). In 2020 en 2021 worden nog enkele verbeterlagen aangebracht. (LHM4.x, in prep.). Gezien de geconstateerde tekortkomingen in LWKM1.0 willen zowel de modelontwikkelaars als de opdrachtgevers een volgende versie van het LWKM baseren op de nieuwe hydrologische informatie uit LHM4.x. De ervaring heeft echter geleerd dat het opbouwen van een nieuwe versie van het LWKM op basis van sterk veranderde, nieuwe hydrologische informatie een stevige en zorgvuldige investering vergt.

Vooruitlopend op een dergelijke ontwikkeling hebben de opdrachtgevers daarom gevraagd een aantal verbeteracties, zoals benoemd door Groenendijk et al. (2020) en Van der Bolt et al. (2020), te realiseren om op 31 december 2020 een operationeel LWKM (LWKM1.2) gereed te hebben dat nog steeds is gebaseerd is op de hydrologie van LHM3.5. A priori is besloten dat LWKM1.2 niet opnieuw zal worden gekalibreerd en dat wordt volstaan met een aanvullende analyse van het toepassingsbereik, omdat:

- De brongegevens voor kalibratie een duidelijke spreiding aangeven en de verwachte verbeteringen van LWKM1.2 beperkt zullen zijn (en binnen de spreiding zullen vallen).
- Verwacht wordt dat de veranderingen op de schaal van de gebieden voor de beoogde beleidstoepassingen niet groot zullen zijn.
- De verbeteracties gezien worden als een update van een toepassingsversie en niet als een upgrade van een ontwikkelversie.

Dit rapport vormt een aanvulling op Van der Bolt et al. (2020). De basisinformatie met betrekking tot het LWKM is in dat rapport vastgelegd.



---

# Samenvatting

## **Aanleiding**

Uit de analyse van de plausibiliteit van het Landelijk Waterkwaliteitsmodel (Van der Bolt et al., 2020; Groenendijk et al., 2020) blijkt dat een groot deel van het toepassingsbereik van het LWKM wordt beperkt door de gebruikte hydrologie van LHM3.5.1. Deze beperking geldt voor de resultaten van alle versies van het LWKM die zijn gebaseerd op de informatie uit LHM3.5.1 (LWKM1.0 en LWKM1.1). Voor de hoge zandgronden, en met name in het zuidelijke zandgebied, worden te diepe grondwaterstanden en te lage waterafvoeren berekend. Gezien de geconstateerde tekortkomingen in LWKM1.0 willen zowel de modelontwikkelaars als de opdrachtgevers een volgende versie van het LWKM baseren op de nieuwe hydrologische informatie. Vooruitlopend op een dergelijke ontwikkeling hebben de opdrachtgevers gevraagd een aantal verbeteracties, zoals benoemd door Groenendijk et al. (2020) en Van der Bolt et al. (2020), te realiseren in een operationeel LWKM1.2 dat nog steeds is gebaseerd is op de hydrologie van LHM3.5. A priori is besloten dat LWKM1.2 niet opnieuw zal worden gekalibreerd en dat wordt volstaan met een aanvullende analyse van het toepassingsbereik.

## **Corrigeren weinig plausibele hydrologische resultaten**

Voor de totstandkoming van LWKM1.2 zijn verbeteracties uitgevoerd die leiden tot robuustere resultaten voor de beoogde beleidstoepassingen in 2021. De grootste verandering is gerealiseerd door het corrigeren van hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten. Het aanvullen van de eerder niet meegenomen rekeneenheden heeft een aanvullend effect.

De tekortkomingen in de hydrologische modelresultaten van LHM3.5.1, die de basis vormen voor de waterkwaliteitsmodellering, zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet opgelost: door het uitfilteren van extreme hydrologische waarden en het vervangen van eerder uitgesloten rekeneenheden is geprobeerd de beperkingen enigszins te verkleinen; de beperkingen in de toepasbaarheid van de resultaten ten aanzien van de ruimtelijke schaal zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet opgeheven.

Het corrigeren van de weinig plausibele hydrologische resultaten resulteren ten opzichte van LWKM1.0 en LWKM1.1 op landelijk niveau (alle landbouw- en natuurgronden) in een geringe afname (-1,2%) van de berekende nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en in een kleine toename (3%) van de N- en P-emissies naar het oppervlaktewater. Op het niveau van het hoofdgrondsoortgebied van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM-hoofdgrondsoortgebieden) zijn er ook gebieden waar de nitraatconcentraties gering toenemen en gebieden waar een kleine afname van de N- en P-emissies naar het oppervlaktewater wordt berekend.

## **Uitsluiten van trends in modelresultaten door modelartefacten**

De gevolgde werkwijze van/in het corrigeren van hydrologisch weinig plausibele resultaten resulteert in wijzigingen in de grondwaterstanden en afvoeren die in beperkte mate doorwerken in de concentraties en emissies van nutriënten. De trends in grondwaterstanden in de periode 1981-2019 worden echter niet volledig ongedaan gemaakt. Dat deze trends het gevolg zijn van modelartefacten kan door de uitgevoerde controles worden uitgesloten. De implementatie in de modelcode is voor het huidige toepassingsbereik correct bevonden. Dat is uitermate belangrijk omdat daardoor, en door het uitsluiten van de effecten van variatie in het weer, berekende na-ijleffecten wel kunnen worden gebruikt, waardoor de effectiviteit van maatregelen en het doelbereik beter kunnen worden bepaald. Bij sterk veranderende invoergegevens (bv. de mestgiften) zullen opnieuw het toepassingsbereik en de trends moeten worden gecontroleerd.

Het corrigeren voor de effecten van weer maakt dat de effecten van maatregelen beter zichtbaar worden. De hydrologische modelinvoer blijkt voor een aantal rekeneenheden tijdelijke trends te veroorzaken.

De analyse heeft nieuwe oorzaken van het ontstaan van trends in weersonafhankelijk berekende grondwaterstanden geïdentificeerd die samen blijken te hangen met de hydrologische modellering.

---

Om deze trends in de hydrologische resultaten uit te sluiten, is het noodzakelijk om 1) in een volgende versie van het LWKM met een langere aanlooperperiode te rekenen, 2) het wettelijk verplichte vanggewas in de kalibratie mee te nemen en 3) alle rekeneenheden te kalibreren (waarbij de kalibratiecriteria indien nodig zullen moeten worden aangescherpt).

Mogelijk kunnen ook de gehanteerde criteria voor het uitsluiten van hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten nog worden aangescherpt, maar eerst zullen de andere oorzaken van het ontstaan van de trends moeten worden uitgesloten.

### **Onderscheiden emissies landbouw en natuur**

Om de rekenresultaten voor natuur te kunnen toetsen, zijn metingen beschikbaar van bodemvochtconcentraties in de wortelzone en van concentraties in het bovenste grondwater. Ook zullen concentraties in het oppervlaktewater beschikbaar moeten komen. Vergelijking met metingen van de concentraties in het bodemvocht vraagt om het wegschrijven en vergelijken van andere modelresultaten dan tot nu toe zijn gebruikt. Op basis van de beschikbare metingen moet worden verkend welke gebiedsindeling bij de toetsing aan concentraties in het oppervlaktewater kan worden gehanteerd (cf. LMM). Een gebiedsindeling op basis van landschappen en mogelijk een verdere uitsplitsing naar typen natuur, hoofdgrondsoorten en droogteklassen ligt daarbij voor de hand. Datzelfde geldt voor de metingen in het grondwater, waarbij ook het gebruik van een indeling in geohydrotypen kan worden overwogen. Om de berekende emissies uit natuur naar het oppervlaktewater indicatief te kunnen toetsen, is het nodig met de regionale water- en natuurbeheerders betrouwbare meetpunten te selecteren waarvan het water voornamelijk uit bodems met natuur afkomstig is.

Om de emissies per KRW-afwateringseenheid (de Emissieregistratie (ER) gebruikt 'GAF90-eenheden') te bepalen voor LWKM1.2, is pragmatisch gezocht naar een gebiedsindeling voor clusteren van de emissies uit natuurbodems met een vergelijkbare theoretische betrouwbaarheid als de gebiedsindeling voor landbouwbodems. Dit resulteert in een indeling in 166 deelgebieden voor natuur waarvoor de ruimtelijke patronen plausibel worden geacht.

Voor berekening van de gebiedsgemiddelde uitspoelvrachten per GAF-gebied is de voor LWKM1.1 geformaliseerde werkwijze ongewijzigd toegepast. De gesplitste arealen landbouw en natuur zijn gelijk aan de eerder aan ER geleverde totalen landbouw en natuur. De emissies zijn door de gerealiseerde correcties echter gewijzigd en ook kunnen de andere gebiedsindelingen voor de emissies landbouw en de emissies natuur tot kleine herverdelingen leiden in gebieden met weinig rekeneenheden (Hydrological Response Units (HRU's) met natuur als landgebruik (de zogenaamde Natuur-HRU's). Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat met de theoretische benadering van de indeling in gebieden de plausibiliteit van de resultaten voor natuur voldoende wordt geborgd. Nader onderzoek is echter noodzakelijk om deze aanname te toetsen.

### **Nieuwe P-indicatoren**

Voor de karakterisering van de fosfaattoestand worden vanaf 2021 het P-AL-getal en het P-CaCl<sub>2</sub>-getal in combinatie gebruikt. Om de effecten van landbouwkundige maatregelen na 2020 te kunnen evalueren, is verkend hoe het model ANIMO naast de huidige indicatoren ook met deze nieuwe indicatoren kan werken. Doordat de onder- en bovengrens van de voorgestelde nieuwe fosfaatwaardingsklassen dichtbij elkaar liggen, neemt de gevoeligheid toe. Dit resulteert modelmatig in een minder robuust systeem, de smallere klassen maken het moeilijker om de fosfaatklassen correct te voorspellen. Voor de modeltoepassing betekent dit dat:

1. De invoergegevens bij voorkeur zo gedetailleerd mogelijk moeten worden bepaald i.e. dat idealiter perceelmetingen worden gebruikt.
2. Voor het toepassen van de rekenresultaten een minder gedetailleerde ruimtelijke indeling moet worden gehanteerd.

---

## Plausibiliteit en toepassingsbereik emissieberekeningen

Ten opzichte van LWKM1.0 en LWKM1.1 resulteren het uitsluiten van modelartefacten, het vervangen van de hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten, het aanvullen tot het volledige areaal landbouw- en natuurgronden en de resterende onvolkomenheden in de hydrologische modelinvoer voor de voor weerseffecten gecorrigeerde rekenresultaten van LWKM1.2 in:

- Kleinere trends in grondwaterstanden en vrijwel constante afvoeren naar het oppervlaktewater.
- Veelal ondiepere grondwaterstanden die resulteren op landelijk niveau in een kleine afname van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en in een kleine toename van de stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater. Op het niveau van de LMM-hoofdgrondsoortgebieden zijn er ook gebieden waarin de nitraatconcentraties iets toenemen en de stikstof- en fosforvrachten juist afnemen.
- Beperkte effecten voor de minder gedetailleerde gebiedsindelingen (deelstroomgebieden, waterschappen) als gevolg van het opschalen van lokaal grotere veranderingen. Dit effect is schaalafhankelijk.

De beperkingen in de toepasbaarheid van de resultaten ten aanzien van de ruimtelijke schaal zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet opgeheven: lokale weinig plausibele extremen in de waterhuishouding zijn gecorrigeerd, maar door gebruik van dezelfde hydrologie zijn de geconstateerde tekortkomingen in de waterhuishouding niet opgelost. De conclusies ten aanzien van de plausibiliteit van LWKM1.0 en 1.1 (Van der Bolt et al., 2020) blijven onveranderd voor LWKM1.2 van toepassing. Ook blijven de conclusies van Groenendijk et al. (2020) over het toepassingsbereik voor LWKM1.2 onveranderd van toepassing. De met LWKM1.2 berekende nitraatconcentraties in grondwater, de N- en P-vrachten door uit- en afspoeling en de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater kunnen alleen in opgeschaalde vorm voor grotere gebieden (deelstroomgebieden en waterschappen) als plausibel worden beschouwd. Vergelijken van resultaten van rekenvarianten kan op het niveau van waterlichaamgebieden. De betrouwbaarheid van de resultaten verschilt tussen de waterlichaamgebieden.

## Aanpassingen KRW-Verkenner

Herverdelen van de stikstof- en fosforvrachten vanuit de RWZI-gegevens naar kwartaalbasis leidt voor fosfor tot een beperkte verandering in vrachten in vergelijking met een gelijke verdeling van de jaarvracht over de kwartalen, voor stikstof wordt in het eerste kwartaal wel een duidelijk grotere vracht berekend. De verschillen tussen individuele RWZI's kunnen voor zowel stikstof als fosfor groot zijn, en ook worden grote verschillen tussen jaren berekend die waarschijnlijk het gevolg zijn van verschillen in de hoeveelheid neerslag. Een ruwe analyse van de aanvoer van vrachten naar de RWZI laat zien dat nauwelijks een verschil in kwartalen mag worden verwacht. Daarom wordt de evenredige verdeling van de RWZI-effluentvrachten over het jaar aangehouden.

Tijdens de berekeningen voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit in 2019/2020 bleek dat het effect van verdamping op de stofconcentraties in het oppervlaktewater niet correct in de KRW-Verkenner was ingebouwd. Dit is inmiddels hersteld en de verbetering is meegenomen in de nieuwe release van de KRW-Verkenner (versie 2.4.1) in april 2021. Bij het oplossen van dit probleem werden echter in achterliggende modules ook een paar problemen geconstateerd. Dit speelt niet voor de KRW-verkenner zoals die via de website voor gebruikers beschikbaar is, maar vergt wel aandacht. De nadere analyse is opgenomen in de lijst met acties vanuit het beheer en onderhoud voor de KRW-Verkenner (KPP-project WN02).

De KRW-verkenner is ingezet om de effecten van de wijzigingen in de met het LWKM berekende belasting van oppervlaktewater in beeld te brengen. De nieuw berekende emissies als gevolg van uit- en afspoeling uit landbouw en natuurgronden zijn voor totaalstikstof uit de bodem 4 tot 5% en voor totaalfosfor 1 tot 2% hoger dan de voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (NAW) berekende emissies. De toename van de stikstofemissies is met name zichtbaar in Oost- en Zuid-Nederland en voor fosfor met name in Noord- en Zuid-Nederland. Deze toename is groter in het winterhalfjaar dan in het zomerhalfjaar, waardoor het effect op de zomerconcentraties en het doelbereik beperkt is: de verschuiving van het aantal waterlichamen in de verschillende klassen is niet groter dan 1%. De verschillen komen alleen voor in regionale wateren.



---

# 1 Inleiding

## **Aanleiding**

Uit de analyse van de plausibiliteit van het Landelijk Waterkwaliteitsmodel (LWKM) (Van der Bolt et al., 2020; Groenendijk et al., 2020) blijkt dat een groot deel van het toepassingsbereik van het LWKM wordt beperkt door de gebruikte hydrologie van het Landelijk Hydrologisch model (LHM3.5.1). Gezien de geconstateerde tekortkomingen in LWKM1.0 willen zowel de modelontwikkelaars als de opdrachtgevers een volgende versie van het LWKM baseren op de nieuwe hydrologische informatie uit een nieuwe versie van het LHM4. De ervaring heeft echter geleerd dat het opbouwen van een nieuwe versie van het LWKM op basis van sterk veranderde, nieuwe hydrologische informatie een stevige en zorgvuldige investering vergt. Vooruitlopend op een dergelijke ontwikkeling hebben de opdrachtgevers daarom gevraagd een aantal verbeteracties, zoals benoemd door Groenendijk et al. (2020) en Van der Bolt et al. (2020), te realiseren om op 31 december 2020 een operationeel LWKM (LWKM1.2) gereed te hebben dat nog steeds is gebaseerd is op de hydrologie van LHM3.5.

In dit rapport zijn de aanpassingen/verbeteringen beschreven die zijn uitgevoerd en zijn opgenomen in een nieuwe operationele versie van het LWKM (LWKM1.2) Dit rapport vormt een aanvulling op Van der Bolt et al. (2020). De basisinformatie met betrekking tot het LWKM is in dat rapport vastgelegd.

## **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 zijn de verbeteringen beschreven die zijn doorgevoerd om modelartefacten als oorzaken van de trends uit te sluiten. Hierbij wordt gekeken naar het verbeteren van de initialisatie van de bodemvoorraden, het verbeteren van de parameters voor gewasopname en een andere werkwijze voor het elimineren van weereffecten. In hoofdstuk 3 wordt de methodiek beschreven om rekenresultaten met weinig realistische waarden voor agro-hydrologische omstandigheden te vervangen en het opvullen van rekeneenheden die in LWKM1.0 en LWKM1.1 niet zijn meegenomen. De effecten van het uitsluiten van de mogelijke modelartefacten (hoofdstuk 2) en het corrigeren van weinig plausibele hydrologische resultaten (hoofdstuk 3) worden verkend in een integrale analyse (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 wordt verkend in hoeverre het mogelijk is om voor de Emissieregistratie de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater uit te splitsten naar landbouw- en natuurgronden. In hoofdstuk 6 wordt kort ingegaan op de nieuwe fosfaat-indicatoren die vanaf januari 2020 onderdeel worden van de mestwetgeving en in hoofdstuk 7 is een overzicht gegeven van de aanpassingen/analyse die zijn uitgevoerd in het kader van de KRW-verkenner. De conclusies en discussie zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

---

## 2 Uitsluiten van modelartefacten als oorzaken van trends

Bij de analyses van de resultaten van LWKM1.0 (Van der Bolt et al., 2020) is geconstateerd dat de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor en de nitraatconcentraties trends vertonen die niet direct te begrijpen zijn. Bij de analyse van het toepassingsbereik van de resultaten (Groenendijk et al., 2020) is geconstateerd dat ook in de berekening van gewasopname en N- en P-overschotten op de bodembalans trends voorkomen in situaties waarin een stabiele toestand werd verwacht. Een nadere analyse bracht aan het licht dat deze trends verschillende oorzaken kunnen hebben en dat de richting van de trends niet altijd eenduidig is. Enkele mogelijke oorzaken bleken te herleiden tot modelartefacten als gevolg van het feit dat het model nog niet helemaal goed was ingeregeld. Het is wenselijk om trends die het gevolg zijn van modelartefacten uit te sluiten om zicht te krijgen op de reële trends die optreden als gevolg van (beleids)maatregelen en/of na-ijling van bodemprocessen.

De modelartefacten als oorzaken van trends worden uitgesloten door het verbeteren van:

- De initialisatieprocedure waarin de verdeling van organische stof, stikstof en fosfor over de verschillende bodempools en over de verschillende bodemlagen wordt vastgesteld.
- De parameters voor de gewasopname, door deze aan te laten sluiten op de nieuw gebruikte bodeminformatie.
- De werkwijze om via 30x30-jarige modelruns de weersvariatie uit te sluiten.

De effecten van het uitsluiten van de mogelijke modelartefacten worden verkend in de integrale analyse (hoofdstuk 4).

### 2.1 Verbeteren initialisatie bodemvoorraden

Bij het samenstellen van het LWKM-model is voor het organischestofgehalte in de bodem de informatie van de bodemkaart 1:50 000 (1980) leidend geweest tot een diepte van 1,2 m. Voor de organischestofgehalten en de pH-waarden dieper dan 1,2 m is geochemische informatie gebruikt, zoals deze ook in het MT3DMS-model (Janssen et al., 2018) is verwerkt. De chemische aspecten van de bodemkaart en de geochemische kaart voor het permanent verzadigde grondwater in het LWKM-model zijn nog niet op elkaar afgestemd. Hierdoor komen in het LWKM-model situaties voor met een relatief laag organischestofgehalte in de bovengrond en een hoog gehalte in lagen dieper dan 1,2 m, waarin in de zomer extra N en P wordt gemobiliseerd door beluchting vanwege diepere grondwaterstanden. Voor het STONE-model is een 'verdiepte' bodemkaart vervaardigd waarin de gehalten van de bovenlaag wel zijn afgestemd op de gehalten in diepere lagen (Van Boekel, 2009).

Er is geanalyseerd of de beide datasets tot verschillende resultaten en/of tot andere trends leiden om mogelijke artefacten als gevolg van de schematisering van de organischestofgehalten en pH uit te kunnen sluiten. De resultaten van een serie verkennende berekeningen met verschillende lengtes van de initialisatieperiode, uitgevoerd met zowel de nieuwe bodeminformatie, de oude bodeminformatie uit het STONE-model en een combinatie hiervan, bevestigen de conclusie van Groenendijk et al. (2020) dat de organischestofgehalten en pH-waarden voor de lagen dieper dan 1,2 m een gering effect hebben op de berekende N- en P-belasting van oppervlaktewater in 2027 en derhalve geen verklaring voor de zichtbare trends vormen. Daarom is de schematisering van LWKM1.2 niet aangepast.

Het is raadzaam in een later stadium, wanneer de hydrologische modelinvoer is verbeterd, aandacht te besteden aan het laten aansluiten van de data van de bodemkaart en de geochemische data. Zeker wanneer in de toekomst meer en betere data van organische stof in de ondergrond verzameld gaan worden.

Ter voorbereiding is het nuttig de mogelijkheden voor deze aansluiting in het LWKM verder te analyseren. Hierdoor zullen het modelgedrag en het begrip van de modelresultaten verbeteren, waardoor de toepassingsmogelijkheden van het instrumentarium toenemen.



---

## 2.2 Verbeteren parameters gewasopname

De gewasopname wordt berekend met de modulen QUADMOT (Ten Berge et al., 2000) en MEBOT (Schreuder et al., 2008) van Plant Research. Deze modellen vragen om informatie over de bodemleverantie van stikstof, de hoeveelheid werkzame stikstof en fosfor in de aangewende mest en over de fosfaattoestand van de bodem uitgedrukt in het Pw- of het PAL-getal. Het Pw- of het PAL-getal zijn geen toestandsvariabelen in het ANIMO-model (Groenendijk et al., 2005) en daarom worden deze afgeleid voor verschillende groottes en samenstellingen van de bodemvoorraad. Voor de nieuwe in LWKM geïmplementeerde

bodemschematisering moeten de parameters voor deze relaties om de Pw- en PAL-waarden te schatten, opnieuw worden afgeleid. In LWKM1.0 is deze afleiding vanwege tijdsdruk achterwege gelaten. Om voor LWKM1.2 de trends in de gewasopname te elimineren, zijn de volgende twee aanpassingen doorgevoerd:

- Begrenzen van de PAL- en Pw-waarden in QUADMOT en MEBOT om de geconstateerde te grote ophoping van P tijdens de initialisatieperiode te verkleinen. Daartoe zijn PAL-waarden onder de 10 (grasland) en Pw-waarden onder de 15 (mais en bouwland) vervangen door deze beide minima. Omdat dit probleem tijdschaal afhankelijk is, moet op de langere termijn een structurelere oplossing worden gezocht.
- De ploegdiepte van bouwland is gewas-specifieker gemaakt (akkerbouw 25 cm in plaats van 20 cm). Daardoor sluit de schematisering beter aan bij de landbouwpraktijk.

In de deelstroomgebieden Rijn-Oost en Maas laat de P-belasting naar het oppervlaktewater alsnog een stijgende trend zien bij het hogere bemestingsniveau en een dalende trend bij het lagere bemestingsniveau. Deze trends hangen samen met het bemestingsniveau en niet met de gewasopname. De oorzaak van deze trends is op dit moment nog niet exact in beeld, maar zou kunnen samenhangen met de update van bodemparameters in de ANIMO-versie voor LWKM. Bij deze update zijn verschillende informatiebronnen gecombineerd, wat mogelijk discrepanties veroorzaakt. De geconstateerde van de mestgiften afhankelijke trends leiden ertoe dat het model op dit moment nog niet geschikt is voor de voorspelling van bodemvruchtbaarheidsparameters, zoals in een Evaluatie van de Mestwetgeving van belang is. Om dat mogelijk te maken, is het noodzakelijk de oorzaken van deze trends te elimineren.

## 2.3 Andere werkwijze voor elimineren weerseffecten

In de rekenmethode voor scenario's wordt de invloed van de uitspoeling door weersvariatie uitgesloten door dertig berekeningen uit te voeren voor een reeks van dertig jaar met steeds een ander meteorologisch startjaar.

Bij de totstandkoming van LWKM1.0 is, om de rekentijd en de opslagcapaciteit te minimaliseren, een methode bedacht waarin één hydrologische berekening wordt uitgevoerd voor één reeks van zestig jaar die is samengesteld door de periode 1981-2010 twee keer te herhalen. De dertig reeksen van dertig jaar voor de berekening van de uit- en afspoeling van nutriënten ontstaan door uit de hydrologische reeks van zestig jaar steeds het volgende jaar als startjaar te nemen. Bij deze werkwijze schuift de beginsituatie van de dertigjarige perioden steeds één jaar in de tijd, waarbij de volgorde tussen de jaren niet verschuift. Omdat het gemeten weer in de periode 1981-2010 trends blijkt te bevatten (o.a. meer neerslag, hogere temperaturen, grotere verdamping), leidt deze rekenwijze, waarbij de klimaatreeks wordt herhaald, tot een versterkte trend in de berekening van de voor het weereffect gecorrigeerde uit- en afspoeling door ANIMO.

Om een mogelijke systematische trend in het weer uit de reeks 1981-2010 te verwijderen, zou een bewerkelijke actie nodig zijn door of 1) de meetreeks te corrigeren voor de trend of/en door 2) de volgorde van de jaren in de dertig reeksen van dertig jaar random te bepalen.

De eerste vraagt veel werk en de tweede resulteert (tenzij er veel meer reeksen doorgerekend gaan worden) in variatie in de bandbreedte en dat maakt de interpretatie van de resultaten niet makkelijker. Omdat binnenkort de reeks 1991-2020 de nieuwe klimaatreeks gaat worden, zal op dat moment moeten worden bepaald of voor deze nieuwe klimaatreeks een aanpassing van de rekenwijze noodzakelijk zal blijken te zijn.

De voor LWKM1.2 gerealiseerde oplossing om de versterkende trend als gevolg van de rekenwijze te elimineren, is om de technisch efficiëntere rekenwijze te vervangen door de dertig reeksen van dertig jaar afzonderlijk te simuleren, waarbij wordt gestart vanuit dezelfde initiële situatie.

---

## 2.4 Aanvullende analyses

Een extra analyse om niet-reële trends op te sporen, zou zijn om voor de modelverificatie vanaf de initialisatie een lange periode met dezelfde mestgift door te rekenen waarbij de mestgift, de nalevering uit de bodem en de gewasopname ongeveer in evenwicht moeten zijn. Dat is door de onderlinge afhankelijkheden niet zo makkelijk te realiseren. Een alternatief zou kunnen zijn om de veranderingen in bodemvoorraden bij fosfaatevenwichtsbemesting te toetsen aan verwachte bandbreedtes:

- Bij fosfaatevenwichtsbemesting verwacht je voor P een stabiele bodemvoorraad; door het steeds dieper in de bodem doordringen van het fosfaatfront verwacht je hier (afhankelijke van de bodemvoorraad op kortere dan wel langere termijn) wel een trend in de uitspoeling als gevolg van de doorslag van fosfaat (zoals recent al gemeten in het LMM).
- Bij permanent grasland wordt bij fosfaatevenwichtsbemesting een toename van het gehalte OS van orde grootte  $20 \text{ kg jaar}^{-1}\text{ha}^{-1}$  verwacht, bij permanent maisland een afname van  $10 \text{ kg jaar}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

Met een dergelijke verificatie toon je aan dat het model 'zuiver' functioneert i.e. dat er geen trends ontstaan als het gevolg van modelartefacten. Het is derhalve nuttig om deze zwaardere toets in een latere fase uit te voeren, omdat daarmee kan worden aangetoond dat het model geschikt is om de effecten van veranderende mestgiften en/of landgebruik te simuleren. Dit laat onverlet dat de data van de bodem- en ondergrond de nauwkeurigheid en het toepassingsbereik bepalen.

De resultaten van de in de paragrafen 2.1, 2.2 en 2.3 beschreven correcties worden in hoofdstuk 4 beschreven.

---

## 3 Corrigeren van weinig plausibele hydrologische resultaten

In de analyse van het toepassingsbereik van de LWKM1.0 resultaten voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (Groenendijk et al., 2020) is geconstateerd dat er rekeneenheden (Hydrological Response Units, HRU's) voorkomen met landbouwkundig weinig realistische waarden voor de hoogste grondwaterstand (hoogste grondwaterstanden waarbij in de praktijk geen landbouw mogelijk is). Verder komen HRU's met extreem lage grondwaterstanden voor in gebieden waar deze hydrologisch niet worden verwacht. Daarnaast zijn er rekeneenheden met een extreme waarde voor de waterafvoer, veroorzaakt door zeer hoge kwelfluxen.

Deze HRU's met weinig realistische waarden voor agro-hydrologische variabelen beïnvloeden de resultaten ten aanzien van nitraat en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor. Een vervanging door het gebiedsgemiddelde, zoals in de analyse van het toepassingsbereik (Groenendijk, 2020) uitgevoerd door het areaal van de extreme HRU aan het areaal van de vervangende HRU toe te kennen, is onvoldoende robuust voor toekomstige beleidstoepassingen: met deze methode varieert de vervangende waarde voor deze rekeneenheden met de gekozen ruimtelijke schaal. Het is noodzakelijk een werkwijze te gebruiken die resultaten levert die voor alle gebiedsindelingen consistent zijn.

Bij het samenstellen van de HRU's voor de landelijke schematisering van LWKM1.0 zijn ruim 8000 rekeneenheden van het LHM met hoofdwaterlopen uitgesloten, omdat hieruit niet eenvoudig een voor het bodemprofiel relevante waterhuishouding kan worden afgeleid. Dit vooraf uitsluiten heeft ertoe geleid dat in deze landelijke schematisering het met ANIMO doorgerekende oppervlak kleiner is dan in het LHM, waardoor de waterbalans op het koppelingsvlak tussen MODFLOW en MetaSwap in deze landelijke schematisering niet altijd consistent is met het LHM. Voor de interpretatie van effecten van gesimuleerde maatregelen is het wenselijk om de verschillen in oppervlakten en waterbalanstermen zo klein mogelijk te maken. Het is daarom gewenst de uitgesloten LHM-rekeneenheden te verbinden met de meest overeenkomende HRU.

De effecten van het aanpassen van de HRU's worden verkend in de integrale analyse (hoofdstuk 4).

### 3.1 Vervangen resultaten hydrologisch extreme HRU's

Voor de verbeteringen in LWKM1.2 zijn rekeneenheden met landbouwkundig weinig realistische en/of hydrologisch extreme resultaten geselecteerd op basis van criteria (Tabel 3.1).

De resultaten per criterium zijn in kaartvorm toegevoegd in Bijlage 1. Het resultaat van de gecombineerde criteria staat in Figuur 3.1. Van de 28.533 HRU's (excl. de Waddeneilanden) worden op basis van de gehanteerde criteria de resultaten van 2.938 HRU's als weinig realistisch beoordeeld.

De niet-realistische resultaten van een HRU worden vervangen door de resultaten van de meest gelijkende HRU waarvan de hydrologie wel acceptabel is. Het is daarbij van belang om in verband met de toegekende mestgiften en ondergrondconcentraties zo veel mogelijk gebied specifiek te zoeken. Hierbij wordt gebruikgemaakt van de 239 die in het kader van het LWKM zijn gedefinieerd (Van der Bolt et al., 2019) en afgeleid zijn op basis van de CBS-gemeentekaart. Binnen een landbouwdeelgebied wordt de meest gelijkende HRU gezocht op basis van bodem, gewas en de GxG.

Daarbij is de randvoorwaarde gehanteerd dat minstens de helft van de HRU's met dezelfde bodemklasse en landgebruiksklasse binnen het betreffende landbouwdeelgebied als niet extreem wordt gekarakteriseerd. Met deze werkwijze wordt/is voor de meeste extreme HRU's binnen landbouwdeelgebieden een vervangende HRU gevonden.

**Tabel 3.1** Criteria voor het selecteren van hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten.

---

**Natte situaties gekarakteriseerd door gemiddeld hoogste grondwaterstand**

---

Grasland op laagveen: < 5 cm-mv

Grasland op andere grondsoorten: < 20 cm-mv

Mais op veen: < 20 cm-mv

Mais op andere grondsoorten: < 30 cm-mv

Akkerbouw: < 40 cm, met uitzondering van de boomteelt in Boskoop en omgeving

Bloembollen op zandgronden in westelijk zandgebied en centrale zeekleigebied: < 20 cm-mv

---

**Natte situaties gekarakteriseerd door hoge kwelflux**

---

Landbouw in de provincies Noord- en Zuid-Holland, Utrecht en Flevoland met een kwelflux > 4 mm/d. In de HRU-schematisering heeft dit alleen betrekking op twee HRU's in de Wieringermeer

Andere landbouwgronden: 2 mm/d

---

**Sub-infiltratie in de bodem vanuit het oppervlaktewater**

---

Sub-infiltratie gekarakteriseerd door wegzijging – netto neerslagoverschot > 50 mm jaar<sup>-1</sup>, met uitzondering van West-Nederland en Rivierengebied

---

**Droge situaties gekarakteriseerd door gemiddeld hoogste grondwaterstand**

---

Landbouw op zandgronden: > 500 cm met uitzondering van Hondsrug, Havelterberg, Montferland, Nijmegen, Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, de Meinweg, Zuid-Limburg en de Brabantse wal.

Landbouw op kleigronden: > 300 cm

Landbouw op veengronden in het laagveengebied van het westelijk veengebied en het noordelijk veengebied: > 150 cm

---



**Figuur 3.1** De locaties van uitgesloten (donkerblauw) HRU's. De achtergrond toont wel (lichtgroen) en niet (wit) in LWKM meegenomen SVAT's en de donkergrijze lijntjes geven de begrenzing aan van de landbouwdeelgebieden.

Voor de in totaal 298 HRU's waarvoor op deze manier geen vervangende HRU wordt geselecteerd (Tabel 3.2), is naar vervangende HRU's gezocht door de CBS-landbouwgebieden (in totaal 65) als zoekgebied te hanteren (figuur landbouwdeelgebied, zie Bijlage 2). De CBS-landbouwgebieden zijn groter dan de landbouwdeelgebieden die in het LWKM worden gehanteerd.

Hier is ook de randvoorwaarde gehanteerd dat minstens de helft van de HRU's binnen het betreffende CBS-landbouwdeelgebied in dezelfde bodemklasse en landgebruiksklasse als niet extreem zijn gekarakteriseerd.

Van de 298 HRU's waarvoor binnen de landbouwdeelgebieden geen vervangende HRU kon worden gevonden, wordt voor 247 HRU's een vervangende HRU gevonden binnen een CBS-landbouwgebied. Voor 51 HRU's is ook na deze stap geen vervangende HRU gevonden.

De volgende stap in het vergroten van de zoekgebieden waarbinnen gepoogd wordt een vervangende HRU te vinden, is om te zoeken binnen de 31 LEI-mestregio's. Deze indeling werd gehanteerd in de MAMBO-berekeningen (Kruseman et al., 2013) waarmee de mestverdelingen zijn berekend als invoer voor het STONE-model. De grenzen van de landbouwdeelgebieden komen niet altijd overeen met de grenzen van de LEI-regio's (Bijlage 2). Als een landbouwdeelgebied in meer LEI-regio's ligt, is dit landbouwgebied toegewezen aan de regio met het grootste areaal van dit landbouwdeelgebied. De randvoorwaarde is verruimd naar minimaal een derde van het aantal als niet extreem gekarakteriseerde HRU's met dezelfde grondsoort en landgebruiksklasse.

Op deze wijze worden er van de resterende 51, 35 toegewezen aan vervangende HRU's. Voor de overige 16 HRU's met extreme waarden zijn ook binnen de LEI-mestregio's geen vervangende HRU's te vinden. Deze zijn dermate uniek ten aanzien van gewas en grondsoort, dat deze niet zijn aangepast i.e. dat de weinig realistische lijkende resultaten van deze 16 HRU's worden geaccepteerd. Omdat het een klein aantal HRU's met een geringe totale oppervlakte betreft, hebben deze HRU's géén grote invloed op de gemiddelde resultaten per waterschap, waterlichaamgebied of landbouwdeelgebied.

**Tabel 3.2** Aantal HRU's per gewas-bodemcombinatie per zoekgebied waarvoor vervangende HRU's moeten worden gevonden.

Zoekgebied vervangende HRU	Akkerbouw				Gras				Mais				Totale opgave
	klei	loss	veen	zand	klei	loss	veen	zand	klei	loss	veen	zand	
Landbouwdeelgebied	40	3	36	37	62	1	5	7	42	4	12	49	298
CBS-landbouwgebied	4	3	16	4	0	1	0	4	7	3	5	4	51
LEI-mestregio	3	1	3	2		1		2		2		2	16

Voor de definitieve selectie van de vervangende HRU zijn aanvullende criteria gehanteerd om binnen de relevante ruimtelijke eenheid uit de HRU's die voldoen aan de gewas-bodemcombinatie de meest gelijkende HRU te selecteren. Dat gebeurt op basis van achtereenvolgens landbouwkundige (gewas), bodemkundige (bodemklasse) en hydrologische (GHG en GLG) eigenschappen.

Bij het op deze wijze vervangen van de HRU's met extreme waarden door toekennen van de resultaten van een vervangende HRU verandert de locatie van de HRU niet, blijft het gesommeerde areaal gelijk en wordt verwacht dat de waterbalans meer consistent zal zijn met die van LHM.

## 3.2 Opvullen uitgesloten SVAT's met hoofdwaterlopen

Bij de ruimtelijke eenheden van het LHM, versie 3.5 (Pouwels et al., 2018), zijn ANIMO-eenheden gedefinieerd. De LHM-rekencellen die het bodem-water-plant-atmosfeer-systeem beschrijven, heten in wetenschappelijk jargon 'soil(water)-vegetation-atmosphere transfers': SVAT's.

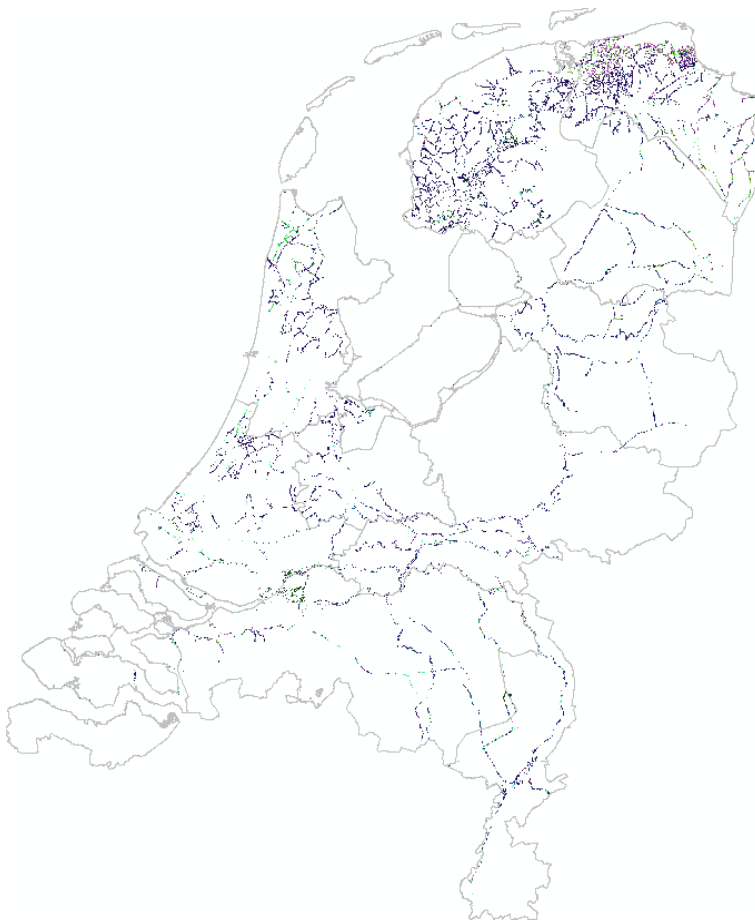
Animo rekent in LWKM1.0 alleen met SVAT's voor landbouw- en natuurgronden. Bij de realisatie van LWKM1.0 is er bewust voor gekozen om de landgebruikscategorieën Glastuinbouw, Zoet water, Stedelijk bebouwd gebied en Sportvelden niet in de schematisering voor Animo mee te nemen (Tabel 3.3). Van de 550.140 SVAT's in het LHM zijn 400.596 SVAT's in LWKM1.1 met ANIMO doorgerekend.

Ten opzichte van de LGN7-kaart komen 23.031 SVAT's niet voor in de LWKM-schematisering. Hiervan zijn 15.870 SVAT's met landbouw en 2.702 SVAT's met natuur uitgesloten in verband met de aanwezigheid van hoofdwaterlopen.

**Tabel 3.3** Aantallen SVAT's die in LWKM niet zijn gebruikt bij het definiëren van de HRU's.

Landgebruik	Uitgesloten SVAT's	Uitgesloten SVAT's met hoofdwaterlopen
Landbouw	16.654	15.870
Natuur	3.655	2,702
Stedelijk gebied	95.648	
Glastuinbouw	2.053	
Sportvelden	5.703	
Ander landgebruik	97	90
Zoet water	26.784	
Zout water	2.625	
Totaal	243.219	18.572

Het weglaten van SVAT's met hoofdwaterlopen uit de schematisering van LWKM 1.0 (Figuur 3.2) leidde met name in Noord- en West-Nederland tot problemen. In LWKM1.1 is dat gecorrigeerd door de arealen van gelijkende, in de buurt gelegen HRU's aan te passen om de totale arealen gelijk te houden. Daarmee werd de gemiddelde hydrologie van deze naastgelegen HRU's van toepassing op een groter areaal. Zoals in de vorige paragraaf uitgelegd, resulteert dit in een schaalafhankelijkheid bij opschalen en is het noodzakelijk ook hier een andere werkwijze te volgen.



**Figuur 3.2** In LWKM1.0 uitgesloten SVAT's door het niet-meenemen van hoofdwaterlopen in de schematisering.

---

Om de waterbalans meer in overeenstemming te brengen met het LHM, wordt voor LWKM1.2 op basis van landgebruik, bodemcode en de GHG en GLG voor iedere eerder uitgesloten 'missing' SVAT' met een hoofdwaterloop gezocht naar een meest gelijkende, vervangende HRU. Hierdoor wordt voor iedere SVAT met een hoofdwaterloop de hydrologie van de naastgelegen HRU uit LWKM1.1 vervangen door de HRU met de meest bijpassende hydrologie.

De in LGN beschikbare informatie is voor de indeling in landgebruiksklassen geclusterd. Voor LWKM2.0 zou de indeling in landgebruiksklassen gericht op het LWKM kunnen worden aangepast. Zo zou bijvoorbeeld stedelijk gebied kunnen worden onderscheiden in 'bebouwd/verhard' en 'stedelijk groen' om de emissies uit stedelijk gebied beter mee te kunnen nemen.

Het opvullen van 'missing' SVAT' met HRU's (in essentie het toekennen van de stroming van water door de bodemkolom van de meest gelijkende HRU zonder diep ingesneden hoofdwaterloop) resulteert effectief in een toename van de oppervlaktes van de HRU's waar de eerder uitgesloten missing SVAT's aan worden toegekend. Deze HRU's zullen daardoor zwaarder wegen bij de berekening van de gemiddelden per gebied en de berekende totale emissies per gebied kunnen toe- of afnemen.

Omdat de uitgesloten SVAT's met hoofdwaterlopen in grote delen van het land langs de rivieren liggen, zullen de effecten daar naar verwachting beperkt zijn. Grotere effecten worden verwacht in de gebieden met boezemsystemen (Figuur 3.2), met name in Noord-Nederland.

## 4 Integrale analyse van de rekenresultaten

Om de effecten van de modelaanpassingen te kunnen duiden en interpreteren, zijn diverse rekenvarianten (Tabel 4.1) uitgevoerd voor de periode 1981-2018. Deze rekenvarianten beschrijven zo veel mogelijk de effecten van de afzonderlijke aanpassingen.

**Tabel 4.1** Rekenvarianten met de gemeten variatie in het weer.

Naam	Omschrijving
SVAT	Via herhaalde berekening met MetaSWAP gereproduceerde uit LHM afkomstige SVAT's met grondgebruik landbouw en natuur voor de periode 1981-2018
REF_LWKM1.1	Simulaties met LWKM1.1 voor het gemeten weer van 1981 t/m 2015 (de referentie) met voorgeschiedenis 1971-1980
REF_LWKM 1.2_GP	Simulaties voor het gemeten weer van 1981 t/m 2018 met aanpassing van de minimale PAL- ( $\geq 10$ , gras) en Pw- ( $\geq 15$ , mais en akkerbouw) waarden voor de gewasopnamemodule (vooral effect in de initialisatie periode voor ANIMO 1951-1980, waardoor na 1981 geen onrealistische PAL- en Pw-waarden worden aangenomen in het model)
REF_LWKM1.2_HRU	Simulatie met ER2020 als basis voor de periode 1981-2018 waarbij hydrologisch weinig realistisch beoordeelde HRU's zijn vervangen
REF_LWKM1.2_SVAT	Simulatie met ER2020 als basis voor de periode 1981-2018 waarbij hydrologisch weinig realistisch beoordeelde HRU's zijn vervangen en waarbij ook de eerder niet meegenomen SVAT's met hoofdwaterlopen zijn toegekend aan HRU's met de meest vergelijkbare eigenschappen
Klimaatreeks_1981_2040	Simulaties ER2020_gecorrigeerde HRU's met werkelijk weer voor de klimaatreeks 1981-2010 gevolgd door een herhaling van dezelfde reeks na 2010. Bij de start in 2011 ontstaat een discontinuïteit wanneer er een trend is in de hydrologische berekeningen en voor de herhaalde klimaatreeks dezelfde hydrologische aanlooperperiode (de 10 voorafgaande jaren) wordt gebruikt

Naast deze berekeningen zijn berekeningen uitgevoerd om de variatie in het weer uit te filteren (Tabel 4.2). Deze berekeningen bestaan ieder uit een serie van dertig simulaties voor reeksen van dertig jaar die zijn samengesteld uit de klimaatreeks 1981-2010. Via een nabewerking zijn uit deze reeks simulaties statistische kentallen zoals het jaarlijks gemiddelde berekend.

**Tabel 4.2** Rekenvarianten (en de onderverdeling in resultaten voor één variant) met correctie voor de variatie in weer.

Nieuwe naam	Omschrijving
Weersonafhankelijk LWKM1.1	30x30 versie van REF_LWKM1.1 voor de periode 1981-2015 die weersonafhankelijk is gemaakt met realisaties uit een 60-jarige reeks voorafgegaan door een aanlooperperiode van de 10 voorafgaande jaren
Weersonafhankelijk LWKM1.2_HRU	30x30 versie van REF_LWKM1.2_HRU die weersonafhankelijk is gemaakt met realisaties uit 2 reeksen van 30 jaar die ieder worden voorafgegaan door een aanlooperperiode (initialisatie) van de 10 voorafgaande jaren
WO LWKM1.2_HRU_kalibratie n.v.t.	Resultaten REF_LWKM1.2_HRU die na de eerste berekening aan de kalibratiecriteria voldoen (en dus niet hoeven te worden gekalibreerd)
WO LWKM1.2_HRU_gekalibreerd	Resultaten REF_LWKM1.2_HRU die binnen 10 iteratieslagen aan de kalibratiecriteria voldoen. Dit is de som van de HRU's die niet hoeven te worden gekalibreerd en de HRU's die zijn gekalibreerd
WO LWKM1.2_HRU_niet gekalibreerd	Resultaten REF_LWKM1.2_HRU die na 11 iteratieslagen niet aan de kalibratiecriteria voldoen
Weersonafhankelijk LWKM1.2_SVAT	30x30 versie van resultaten REF_LWKM1.2_SVAT die weersonafhankelijk is gemaakt met realisaties uit 2 reeksen van 30 jaar die ieder worden voorafgegaan door een aanlooperperiode (initialisatie) van de 10 voorafgaande jaren (1 van de 30 uitgevoerde berekeningen is de Klimaatreeks_1981-2040)



Om het effect van de kalibratie op resultaten te evalueren, zijn drie extra rekenvarianten gedefinieerd. De kalibratie waar de indeling in varianten op is gebaseerd, is beschreven in Van der Bolt et al. (2020). Onderscheid is gemaakt in HRU's die géén kalibratie nodig hadden, HRU's die binnen tien iteraties in evenwicht kwamen, en HRU's die na elf iteraties nog niet aan de criteria voldeden. Het aantal van tien iteraties voor de kalibratie werd bepaald door de beschikbare doorlooptijd van het project.

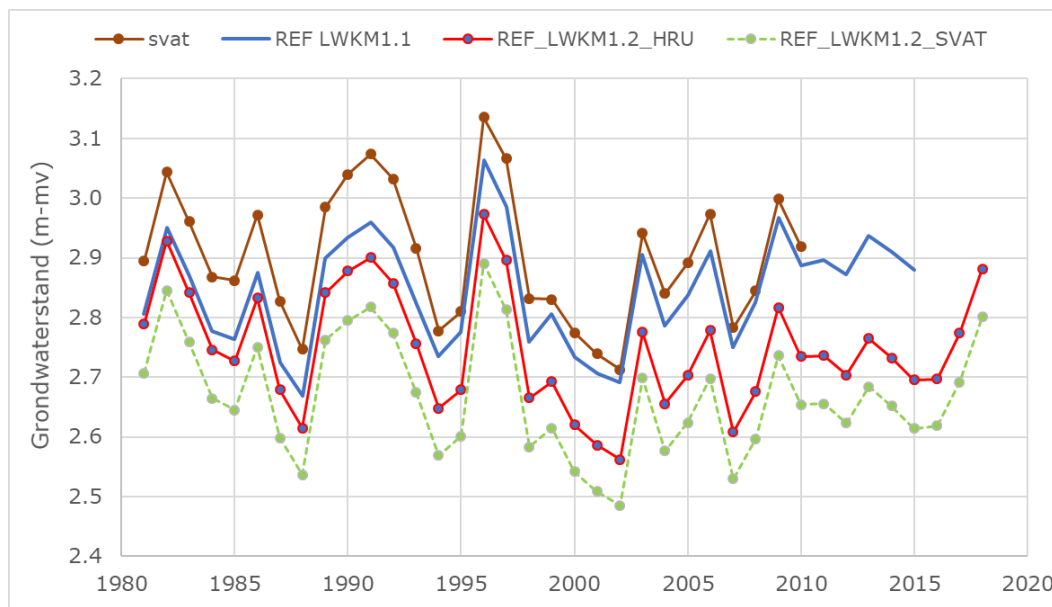
De effecten van het aanpassen van de HRU's en van de uitgesloten modelartefacten zijn met behulp van de rekenvarianten geanalyseerd voor (combinaties van) de LMM-grondsoortregio's, hoofdgewasgroepen, bodemklassen en Gt-klassen. Daarbij heeft de samenhang tussen de gerealiseerde verbeteringen, de resulterende veranderingen in de waterhuishouding en de effecten op de uitspoelconcentraties en emissies van nutriënten centraal gestaan. De plausibiliteit van de regionale doorwerking wordt geëvalueerd voor de ontwikkelingsdoelen, waarna mogelijke veranderingen in het toepassingsbereik worden gespecificeerd.

## 4.1 Effect van de aangepaste HRU's

Met het vervangen van de HRU's met extreme waarden, door het toekennen van de resultaten van een vervangende HRU, verandert de locatie van de betreffende HRU niet, blijft het areaal van deze HRU gelijk en wordt verwacht dat de waterbalans consistentere zal zijn met die van het LHM. De effecten zullen regionaal verschillen en worden bepaald door het areaal extreem beoordeelde HRU's en de grootte van de gerealiseerde correcties. Het opvullen van ontbrekende SVAT's met HRU's maakt dat de berekende totale emissies per gebied zullen toenemen. Omdat in LWKM1.1 een correctie op de arealen is uitgevoerd, zal dit effect niet groot zijn. Effecten worden verwacht in gebieden met boezemsystemen, met name in Noord-Nederland, omdat in LWKM1.0 veel van de uitgesloten SVAT's in dit gebied voorkomen (Figuur 2.2).

### Grondwaterstanden en afvoeren

Het effect van het vervangen van hydrologisch extreme HRU's en het opvullen van SVAT's met hoofdwaterlopen op de rekenresultaten is (weersafhankelijk) landelijk gemiddeld zichtbaar gemaakt in Figuur 4.1 voor de periode 1980-2018. De variatie als gevolg van het weer is in alle varianten op vergelijkbare wijze aanwezig.



**Figuur 4.1** Grondwaterstanden vanaf 1980 voor de SVAT's landbouw en natuur (SVAT), de met LWKM1.1 berekende grondwaterstanden met gemeten weerjaren 1981-2015 (REF\_LWKM1.1), de REF\_LWKM1.2 met gecorrigeerde HRU's (REF\_LWKM1.2\_HRU) en de REF\_LWKM1.2 met gecorrigeerde en aangevulde HRU's (REF\_LWKM1.2\_SVAT).

---

De (niet-gecorrigeerde) SVAT's hebben landelijk gemiddeld de diepste grondwaterstanden, de achtereenvolgens doorgevoerde bewerkingen resulteren in steeds ondiepere grondwaterstanden.

De doorgevoerde correcties resulteren in gemiddeld ondiepere grondwaterstanden en werken zoals verwacht, omdat geconstateerd is dat de resultaten van het LHM aan de droge kant zijn (Van der Bolt et al., 2019).

De grootste verandering wordt gerealiseerd door de correctie van de HRU's met hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten (REF\_LWKM1.2\_HRU). Het corrigeren van HRU's met diepere grondwaterstanden werkt hierbij sterker door dan het corrigeren van HRU's met ondiepere grondwaterstanden. Dit komt zowel door het aantal correcties (er zijn meer correcties voor HRU's met diepere grondwaterstanden) als door de grootte van de correcties (die voor de diepere grondwaterstanden groter zijn). Het aanvullen van de HRU's met de eerder niet meegenomen SVAT's (REF\_LWKM1.2\_SVAT) heeft, zoals mag worden verwacht, een aanvullend effect. Dit effect werkt in dezelfde richting, omdat hierdoor de arealen van nattere HRU's toenemen. De gerealiseerde verandering is het resultaat van uitsluiten van de HRU's met extreme waarden en in mindere mate van het opvullen van de missing SVAT's.

De correcties werken nauwelijks door op de afvoeren t.o.v. LWKM1.1 omdat 1) de correcties een beperkt areaal betreffen, 2) in LWKM1.1. ook al correctiecorrecties waren doorgevoerd en 3) er bij de met name gecorrigeerde diepe grondwaterstanden nauwelijks afvoeren zijn berekend.

### **Nitratconcentraties in het bovenste grondwater en stikstof- en fosforbelasting op het oppervlaktewater**

De uitgevoerde correcties in de hydrologische invoer resulteren voor de LMM-hoofdgrondsoortgebieden en het landelijk gemiddelde in verwaarloosbaar kleine veranderingen ( $< 2,3$  mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ) in de berekende concentraties nitraat in het bovenste grondwater. Op landelijke schaal is een lichte afname van de nitraatconcentraties berekend, mede als gevolg van ondiepere grondwaterstanden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat veranderingen in grondwaterstanden niet een-op-een doorwerken in de nitraatconcentraties, andere factoren spelen hierbij ook een rol. Voor een aantal gebieden is bijvoorbeeld een toename zichtbaar in nitraatconcentraties, omdat door de verandering in grondwaterstanden de GLG hoger wordt. De nitraatconcentraties (1m onder de GLG) worden dan bepaald op basis van een ander (minder diep gelegen) bodemcompartiment met grotere nitraatconcentraties. Daarnaast kan het verwijderen van HRU's met extreme hydrologische omstandigheden tot een toename leiden wanneer dit HRU's zijn met zeer lage nitraatconcentraties waardoor de gemiddelde nitraatconcentratie toeneemt. De emissies van stikstof uit de bodem naar het oppervlaktewater nemen veelal toe ( $< 1,3$  kg/ha) en ook de emissies van fosfor nemen iets toe ( $< 0,05$  kg/ha). Voor Zand-Midden en Zand-Zuid neemt de uitspoeling van fosfor af ( $< 0,08$  kg/ha). De veranderingen worden deels bepaald door de veranderingen in grondwaterstanden. Veranderingen in de waterhuishouding resulteren ook in verschuivingen in de fysische, chemische en biologische omzettingprocessen, waardoor de uitspoeling verandert.

De gevolgde werkwijze van lokaal corrigeren van hydrologisch weinig plausibele resultaten resulteert voor grotere gebieden in beperkte wijzigingen in de grondwaterstanden, heeft nauwelijks effect op de afvoeren en werkt in beperkte mate door in de concentraties in het bovenste grondwater en in de emissies van nutriënten naar het oppervlaktewater.

## **4.2 Effecten van uitgesloten artefacten op trends**

De organischestofgehalten van de ondergrond en de initialisatie van de bodemvoorraden zijn niet aangepast (paragraaf 2.1). De aanpassingen met effect op de gewasopname (paragraaf 2.2) kunnen zichtbaar zijn in de P-belasting op het oppervlaktewater in de deelstroomgebieden Rijn-Oost en Maas. De analyses zullen specifiek op deze gebieden worden gericht, maar niet zonder ook te kijken of er effecten in de overige gebieden optreden.

Het effect van de aanpassingen in de berekeningen om de variatie van weer te elimineren, is in eerste instantie geanalyseerd aan de hand van trends in grondwaterstanden, daarna is verkend hoe dit doorwerkt op de afvoeren naar het oppervlaktewatersysteem om vervolgens de effecten op de berekende concentraties in het grondwater en de emissies naar het oppervlaktewater te duiden.

#### 4.2.1 Aanpassen gewasparameters

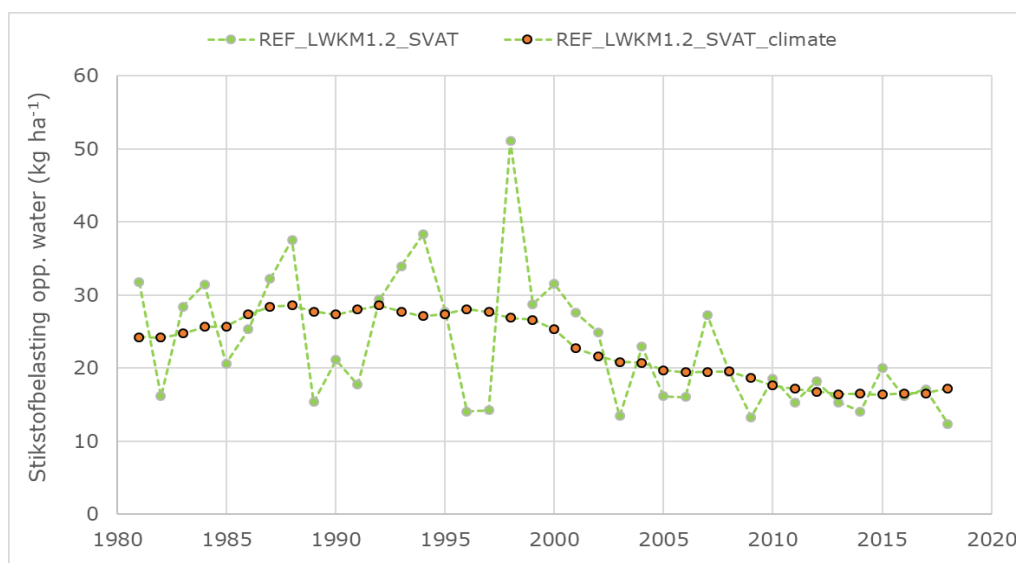
De aanpassingen in de gewasparameters (zie paragraaf 2.2) sturen de gewasopname en hebben geen effect op de hydrologie (de hydrologie vormt de invoer voor de berekeningen en er is geen terugkoppeling). Het aanpassen van de gewasparameters om de trends in de gewasopname te elimineren, resulteert in:

- Een kleine toename in de gewasopname op extra droge zandgronden na 2005 en een structurele toename in de gewasopname op droge en extra droge klei- en lössgronden. Deze stijging in de gewasopname wordt gerealiseerd in de akkerbouw. De gemiddelde gewasopname voor de regio's verandert nauwelijks.
- Het verloop van de gewasopname in de tijd verandert niet als gevolg van de gerealiseerde aanpassing. In de meeste gebieden is (zeker vanaf 1990) geen trend aanwezig. In de lössregio is er tot 2000 een positieve trend die daarna stabiliseert, in Zand-West lijkt de gewasopname voor 2000 structureel hoger dan na 2000 waarbij beide perioden geen trend lijken te hebben.
- Het aanpassen van de gewasparameters werkt nauwelijks door in de concentraties nitraat in het bodemvocht (lössgronden) en in de concentraties nitraat in het bovenste grondwater.
- De veranderingen in de uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater zijn dan ook minimaal.
- De uitspoeling van fosfor neemt iets toe in de lössregio. Veranderingen worden vooral gerealiseerd in extra droge zand en lössgronden. In de zandgebieden is de gemiddelde toename minimaal.

De gerealiseerde aanpassingen in de parameters voor de gewasopname werken nauwelijks door in de emissies van nutriënten naar het oppervlaktewater en hebben geen effect op het verloop van de uitspoeling in de tijd. Na 2000 wordt in geen enkele regio een trend gesimuleerd. Het effect van de gewasopname op trends in prognoses is daarmee niet waarschijnlijk; bij sterk veranderende mestgiften moet hierop worden gecontroleerd.

#### 4.2.2 Uitsluiten van de variatie in weer

Figuur 4.2 toont de berekende landelijk gemiddelde emissie van stikstof naar het oppervlaktewater voor zowel de gerealiseerde variatie in weer in de periode 1981-2018 als de voor weersinvloeden gecorrigeerde emissies. De variatie in de emissies als gevolg van toevallig weer is vervangen door een geleidelijk veranderend emissiepatroon dat sterk samenhangt met het patroon in mestgiften in dezelfde periode.



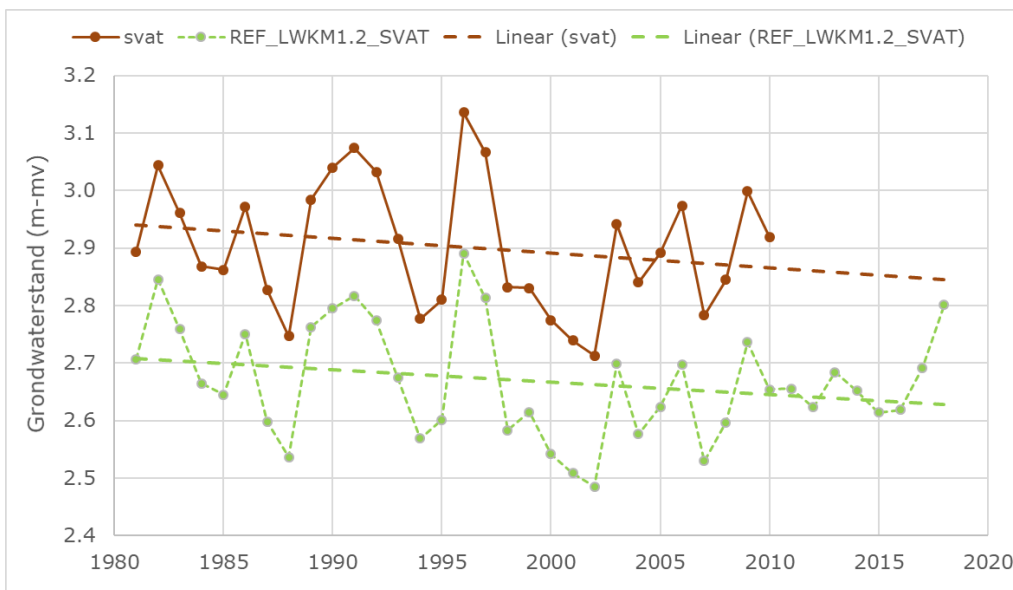
**Figuur 4.2** Door LWKM1.2 met werkelijke weergegevens berekende jaarlijkse, landelijk gemiddelde emissies stikstof uit de bodem naar het oppervlaktewater (kg ha<sup>-1</sup>) voor het landelijk gebied (landbouw- en natuurgronden, groene punten) en de bijbehorende weersafhankelijk berekende trend (oranje punten).

Het corrigeren van de effecten van weer is correct geïmplementeerd en leidt ertoe dat – zoals bedoeld – de variatie in rekenresultaten als gevolg van het weer afneemt.

### 4.2.3 Analyse resterende trends

Om te analyseren of er nog niet-verklaarbare trends resteren, zijn de *weersonafhankelijke* rekenresultaten van de verdamping, de grondwaterstanden en de afvoeren beschouwd. De weersonafhankelijk berekende verdamping blijkt geen trend te hebben.

De voor het weer in de periode 1981-2010 berekende *weersafhankelijke* grondwaterstanden hebben (Figuur 4.3) landelijk gemiddeld voor zowel de SVAT's als de HRU's een dalende trend (de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld neemt af, het wordt natter). Deze trends zijn (net als het verloop in de tijd) voor de SVAT's met zo'n 3 mm per jaar groter dan voor de dalende trend van zo'n 2 mm per jaar voor de gecorrigeerde HRU's. De voor de Nationale Analyse uitgevoerde, voor weereffecten gecorrigeerde rekenresultaten hebben een vergelijkbare trend (bijna 2 mm/jaar).



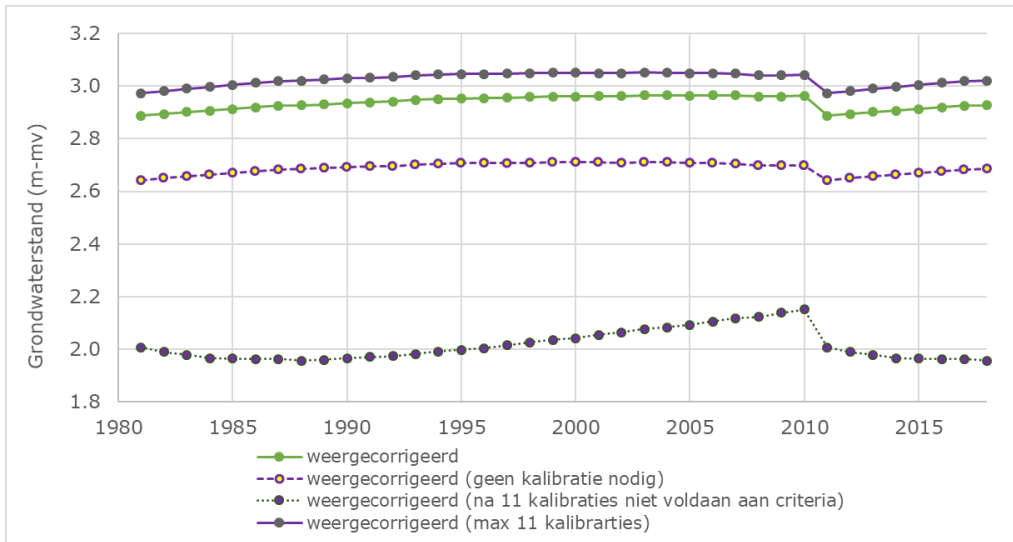
**Figuur 4.3** Door SVAT's en de LWKM1.2 berekende jaarlijkse, landelijk gemiddelde grondwaterstanden (m-mv) voor het landelijk gebied met bijbehorende lineaire trends.

Naast de trends is ook het effect van de variatie in het weer voor de SVAT's en de HRU's vergelijkbaar; de gemiddeld ondiepere grondwaterstanden van de HRU's zijn het resultaat van de gerealiseerde correcties voor SVAT's met hydrologisch weinig plausible resultaten (par. 4.1).

De voor weereffecten gecorrigeerde resultaten (waar de reeks 1981-2010 één realisatie van vormt) van de HRU's hebben in het begin een stijgende trend die geleidelijk afvlakt en de laatste tien tot vijftien jaar van de dertigjarige periode een nagenoeg constante waarde bereikt (Figuur 4.4). Dat laatste, het ontbreken van een trend, is wat met de gevolgde werkwijze voor grondwaterstanden wordt verwacht door het uitsluiten van weereffecten.

Om de oorzaak te vinden van de trend aan het begin van de beschouwde periode van dertig jaar, zijn de tussenresultaten van de voor LWKM1.0 uitgevoerde kalibratie (Figuur 3.4) beschouwd:

- HRU's die na één iteratie aan de kalibratiecriteria voldoen (en niet hoeven te worden gekalibreerd).
- HRU's die binnen de (door tijdgebrek) maximaal tien gerealiseerde iteratieslagen zijn gekalibreerd.
- HRU's die na de in totaal elf iteraties nog niet aan de kalibratiecriteria voldoen.



**Figuur 4.4** Landelijk gemiddelde, weersonafhankelijke grondwaterstanden van de HRU's waarvoor geen kalibratie nodig was, de HRU's die na kalibratie aan de criteria voldoen (elf iteraties), de HRU's die na tien iteraties nog niet gekalibreerd zijn, en het totale voor weer gecorrigeerde resultaat van alle HRU's.

Door het uitsluiten van hydrologische extreme waarden, het corrigeren van het areaal landbouw en natuur en het uitsluiten van modelartefacten wordt het volgende geconstateerd:

- De voor de LMM-grondsoortregio's, hoofdlandgebruiksgroepen, bodemklassen en/of Gt-klassen geconstateerde continue trends in grondwaterstanden van LWKM1.0 en LWKM1.1 in LWKM1.2 zijn veranderd in de voor verkenningen benodigde evenwichtssituaties tijdens de laatste periode van de dertigjarige reeks. In de eerste periode van deze reeksen is regelmatig een (niet-lineaire, geleidelijk afnemende) stijgende trend zichtbaar: de grondwaterstanden (m-mv) nemen toe, het wordt droger.
- De discontinuïteit in de trend wordt zichtbaar gemaakt door het gebruik van dezelfde initiële randvoorwaarden bij de overgang van 2010 naar 2011. Deze discontinuïteit maakt dat de trends worden onderbroken, waardoor deze trend naar de toekomst niet wordt versterkt. Wanneer er geen trend is, wordt ieder jaar hetzelfde voor weer gecorrigeerde resultaat berekend en zal er geen discontinuïteit zijn. Deze werkwijze maakt dat er, anders dan de Nationale Analyse, geen continu doorlopende trends zijn met steeds grotere effecten.
- De verschillende berekeningen hebben landelijk gemiddeld allemaal een geringe stijgende trend in de grondwaterstanden (m-mv) (leidend tot diepere grondwaterstanden, het wordt droger).
- Behalve voor de niet-gekalibreerde HRU's treden deze de eerste jaren uit de serie van dertig op en is in de tweede helft van de reeks van dertig jaar geen trend aanwezig. De trend die de eerste jaren zichtbaar is, wordt veroorzaakt doordat de aanlooperperiode van tien jaar te kort is. Het is noodzakelijk bij de berekeningen voor LWKM2.0 een voor de hydrologische berekeningen voldoende lange aanlooperperiode te hanteren.
- De gekalibreerde HRU's die maximaal elf iteraties nodig hadden, hebben gemiddeld diepere grondwaterstanden dan alleen de HRU's die geen kalibratie nodig hebben (één iteratie). De HRU's die na tien iteraties nog steeds niet aan de gestelde criteria voor kalibratie voldoen, hebben daarentegen gemiddeld veel ondiepere grondwaterstanden. In het gemiddelde van alle HRU's werken deze laatste nauwelijks door, omdat het aantal HRU's beperkt is, de gemiddelde grondwaterstanden van alle HRU's liggen dicht in de buurt van de HRU's die in maximaal elf iteraties aan de criteria voldoen. Landelijk gemiddeld worden de resultaten niet significant beïnvloed door de niet-gekalibreerde HRU's.
- De gronden met neutrale en natte Gt's hebben geen trend, de trend ontstaat als gevolg van de te korte aanlooperperiode op gronden met droge en met name de zeer droge Gt's. Dat maakt dat op kleigronden geen trend aanwezig is, op veengronden een kleine trend zichtbaar is, zandgronden een grotere trend hebben en dat lössgronden een grote jaarlijkse daling in grondwaterstanden laten zien.
- In Zand-Zuid, Veenweide-Noord, Rivierklei, Zeeklei-Centraal, Zeeklei-Noord en Zeeklei-Zuidwest blijkt hydrologisch een evenwichtssituatie te zijn gerealiseerd, er zijn géén trends in grondwaterstanden zichtbaar. Veenweide-West, Zand-Midden en Zand-Noord hebben een positieve trend in de gemiddelde grondwaterstanden (m-mv, de grondwaterstanden zakken in de loop van de tijd steeds dieper weg, het wordt droger).

- De voor weerseffecten gecorrigeerde berekende grondwaterstanden in gebieden met een positieve trend zijn terug te vinden in alle grondgebruiksvormen en zijn relatief het kleinst voor gras en natuur (gras zonder bemesting). Een grotere positieve trend treedt op bij akkerbouw en vooral mais. Een oorzaak ligt in het meenemen van groenbemesters (wettelijk verplicht sinds 2006) in de LWKM-berekeningen, waar deze in het LHM ontbreken. Het is noodzakelijk bij de berekeningen voor LWKM2.0 de groenbemesters mee te nemen in de kalibratie.
- De afvoeren van water veranderen landelijk gemiddeld in de loop van dertig jaar nauwelijks, maar schommelen rond een constante waarde waarbij de verschillen klein zijn. Er is een relatie met diepere grondwaterstanden en met de trends in grondwaterstanden.
- De niet-gekalibreerde HRU's vertonen altijd de grootste trend en werken door in de voor grotere gebieden gemiddelde trends. Om een trend in de voor weerseffecten gecorrigeerde resultaten van de grondwaterstanden volledig uit te sluiten, is het noodzakelijk alle rekeneenheden te kalibreren.

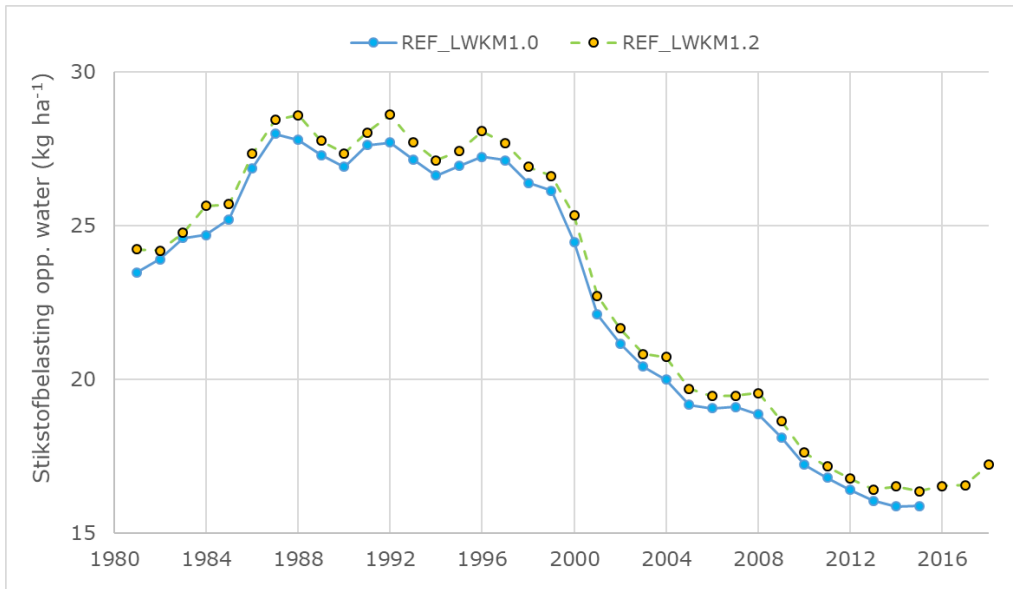
#### 4.2.4 Emissie van nutriënten

In de vorige paragraaf is het effect van het uitsluiten van hydrologisch extreme waarden, het corrigeren van het areaal landbouw en natuur en het uitsluiten van modelartefacten op de (trends in) grondwaterstanden weergegeven. De trends in grondwaterstanden werken door in de emissies van nutriënten, zowel in de concentraties in het bovenste grondwater als in de emissies naar het oppervlaktewater. Naast trends in grondwaterstanden worden de emissies van nutriënten ook bepaald door de mestgiften. Het zuiver uitsluiten van de aanwezigheid van trends op de emissies van nutriënten als gevolg van modelartefacten kan dan ook alleen via berekeningen met constante mestgiften, ook tijdens de (lange) initialisatieperiode.

De rekenresultaten voor LWKM1.2 zijn vergeleken met de rekenresultaten voor LWKM1.0 en LWKM1.1. De gerealiseerde ondiepere grondwaterstanden in LWKM1.2 resulteren ten opzichte van LWKM1.0 en LWKM1.1 op landelijk niveau in een kleine verandering in de berekende concentratie nitraat in het bovenste grondwater en in een kleine toename van de N- en P-emissies naar het oppervlaktewater. Wanneer ingezoomd wordt op regio's en/of landgebruik wordt zowel een toename als een afname van de stikstof- en fosforbelasting berekend. Hieronder wordt een aantal voorbeelden gegeven:

- De toename van de emissies van N en P naar het oppervlaktewater is relatief groot voor natuurgronden t.o.v. cultuurgronden.
- De berekende toename van de emissies stikstof naar het oppervlaktewater hangt minder samen met de grondwaterstanden en wordt in zowel de natte als de droge grondwaterklassen gerealiseerd.
- De toename van de emissie van P naar het oppervlaktewater neemt toe met ondiepere grondwaterstanden.
- Voor Zand-Midden en Zand-Zuid neemt de uitspoeling van fosfor af (<0,04 kg/ha).
- Voor mais resulteren de aanpassingen, anders dan voor de andere gewasgroepen en anders dan voor de N-emissie, in een afname van de berekende P-emissies.

In Figuur 4.5 is de landelijke, weersonafhankelijke stikstofbelasting van het oppervlaktewater weergegeven zoals berekend voor de Nationale Analyse (LWKM1.0) en LWKM1.2 voor de periode 1981-2019. Opvallend is de voor LWKM1.2 berekende stijging van de emissies naar het oppervlaktewater vanaf 2015. Deze stijging wordt ook in het Landelijk Mest Meetnet gemeten (Fraters et al., 2020).



**Figuur 4.5** Landelijk gemiddelde, weersafhankelijke emissies stikstof uit de bodem naar het oppervlaktewater (kg ha<sup>-1</sup>) voor het landelijk gebied, berekend voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (blauw) en LWKM1.2 (oranje/groen). Let op: de schaal op de y-as begint niet bij 0.

### 4.3 Plausibiliteit en toepassingsbereik

De hydrologische modelinvoer voor LWKM1.2 is, net als voor de eerdere versies, afkomstig van LHM3.5.1. De tekortkomingen in de hydrologische modelresultaten van LHM3.5.1 die de basis vormen voor de waterkwaliteitsmodellering zijn in LWKM1.2 via nabewerkingen zo goed mogelijk gecorrigeerd.

Daartoe zijn verbeteracties uitgevoerd die bij gelijkblijvende modelfunctionaliteit leiden tot robuustere resultaten voor de beoogde beleidstoepassingen in 2021.

Hierdoor is een nieuwe modeltoepassing gecreëerd die eigenlijk opnieuw gekalibreerd en gevalideerd zou moeten worden. Dat is een majeure operatie en daarom is voor LWKM1.2 a priori volstaan met een indicatieve vergelijking via een integrale analyse en een beoordeling van de plausibiliteit en het toepassingsbereik.

Ten opzichte van LWKM1.0 en LWKM1.1 resulteren het uitsluiten van modelartefacten, het vervangen van de hydrologisch-landbouwkundig weinig plausible resultaten, het aanvullen tot het volledige areaal landbouw- en natuurgronden en de resterende onvolkomenheden in de hydrologische modelinvoer voor de voor weerseffecten gecorrigeerde rekenresultaten van LWKM1.2 in:

- Kleinere trends in grondwaterstanden en vrijwel constante afvoeren naar het oppervlaktewater.
- Veelal ondiepere grondwaterstanden die op landelijke schaal resulteren in een kleine afname van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater en in een kleine toename van de stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater. Op het schaalniveau van de LMM-hoofdgrondsoortgebieden zijn er gebieden met een lichte toename van de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater en een kleine afname in de stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater.
- Beperkte effecten voor minder gedetailleerde gebiedsindelingen als gevolg van het opschalen van lokaal grotere veranderingen. Dit effect is schaalafhankelijk.

De tekortkomingen in de hydrologische invoer zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet volledig opgelost: door het corrigeren van weinig plausible hydrologische resultaten zijn de veranderingen in de grondwaterstanden beperkt, zijn de afvoeren niet of nauwelijks veranderd en blijkt de hydrologische modelinvoer voor de eerste jaren van de rekenperiode niet voor alle rekeneenheden in evenwicht (zie paragraaf 3.1). Voor deze rekeneenheden resteren (kleine) trends in grondwaterstanden die doorwerken in de uit- en afspoeling van nutriënten naar grond- en oppervlaktewater.

### 4.3.1 Vergelijking met eerdere LWKM-versies

Van der Bolt et al. (2020) hebben de resultaten van LWKM1.1 in de eerste meter van het grondwater vergeleken met de metingen in het LMM op landbouwbedrijven in de zandregio's. De gesimuleerde concentraties beschrijven na de kalibratie de grootteorde en dynamiek van de metingen. De variatie in meetresultaten is groot, daarom is het weinig zinvol de beperkt gerealiseerde veranderingen te vergelijken met de metingen: omdat niet opnieuw is gekalibreerd, zullen de resultaten statistisch gezien per definitie minder goed zijn en tegelijkertijd zullen deze binnen de bandbreedte van de metingen blijven.

In Figuur 4.6 zijn de onderlinge verschillen in rekenresultaten tussen LWKM1.0 en LWKM1.2 gepresenteerd alleen voor de zandgebieden, omdat in het kader van de Nitraatrichtlijn dit de beleidsgevoelige gebieden zijn. Zoals mag worden verwacht, heeft het vervangen van extreme HRU's weinig effect op de dynamiek, maar kan dit resulteren in andere nitraatconcentraties in een gebied. Omdat LWKM1.0 is gekalibreerd op de LMM-metingen van de nitraatuitspoeling in zandgebieden, zullen de met LWKM1.2 berekende concentraties in vergelijkbare mate afwijken van de resultaten van LWKM1.0 als die van de metingen.



**Figuur 4.6** Vergelijking van de met LWKM1.2 en met LWKM1.0 berekende gemiddelde en mediane nitraatconcentratie in de eerste meter van het grondwater op landbouwbedrijven in de zandregio's. Links akkerbouw, rechts melkveehouderij, boven Zand-Noord, midden Zand-Centraal en onder Zand-Zuid.



De concentraties berekend met LWKM1.2 zijn voor deze gebieden groter dan berekend met LWKM1.0. Voor Zand-Noord en Zand-Centraal zijn de verschillen voor melkveehouderij en akkerbouw bijzonder klein en hebben beleidsmatig geen impact. Voor Zand-Zuid zijn de verschillen groter: voor melkveehouderij een ordegrrootte van 10-15 mg/l, en voor akkerbouw een ordegrrootte van 0-35 mg/l. Omdat met name Zand-Zuid een beleidsgevoelig gebied is, zijn de geconstateerde verschillen voor dit gebied relevant.

Van der Bolt et al. (2020) hebben geconstateerd dat de met LWKM1.0 berekende vrachten systematisch kleiner zijn dan de met STONE berekende vrachten, doordat de door LHM berekende afvoeren structureel lager zijn dan berekend met de hydrologie voor STONE. Voor grote stroomgebieden/de rijkswateren zijn de resultaten van het LHM goed (mede door de opgelegde instroom uit het buitenland). Op regionale schaal blijken de afvoeren in met name het stroomgebied Maas te laag. De oorzaak van de lager berekende emissies uit landbouwgronden naar het oppervlaktewater voor LWKM1.0 wordt verklaard door lagere afvoeren berekend door LHM3.5.1. Omdat LHM3.5.1 ook de basis vormt van LWKM1.2, werken deze beperkingen ook hierin door. Door het uitfilteren van extreme hydrologische waarden is geprobeerd de beperkingen enigszins te normaliseren. De effecten hiervan hiervan blijken klein. Net als LWKM1.1 kunnen de met LWKM1.2 berekende emissies van nutriënten naar het oppervlaktewater alleen voor grote gebieden (waterschappen en deelstroomgebieden) worden gebruikt en gepresenteerd.

Omdat geen metingen van N- en P-vrachten beschikbaar zijn, hebben Van der Bolt et al. (2020) de ratio's van vrachten en waterafvoer (emissieconcentraties) indicatief vergeleken met metingen uit het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (MNSLO) voor het ruimtelijk schaalniveau van LMM-regio's. Omdat de MNSLO-meetpunten niet geheel representatief zijn voor water direct na uitstroming uit de bodem (in de tijd tussen exfiltratie en passage bij een meetpunt kan een deel van de nutriënten al zijn vastgelegd of verdwenen), is getoetst of de berekende emissieconcentraties in ieder geval hoger zijn dan de meetwaarden op de MNSLO-meetpunten. Voor stikstof is geconstateerd dat de met LWKM1.0 berekende emissieconcentraties in veel gebieden groter zijn dan de voor deze gebieden gemiddelde concentraties in het MNSLO. De berekende stikstofconcentraties worden daarom als plausibel beoordeeld.

#### 4.3.2 Toepassingsbereik

De correctie van de HRU's met hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten leidt tot andere waterstromen en andere uitspoelconcentraties en -vrachten. De verandering in de gemiddelde concentraties en vrachten wordt bepaald door het areaal waarop de correcties betrekking hebben en door de mate waarin hydrologische extremen de uit- en afspoeling bepalen. De met LWKM1.2 gerealiseerde veranderingen voor de LMM-hoofdgrondsoortgebieden staan in Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** De verandering in de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater, de stikstofvracht naar het oppervlaktewater en de fosforvracht naar het oppervlaktewater per LMM-hoofdgrondsoortgebied in 2015 berekend met LWKM1.2 ten opzichte van LWKM1.1.

LMM-hoofdgrondsoort- gebied	Nitraatconcentratie bovenste grondwater		Stikstofvracht oppervlaktewater		Fosforvracht oppervlaktewater	
	mg/l	%	kg/ha/jr	%	kg/ha/jr	%
Löss	1.1	0.7	-0.2	-7.0	0.0	-27
Rivierklei	0.2	2.2	-0.1	-0.9	0.0	-2
Veenweide Noord	-0.1	-0.3	0	-0.2	0.0	0
Veenweide West	0.4	3.4	0.3	1.1	0.2	4
Zand Midden	-0.3	-0.5	0.2	1.8	0.0	-5
Zand Noord	-0.9	-2.1	0.6	2.9	0.1	7
Zand West	-0.9	-2.4	1.4	8.7	0.3	18
Zand Zuid	2.1	2.7	1.1	5.9	-0.1	-8
Zeeklei Centraal	0	-0.1	1.2	2.8	0.1	4
Zeeklei Noord	-0.1	-1.0	0.4	2.9	0.1	3
Zeeklei Zuidwest	0.1	1.0	1	3.7	0.1	3
Landbouw- en natuur	-0.5	-1.2	0.6	3.0	0.1	3

---

De veranderingen in de nitraatconcentraties (mg/l) in het bovenste grondwater zijn groot voor Zand-Zuid en Löss (> 1,0), relatief gezien (%) zijn de veranderingen voor Zand-Zuid en het Lössgebied weinig onderscheidend van de andere gebieden.

De veranderingen in de waterhuishouding resulteren hier in verschuivingen in de fysische, chemische en biologische omzettingsprocessen waardoor de uitspoeling verandert. De stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater nemen het meest toe in Zand-West, terwijl de berekende nitraatconcentraties daar zijn afgenomen. Dat impliceert dat de verandering hier wordt veroorzaakt door verschuivingen in de kwel/wegzijgingsfluxen, waardoor de concentraties van het diepere grondwater anders doorwerken. De doorwerking van de veranderingen in vrachten wordt verder geanalyseerd in hoofdstuk 7.

Vergelijken van resultaten van rekenvarianten kan op het niveau van waterlichaamgebieden. De betrouwbaarheid van de resultaten verschilt tussen de waterlichaamgebieden. Het LHM voor de waterkwaliteitsmodellering wordt toegepast op het niveau van deelstroomgebieden en waterschappen. Met LWKM1.2 zullen bij toepassen voor landelijke beleidsverkenningen dezelfde conclusies worden getrokken als met LWKM1.1.

De conclusies van Groenendijk et al. (2020) ten aanzien van de plausibiliteit van LWKM1.0 en LWKM1.1 blijven onveranderd van toepassing voor LWKM1.2:

- De op basis van LHM3.5.1 berekende nitraatconcentraties in grondwater, de N- en P-vrachten door uit- en afspoeling en de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater kunnen alleen worden toegepast op het niveau van deelstroomgebieden en waterschappen.
- Vergelijken van resultaten van rekenvarianten kan op het niveau van waterlichaamgebieden. De betrouwbaarheid van de resultaten verschilt tussen de waterlichaamgebieden.

### 4.3.3 Effecten van maatregelen

De uit- en afspoeling van nutriënten hebben na de doorgevoerde correcties (afgezien van de gerealiseerde toe- of afname) vrijwel hetzelfde verloop als de met LWKM1.0 berekende resultaten (Figuur 4.5 en 4.7). De gerealiseerde veranderingen zijn systematisch i.e. zijn vrijwel constant in de tijd. Dit impliceert dat, door het uitsluiten van de modelartefacten en het corrigeren van de hydrologische modelinvoer, het modelgedrag zoals mag worden verwacht niet is gewijzigd. LWKM1.2 zal dan ook op dezelfde manier reageren op maatregelen als LWKM1.0 en LWKM1.1. De effecten van maatregelen worden door de verschillende modelversies op een consequente manier berekend.

De introductie van vanggewassen resulteert in een verandering in de waterhuishouding. Deze verandering wordt meegenomen in het LWKM, maar is niet berekend met het LHM. In verband met de vereiste consistentie is het zaak om maatregelen met effecten op de waterhuishouding consequent in zowel de hydrologische als in de nutriëntenberekeningen te verdisconteren. Omdat de vanggewassen gerealiseerd beleid zijn, is het noodzakelijk de hydrologische berekening van de referentie hierop aan te passen.

Omdat de veranderingen in LWKM1.2 ten opzichte van LWKM1.1 klein zijn, zullen deze veranderingen beperkt doorwerken in de effecten van landbouwkundige maatregelen gericht op mestnormen, mestgebruiksvoorschriften of landbouwkundig gebruik.

---

## 5 Emissies uit natuurgronden

De Emissieregistratie vraagt een verfijning door uitsplitsen van de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden. Dit om aan gebruikers een globaal inzicht te geven in de herkomst van nutriënten in kleine oppervlaktewateren, specifiek voor waterlichaamgebieden en GAF-eenheden. De berekening van de uitspoeling uit natuur kan technisch op dezelfde wijze worden gerealiseerd als voor landbouw. Hoewel de analyse van het toepassingsbereik van de modelresultaten gebaseerd op LHM3.5.1 (Groenendijk, 2020) aangeeft dat deze resultaten alleen op grotere gebieden van toepassing zijn, wordt een nadere verfijningsslag van ER-data via het onderscheiden van natuur- en landbouwgronden toch mogelijk geacht wanneer ook voor natuur wordt geanalyseerd op welke gebieden de resultaten van toepassing zijn. De nu al geldende disclaimer blijft daarbij van toepassing.

Om te analyseren op welke gebieden de berekende uitspoeling uit natuur van toepassing is, zijn/is:

1. GIS-analyses uitgevoerd om het detailniveau van de aggregatie op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit natuurgronden te bepalen.
2. De beschikbare meetgegevens van concentraties in de wortelzone, het bovenste grondwater en het oppervlaktewater in natuurgebieden op een rij gezet.
3. Naar een geschikte methode gezocht om in een vervolg de gebiedsgrootte waarop emissies uit natuurgronden berekend kunnen worden, met de beschikbare metingen te onderbouwen.

### 5.1 Gebiedsindeling

De conclusie dat mede door de beperkingen in de hydrologische invoer vooralsnog alleen de resultaten van grotere gebieden plausibel zijn (Van der Bolt et al. 2020; Groenendijk et al. 2020), maakt dat voorlopig hoe dan ook voorzichtig met de berekende emissies uit natuur moet worden omgegaan.

Om een gebiedsindeling te vinden die resulteert in resultaten met een vergelijkbare betrouwbaarheid als de resultaten voor de landbouw, is het noodzakelijk te begrijpen hoe natuur in de berekeningen van de emissies van nutriënten is geschematiseerd. Om zonder toetsing aan metingen een vergelijkbare betrouwbaarheid in de rekenresultaten te kunnen borgen, is het noodzakelijk dat de voor natuur gehanteerde gebieden vergelijkbare aantallen rekeneenheden bevatten als de voor landbouw gehanteerde gebieden.

Omdat het areaal natuur kleiner is dan het areaal landbouw zullen er minder rekeneenheden met natuur zijn en zullen de te hanteren gebieden voor natuur groter zijn dan voor landbouw. De noodzaak hiervoor wordt versterkt door het besef dat de natuurgebieden vaak hydrologisch en bodemkundig bijzonder zijn. Wat dat betekent voor de gebiedsindeling, wordt idealiter onderbouwd met metingen.

Voor de ontwikkeling van het Landelijk Waterkwaliteitsmodel (LWKM1.0) is het landgebruik in het LHM geactualiseerd door de 39 landgebruikstypen van LGN7 te clusteren naar 22 grondgebruiksklassen (Burgering et al., 2016). Voor de nutriëntenberekeningen met het LWKM zijn deze 22 LHM-klassen grondgebruik geclusterd naar 8 LWKM-klassen landgebruiksvormen (Tabel 5.1). De 8 in LHM onderscheiden landgebruiksvormen behorende tot de groep '*natuurlijke vegetatie*' zijn daarbij samengevoegd tot de LWKM-klasse natuur. In Figuur 5.1 zijn deze gebieden weergegeven.

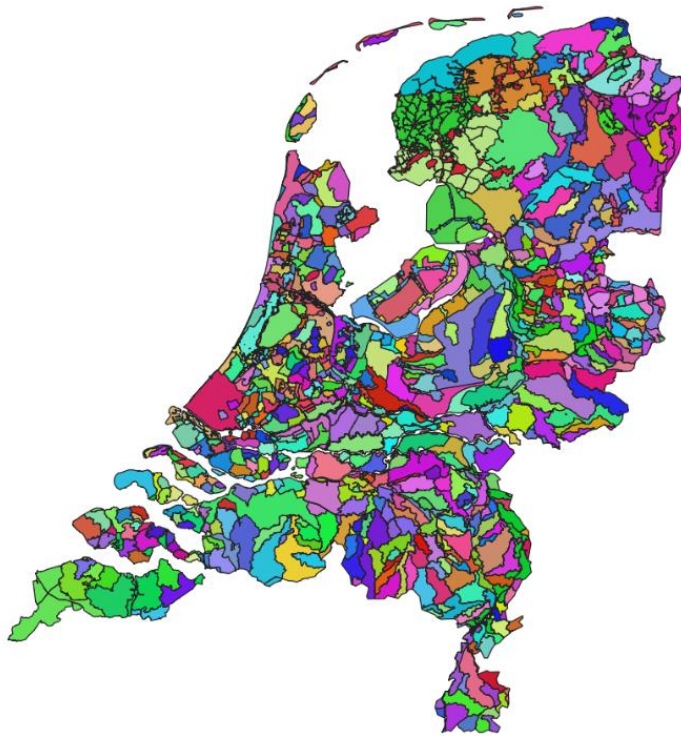
**Tabel 5.1** Landgebruik onderscheiden in het LHM en het LWKM.

Nr.	Landgebruik	Cluster HRU	Omschrijving
1	Gras	1	Gras
2	Mais	2	Snijmais
3	Aardappelen	3	Akkerbouw hoofdgewassen
4	Bieten	3	Akkerbouw hoofdgewassen
5	Granen	3	Akkerbouw hoofdgewassen
6	Overige landbouwgewas	4	Overige open teelten (incl. korrelmais)
7	Boomteelt	5	Meerjarig houtachtige gewassen
8	Glastuinbouw	0	Geen vegetatie
9	Boomgaard	5	Meerjarig houtachtige gewassen
10	Bollen	6	Bollen
11	Loofbos	7	Natuurlijke vegetatie
12	Naaldbos	7	Natuurlijke vegetatie
13	Moeras	7	Natuurlijke vegetatie
14	Duinvegetatie	7	Natuurlijke vegetatie
15	Kale grond	0	Geen vegetatie
16	Water	0	Geen vegetatie
17	Natuurlijk gras	7	Natuurlijke vegetatie
18	Stedelijk grasland	7	Geen vegetatie (ER)/ Natuurlijke vegetatie (KRW-Verkenner)
19	Donker naaldbos	7	Natuurlijke vegetatie
20	Heidevegetatie	7	Natuurlijke vegetatie
21	Fruitekwekerijen	5	Meerjarig houtachtige gewassen
22	sportvelden	0	Geen vegetatie



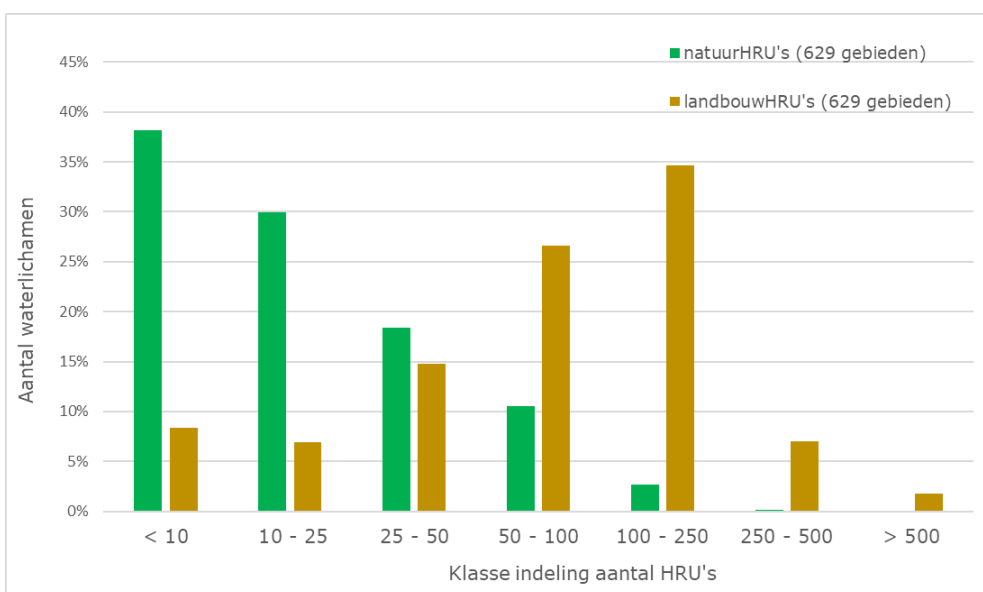
**Figuur 5.1** De natuurgebieden op basis van LGN7 (groen).

Om te bepalen tot op welk schaalniveau de uit- en afspoeling van stikstof- en fosfor uit natuurgronden uitgesplitst kunnen worden, is een GIS-analyse uitgevoerd. Als basis voor deze analyse is gebruikgemaakt van de waterlichaamgebieden zoals deze zijn gedefinieerd voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (Van Gaalen et al., 2020), waarbij Nederland is ingedeeld in ruim 600 waterlichaamgebieden (Figuur 5.2).



**Figuur 5.2** Overzicht van de waterlichaamgebieden die gebruikt worden om de emissies vanuit de landbouwbodems naar het oppervlaktewater te berekenen.

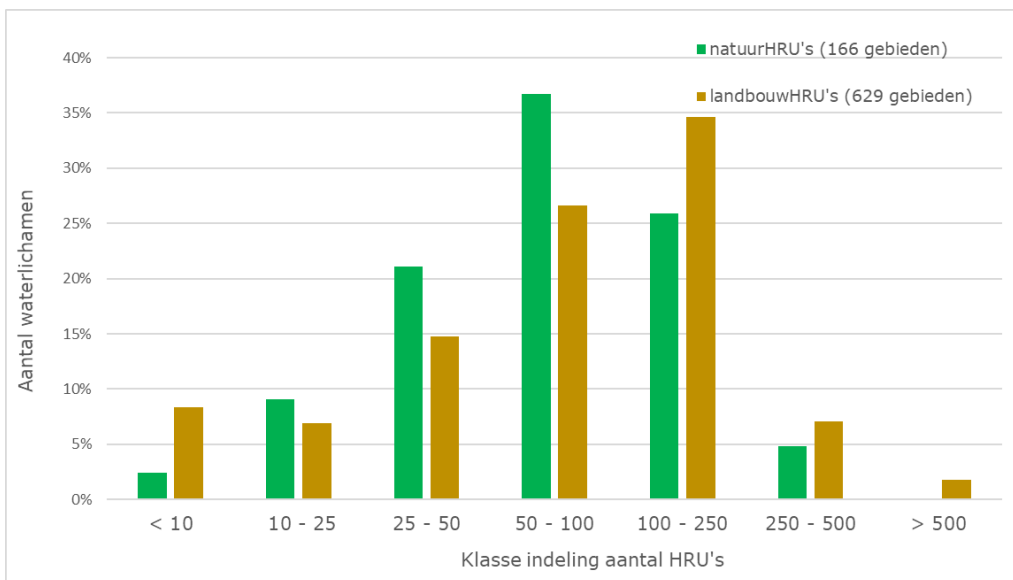
Een van de criteria die gebruikt kan worden om het schaalniveau te bepalen waarop de uitsplitsing van de uit- en afspoelingcijfers kan plaatsvinden, is het aantal HRU's binnen een waterlichaamgebied. Hiervoor is de HRU-schematisering gecombineerd met de waterlichaamgebieden. Vervolgens is per waterlichaamgebied het aantal HRU's met landbouwkundig gebruik ('landbouwHRU's') en met natuur ('natuurHRU's') bepaald (Figuur 5.3).



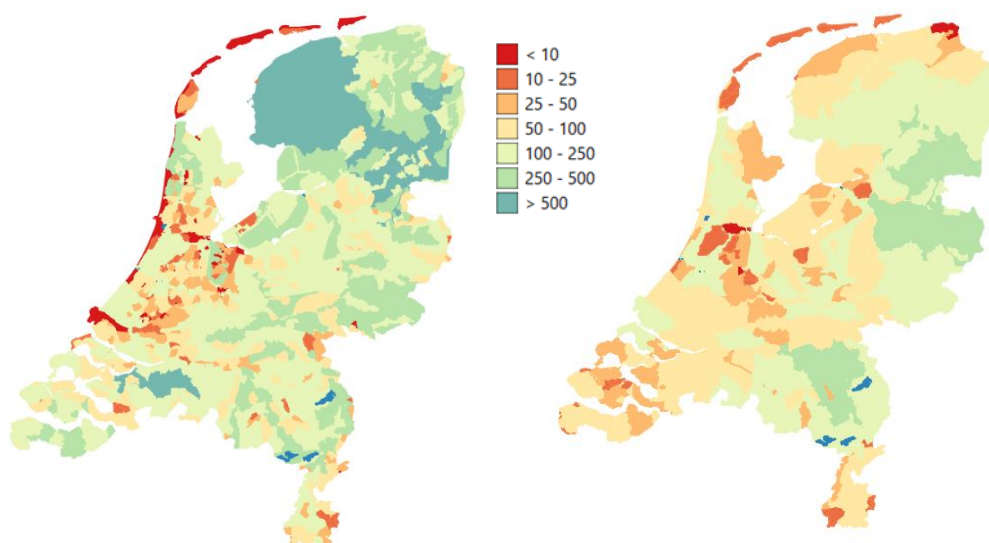
**Figuur 5.3** Procentuele verdeling van het aantal landbouwHRU's en natuurHRU's in de waterlichaamgebieden over de verschillende klassen.

In ca. 70% van de waterlichaamgebieden liggen minimaal 50 landbouwHRU's, voor natuurHRU's is dit iets meer dan 10% van het aantal waterlichaamgebieden. Bijna 70% van de waterlichaamgebieden heeft minder dan 25 natuurHRU's, tegen ongeveer 15% van de landbouwHRU's.

Gezocht is naar een vergelijkbare betrouwbaarheid in de resultaten landbouw en natuur voor de landelijke toepassing door te zoeken naar een indeling in gebieden met een vergelijkbare frequentieverdeling als de *landbouwHRU's* in de 629 gebieden. Om het aantal HRU's met natuur binnen een deelgebied te vergroten, zijn waterlichaamgebieden samengevoegd. Daarbij is de indeling van Nederland in ca. 120 stroomgebieden (Groenendijk et al., 2016) als randvoorwaarde gehanteerd. Deze indeling op basis van hydrologische grenzen is met de regionale waterbeheerders afgestemd. Waterlichaamgebieden kunnen worden samengevoegd wanneer deze binnen hetzelfde stroomgebied liggen. Een indeling in 166 deelgebieden resulteert in de gezochte vergelijkbare frequentieverdeling (Figuur 5,4) waarbij het ruimtelijk beeld plausibel wordt geacht (Figuur 5.5).

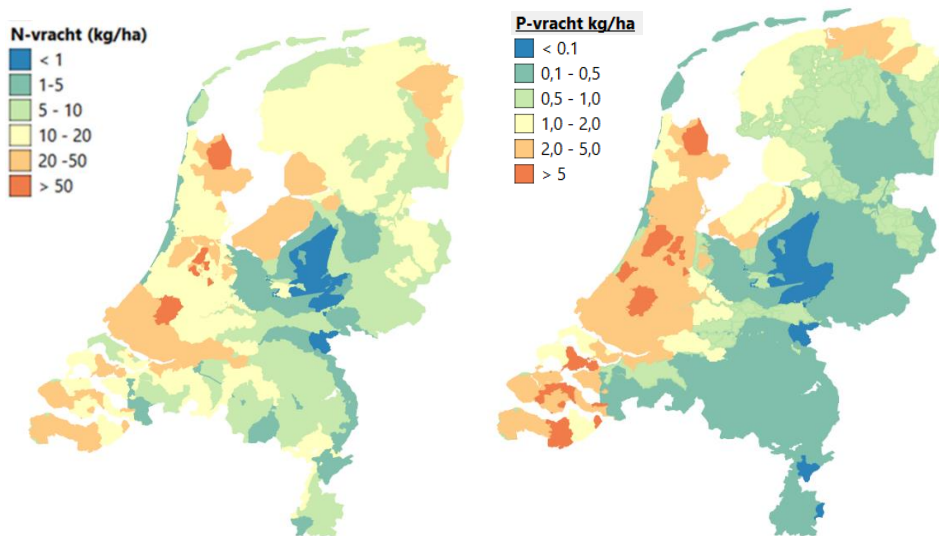


**Figuur 5.4** Procentuele verdeling van het aantal landbouwHRU's en natuurHRU's in de waterlichaamgebieden in klassen voor respectievelijk de 629 waterlichaamgebieden (landbouwHRU's) en de indeling in 166 deelgebieden voor natuur.



**Figuur 5.5** Ruimtelijke verdeling van het aantal landbouwplots op basis van de 629 waterlichamen (links) en het aantal natuurHRU's (rechts) op basis van de 166 deelgebieden.

De gemiddelde uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit natuurgronden voor de 629 waterlichaamgebieden waarbij de resultaten zijn geaggregeerd op basis van de 166 deelgebieden, zijn in Figuur 5.6 weergegeven.



**Figuur 5.6** Gemiddelde uit- en afspoeling (kg ha<sup>-1</sup>) in de periode 2015-2019 van stikstof (links) en fosfor (rechts) naar het oppervlaktewater uit natuurgronden voor de waterlichaamgebieden.

## 5.2 Mogelijkheden om te toetsen

Om de plausibiliteit van de rekenresultaten voor natuur te kunnen beoordelen, is het nodig de rekenresultaten voor natuur in de deelgebieden te kunnen relateren aan beschikbare metingen in natuur. Daartoe is verkend welke metingen/meetnetten beschikbaar zijn en of deze kunnen worden gebruikt om de berekende emissies uit natuur te toetsen. Daarbij is als eis gesteld dat de data beschikbaar en toepasbaar zijn. Dat wil zeggen dat is vastgelegd wat en hoe is gemeten, op welke diepte, hoe is bemonsterd, in welke eenheid de metingen zijn vastgelegd enzovoort, en dat de data dusdanig zijn ontsloten dat deze eenvoudig kunnen worden verwerkt. Onderscheid is gemaakt naar metingen in natuurgebieden van:

- Concentraties nutriënten in het bodemvocht.
- Concentraties nutriënten in het (bovenste) grondwater.
- Concentraties nutriënten in het oppervlaktewater.

### 5.2.1 Metingen bodemvocht en grondwater

#### Metingen in bos- en natuurgebieden door WENR

Door WENR zijn in de periode 1990-2000 zeven datasets verzameld. De bemonsteringen zijn meestal binnen 1 jaar uitgevoerd. Bemonsterde lagen zijn typisch de strooisellaag 0-30 (of 0-10 en 10-30), 30-60 en 60-100 cm-mv. De analyse gebeurde met de centrifugemethode op basis van een mengmonster van 20 monsters en de analyses bevatten altijd pH, Al, Fe, K, Ca, Mg, Na, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> en Cl. Incidenteel zijn ook Mn, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, RCOO, -H en/of EGV gemeten. De datasets zijn:

- 150 Bosopstanden op kalkloze zandgronden, bemonsterd in 1990 (De Vries and Leeters, 2001).
- 12 Bosopstanden op kalkloze zandgronden, bemonsterd in 1992 (De Vries et al., 1995).
- 48 Natuurgebieden in de duinen, bemonsterd in 1992 (De Vries, 1993).
- 100 Bosopstanden op löss- (40), klei- (30) en veengronden (30), bemonsterd in 1992 (Klap et al., 1999a).
- 63 Natuurgebieden op zand- (50), klei- (4) en veengronden (15) in het Drentsche Aa-gebied, bemonsterd in 1994 (Klap et al., 1999b).
- 200 Bosopstanden op kalkloze zandgronden, bemonsterd in 1995 (Leeters and de Vries, 2001).
- 100 Bosopstanden op kalkloze zandgronden, bemonsterd in 2000 (De Vries et al., 2002).

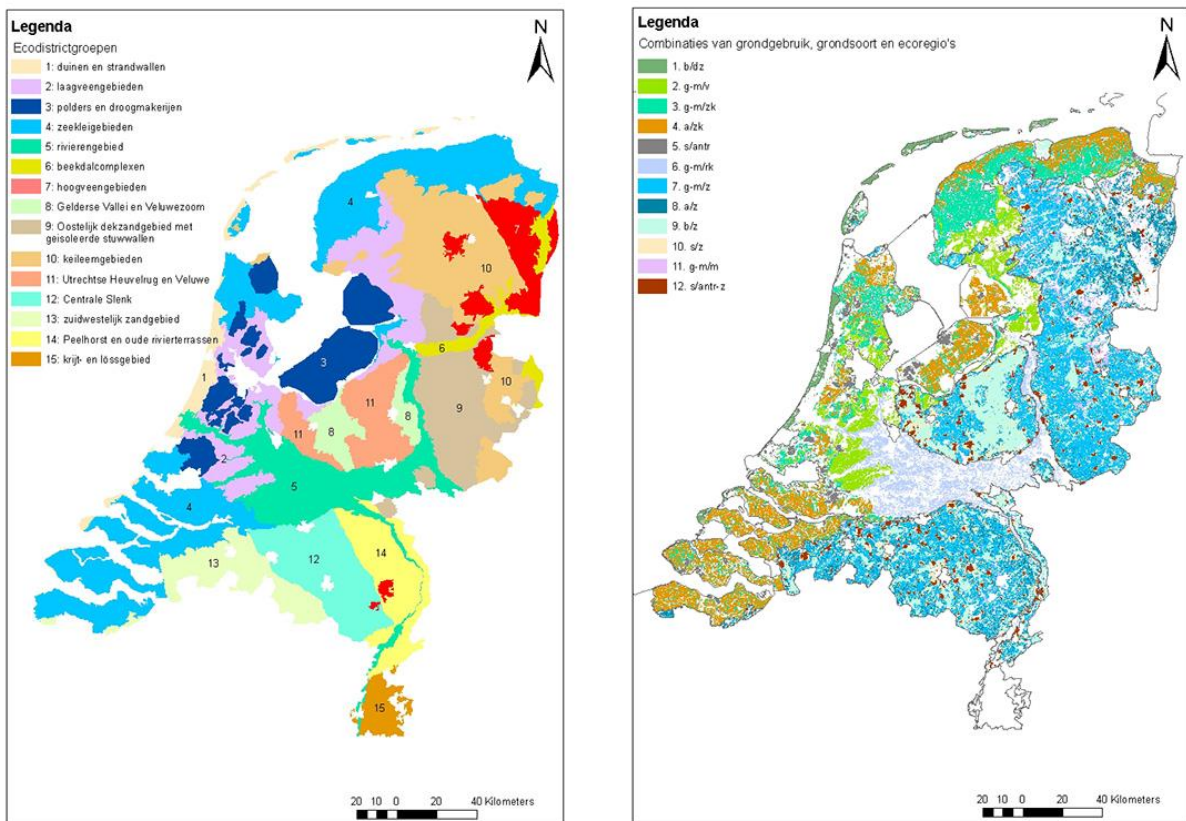
Op 98 boslocaties uit set A, F en G is sprake van een overlap voor de jaren 1990, 1995 en 2000 wat betreft de bodemvochtconcentraties van ammonium en nitraat in het bodemvocht in de bovengrond (0-30 cm). Na 2000 is het meten van de samenstelling van het bodemvocht in natuurgebieden heel beperkt geweest en na 2013 zijn helemaal geen metingen meer uitgevoerd.

### Trend Meetnet Verzuring

Het Trend Meetnet Verzuring (TMV, (<https://www.rivm.nl/trendmeetnet-verzuring>) monitorde van 1989-2014 op 150 locaties in natuurgebieden (bos en heide) op zandgrond de invloed van verzurende en vermestende stoffen uit de lucht op de kwaliteit van de bovenste meter grondwater (Boumans et al., 2013). Het ontwerp van de meetstrategie, de bemonstering, analyse en rapportage zijn uitgevoerd door het RIVM. De locaties zijn in de periode van 1989 tot 2014 zesmaal bemonsterd. Per locatie is een mengmonster samengesteld door in tien monsternamepunten via een open boorgat het bovenste grondwater te bemonsteren. De grondwatermonsters van alle monsternamepunten zijn in het veld geanalyseerd op pH, EC, O<sub>2</sub> en NO<sub>3</sub>. Daarna zijn in het laboratorium analyses uitgevoerd op de mengmonsters, waarbij o.a. pH, EC, DOC, P-totaal, ortho-P, NH<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, en K zijn bemeaten. De complete TMV-dataset is door het RIVM beschikbaar gesteld om te gebruiken voor de validatie van het LWKM.

### Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG)

Dit meetnet (Van Duijvenbouden et al., 1985) bestaat uit ongeveer 350 vaste meetpunten verspreid over Nederland waar jaarlijks tot vierjaarlijks op dieptes van 10, 15 en 25 m -mv wordt bemonsterd. De bemonstering gebeurt door het oppompen van het water waarbij de pH, T, EC, O<sub>2</sub> en HCO<sub>3</sub> in het veld worden bepaald. De monsters worden in het laboratorium geanalyseerd op NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, P<sub>tot</sub>, DOC, SO<sub>4</sub>, Cl, K, Na, Mg, Ca en enkele metalen. Dit meetnet bestaat vanaf 1979 en wordt beheerd door het RIVM. De meetpunten zijn gegroepeerd naar een ruimtelijke indeling in 15 ecodistrictgroepen en ecoregio's (Klijn, 1988). Daarnaast zijn door combineren van ecoregio's met bodem en landgebruik homogene deelgebieden onderscheiden.



**Figuur 5.7** De indelingen in ecodistrictgroepen en homogene deelgebieden gebruikt voor het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (bron: RIVM).



---

## **KRW Monitoringsprogramma Grondwaterkwaliteit**

Vanaf 2006 zijn de landelijke waterkwaliteitsmetingen uitgebreid via het KRW Monitoringsprogramma Grondwaterkwaliteit (KMG). Het KMG meet op 10 en 25 m -mv. Ruim de helft van de meetlocaties van het KMG bestaat uit putten van het LMG. Het KMG kent een landelijk analysepakket met o.a. de voor de KRW verplichte parameters O<sub>2</sub>, pH, EC, NO<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub> en (omdat de grondwaterlichamen hiervoor 'at risk' zijn) de parameters P-tot, As, Cl, en Ni.

## **Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (PMG)**

De Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit bevatten de meetpunten van het LMG plus aanvullende provinciale meetpunten. Deze meetnetten vormen een verdichting van het LMG met dezelfde inrichting en bemonstering. De verdichting is vaak gerelateerd aan de kenmerken van de homogene deelgebieden. De provinciale meetnetten bestaan sinds 1989.

## **Meetnet Verdroging**

Binnen het Meetnet Verdroging wordt in (natte) natuurgebieden grondwaterstand en waterkwaliteit gemeten om het waterbeheer voor deze gebieden te controleren en te optimaliseren. Het meetnet bestaat sinds 2012 en bestaat uit de provinciale meetnetten verdroging die in het kader van de Kader Richtlijn Water zijn ingericht. De waterkwaliteit wordt eens in de vijf jaar gemeten, waarbij de variabelen zuurstofgehalte, pH-waarde, geleidbaarheid en de concentraties nitraat en ammonium voor de KRW verplicht worden bepaald. Omdat in Nederland de grondwaterlichamen 'at risk' zijn voor de stoffen stikstof, fosfaat en chloride is geadviseerd ook nitriet, N-totaal, ortho-fosfaat, P-totaal en chloride te bepalen (De Nijs et al., 2009). De in het Meetnet Verdroging gemeten data worden vastgelegd in de Basis Registratie Ondergrond.

## **Basis Registratie Ondergrond (BRO) en DINO**

De BRO is een landelijke voorziening met alle publieke informatie over de bodem en ondergrond van Nederland. Alle door en voor de landelijke en regionale overheden verzamelde data worden, wanneer ze aan de kwaliteitseisen voldoen, via de BRO toegankelijk gemaakt. De DINO-database (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond) van NITG-TNO wordt onderdeel van de BRO. Het DINO-bestand bevat grondwaterkwaliteitsmetingen zowel onder landbouw als natuur vanaf 1950 ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)). Hierbij zijn gegevens over het freatische (ondiepe) grondwater en het diepere grondwater beschikbaar. Het gaat hierbij om een zeer groot aantal peilbuizen (> 5000) waarbij op diverse tijdstippen concentraties van stoffen in het grondwater zijn gemeten. Veelal zijn de totale ladingsbalans (alle macro an- en kationen) en een reeks aan zware metalen gemeten. Vooralsnog zijn deze data via zowel DINO als de BRO te benaderen.

### **5.2.2 Metingen oppervlaktewater**

Metingen van concentraties nutriënten in het oppervlaktewater worden uitgevoerd door de regionale en landelijke waterbeheerders. Probleem is dat deze metingen vaak meerdere emissiebronnen hebben en dat in het watersysteem fysische, chemische en biologische vastleggings-, omzettings- en afbraakprocessen plaatsvinden. Hierdoor is het niet eenvoudig om gemeten concentraties te relateren aan specifieke bronnen. Dat geldt nog sterker voor emissies uit (de bodems van) natuurgebieden. Concentraties (en voor drogere natuur ook debieten) zullen veelal lager zijn dan de concentraties (en debieten) uit landbouwbodems. Omdat daarnaast ook de arealen natuur veelal kleiner zijn dan de arealen landbouw, is het (nog afgezien van de bijdrage van de puntbronnen) lastig de bijdrage van de bodems met natuur te kwantificeren. Om de emissies van natuur te kunnen toetsen, is het noodzakelijk meetpunten te vinden die nauwelijks invloed van andere bronnen kennen.

Een eerste verkenning naar de beschikbaarheid van dergelijke meetpunten is uitgevoerd met behulp van beschikbare regionale studies. Daarbij is gebleken dat er inderdaad weinig meetpunten zijn waarvoor wordt verwacht dat de vracht voor meer dan 10% uit natuur afkomstig is.

Om de effecten van het landbouwbeleid op de waterkwaliteit in beeld te kunnen brengen, zijn voor het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (MNLISO, Klein et al., 2012) de voornamelijk door landbouw beïnvloede meetpunten geselecteerd. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er in het MNLISO ook enkele meetpunten zijn te vinden die naast landbouw ook zijn gerelateerd aan natuur (bijv. Hierdense Beek, de Rosep, Stroetma). Om op vergelijkbare wijze de berekende emissies uit natuur indicatief te kunnen toetsen, is het nodig met de regionale waterbeheerders de betrouwbare meetpunten te selecteren waarvan het water voornamelijk uit bodems met natuur afkomstig is.

---

### 5.2.3 Toetsen en gebiedsindeling

Om te komen tot de gebiedsindeling voor toetsing van de emissies uit natuur is het nodig:

1. de gegevens uit genoemde datasets bij elkaar te brengen.
2. de te gebruiken metingen te selecteren.
3. kaarten met begrenzing, arealen en specificaties van natuur te verzamelen.
4. deze kaarten te combineren met relevante bestaande gebiedsindelingen als waterschappen, stroomgebieden, GAF-eenheden, waterlichaamgebieden, landschapstypen, grondsoort en droogteklassen om de gebiedsindeling voor de toetsing af te leiden.  
Mogelijk is ook combineren met de waterlopenkaart nuttig om te bepalen of er uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater kan plaatsvinden.
5. ruimtelijke verschillen in de metingen matchen aan deze ruimtelijke indelingen, de kansverdelingen concentraties nutriënten voor deze ruimtelijke eenheden bepalen en deze te vergelijken met de kansverdelingen van de met LWKM berekende concentraties voor deze gebieden.

De beschikbare metingen bepalen uiteindelijk het detail van de gebiedsindeling waarvoor de emissies uit natuur kunnen worden getoetst en berekend. Een gebiedsindeling op basis van landschappen (bv. de LGM-ecodistrictgroepen) en mogelijk een verdere uitsplitsing naar typen natuur ligt daarbij voor de hand. De indeling in gebieden met emissies uit natuur kan met de drie verschillende typen datasets worden onderbouwd.

#### **Metingen van de concentraties in het bodemvocht**

Gebruik hiervan vraagt andere modelresultaten dan tot nu toe zijn getoetst. Uit de inventarisatie van beschikbare metingen is gebleken dat drie datasets met nutriëntenconcentraties in het bodemvocht in natuurgebieden beschikbaar zijn. Toetsen aan de concentraties in het bodemvocht lijkt daarmee mogelijk. Of deze data representatief zijn voor alle natuur dan wel voor met name droge natuur, moet bij de analyse nadrukkelijk worden verkend. Daarbij zal moeten worden verkend of indelen van de data naar landschapsregio, vegetatietype, hoofdgrondsoorten en/of droogteklassen mogelijk is. Voorafgaand aan deze toetsing is het gewenst te controleren of de met het model berekende organischestofvoorraden in natuur ongeveer in evenwicht zijn dan wel uitlegbare/verklaarbare kleine trends vertonen.

#### **Metingen van de nutriëntenconcentraties in het grondwater onder de natuurgebieden**

Er wordt vooral gemeten op dieptes van 10-25 m. Aanvullende meetpunten voor ondieper grondwater in natuurgebieden kunnen binnen DINO worden gezocht. Omdat alle beschikbare waterkwaliteitsmetingen na validatie zijn opgenomen in de grondwaterkwaliteitsdatabase van Jansen (2018), ligt het voor de hand om deze database te gebruiken, om te controleren of alle metingen van de meetnetten natuur al zijn opgenomen dan wel deze aan te vullen, alle meetpunten in het bovenste grondwater onder natuur te selecteren en te analyseren of een verdere dan wel andere regionale onderverdeling (in bv. Geohydrotypen, ecodistrictgroepen) nodig is.

#### **Metingen van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater**

Deze kunnen worden gebruikt voor een indirecte toets van de emissies uit de bodem binnen natuurgebieden. Er zijn weinig metingen van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater waarvan de bron voornamelijk dan wel in belangrijke mate, natuur is. Om de berekende emissies uit natuur indicatief te kunnen toetsen aan metingen in het oppervlaktewater, is het daarom belangrijk met de regionale water- en natuurbeheerders betrouwbare meetpunten te selecteren waarvan het water voornamelijk uit bodems met natuur afkomstig is.

Omdat een deel van de natuur extensief landbouwkundig wordt gebruikt en omdat nieuwe natuur wordt ontwikkeld op voormalig landbouwgronden lijkt het nuttig het onderscheid tussen bemeste, voormalig bemeste en niet-bemeste natuur mee te nemen bij de interpretatie van de metingen. Omdat wordt verwacht dat deze arealen (en ook de arealen landbouw en bebouwd) in de nabije toekomst zullen blijven veranderen, is het voor de Emissie Registratie noodzakelijk flexibel met wijzigende arealen landgebruik te gaan werken. Het LWKM zal hierop moeten worden aangepast.

---

## 5.3 Plausibiliteit emissies natuur in LWKM1.2

De voor natuur berekende concentraties zijn nog niet getoetst aan metingen. Via de gebiedsindeling in gebieden met een vergelijkbare frequentieverdeling als gebruikt voor de landbouw is geprobeerd een vergelijkbare betrouwbaarheid in de emissiegetallen van landbouw en natuur te bereiken. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat via deze technische onderbouwing en de eerder voor STONE uitgevoerde validaties van de uitspoeling uit natuur, de plausibiliteit van de emissies uit natuur in voldoende mate wordt geborgd. Om de plausibiliteit en het detailniveau scherper te kunnen onderbouwen, is toetsen aan metingen noodzakelijk. Welke data daarvoor beschikbaar voor zijn en welke werkwijze daarvoor kan worden gevolgd, is beschreven in paragraaf 5.2.

## 5.4 Emissies LWKM1.2 voor de ER

Voor berekening van de gebiedsgemiddelde uitspoelvrachten per GAF-gebied is de voor LWKM1.1 geformaliseerde werkwijze ongewijzigd toegepast. Voor LWKM1.2 zijn per GAF-eenheid de emissies voor landbouw en natuur berekend. Voor natuur is daarbij voor de resultaten van LWKM1.2 een indeling in 166 deelgebieden gebruikt, omdat deze een min of meer vergelijkbare frequentieverdeling heeft als de voor de landbouw gebruikte indeling in 629 waterlichaamgebieden.

De totalen van de gesplitste arealen landbouw en natuur zijn gelijk aan de eerdere aan de ER geleverde gecombineerde arealen voor landbouw en natuur.

De met LWKM1.2 berekende totale emissies zijn door de gerealiseerde correcties beperkt gewijzigd ten opzichte van de voorgaande berekening met LWKM1.1. De andere gebiedsindelingen voor de emissies landbouw en de emissies natuur kunnen tot kleine herverdelingen in emissies leiden in gebieden met een klein areaal natuur. De uitspoelberekeningen voor natuur zijn nog niet aan metingen getoetst.

## 6 Nieuwe fosfaatindicatoren

Het onderwerp van dit hoofdstuk valt buiten de scope van de opdracht voor LWKM1.2. De uitwerking van de P-indicatoren gebeurt in separate projecten in opdracht van het ministerie van LNV. Omdat voor toekomstige beleidstoepassingen de nieuwe systematiek van belang wordt geacht, is ervoor gekozen om deze aanpassing als onderdeel van LWKM1.2 te rapporteren.

### 6.1 Gecombineerde fosfaatparameters

Vanaf 1 januari 2021 wordt een gecombineerde fosfaatparameter onderdeel van de mestwetgeving (Tabel 6.1). Voor de karakterisering van de fosfaattoestand worden het P-AL getal en het P-CaCl<sub>2</sub> getal in combinatie gebruikt (Staatscourant, 2019). Het P-AL-getal is een 'capaciteitsindicator' die een beeld geeft van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem, het P-CaCl<sub>2</sub>-getal is een 'intensiteitsindicator' die een schatting geeft van de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem.

**Tabel 6.1** Klassen fosfaatgebruiksnormen voor grasland (boven) en bouwland (onder) ingedeeld naar de indicatoren P-CaCl<sub>2</sub> (verticaal) en P-AL (horizontaal).

**Tabel I Grasland**

Indeling klassen P-CaCl <sub>2</sub> -getal (mg P/kg)	Fosfaatgebruiksnormen (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha) grasland				
	Indeling klassen P-AL-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g)				
	<21	21 tot en met 30	31 tot en met 45	46 tot en met 55	>55
<0,8	arm	laag	laag	neutraal	ruim
0,8 tot en met 1,4	arm	laag	neutraal	ruim	ruim
1,5 tot en met 2,4	laag	neutraal	ruim	ruim	hoog
2,5 tot en met 3,4	neutraal	ruim	ruim	hoog	hoog
>3,4	ruim	ruim	hoog	hoog	hoog

**Tabel II Bouwland**

Indeling klassen P-CaCl <sub>2</sub> -getal (mg P/kg)	Fosfaatgebruiksnormen (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha) bouwland				
	Indeling klassen P-AL-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g)				
	<21	21 tot en met 30	31 tot en met 45	46 tot en met 55	>55
<0,8	arm	arm	arm	laag	laag
0,8 tot en met 1,4	arm	arm	arm	laag	neutraal
1,5 tot en met 2,4	arm	arm	laag	neutraal	ruim
2,5 tot en met 3,4	arm	laag	neutraal	ruim	hoog
>3,4	laag	laag	neutraal	ruim	hoog

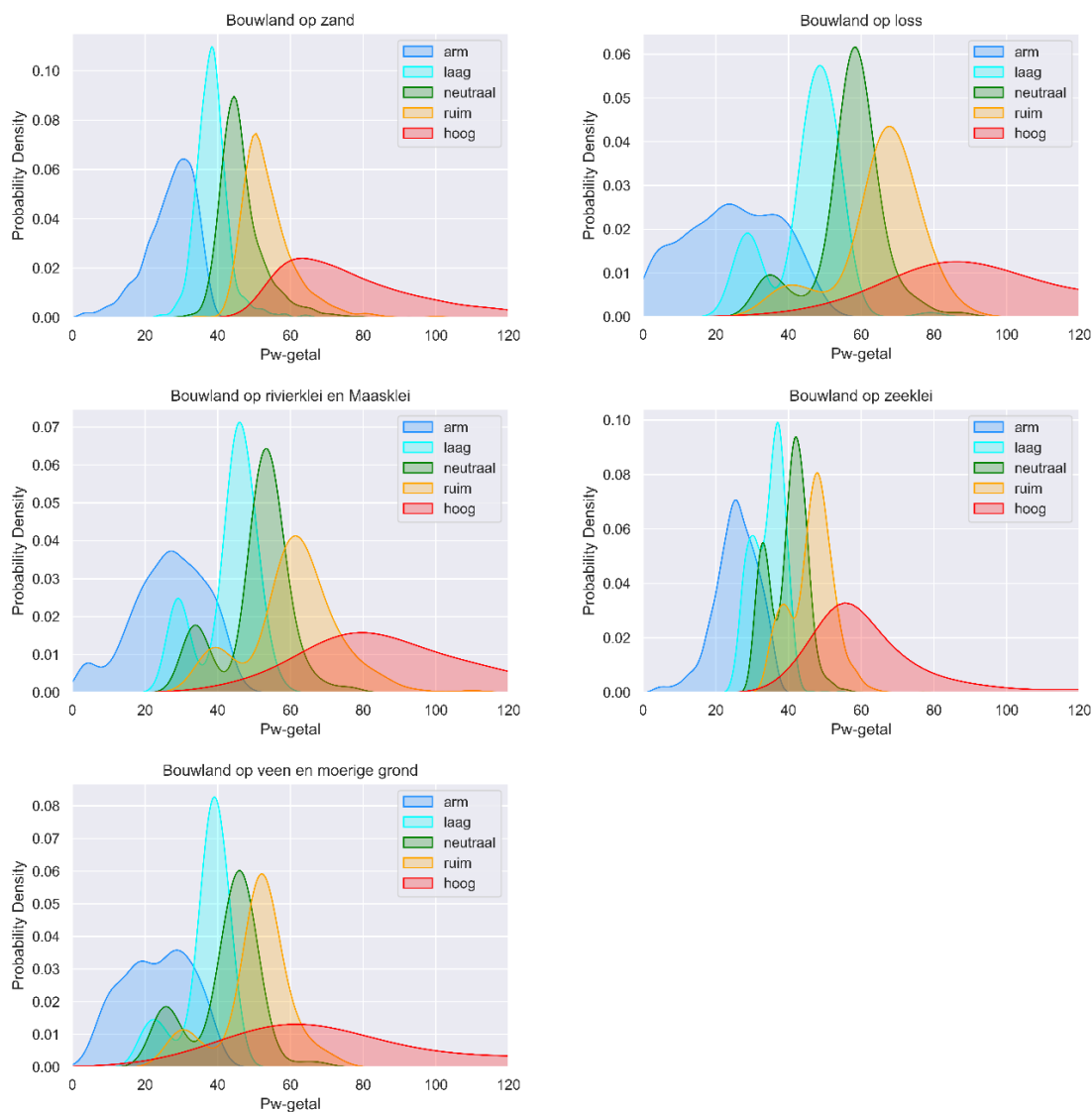
Tot en met 2020 zijn het P-AL-getal (grasland) en het Pw-getal (bouwland) van toepassing voor het bepalen van de fosfaattoestand van de grond. Om de effecten van landbouwkundige maatregelen na 2020 te kunnen evalueren, is het noodzakelijk om naast de vorige indicatoren ook met de nieuwe indicatoren de voorspelde verandering in bodemvoorraden te vertalen naar (veranderingen in) fosfaatklassen. Gebruik van de nieuwe gecombineerde fosfaatindicatoren in het model mag niet leiden tot andere resultaten voor de berekende uitspoeling naar het bovenste grondwater of de emissies naar het oppervlaktewater.

In de modellen wordt het P-AL-getal niet direct berekend en ook is tot op heden het P-CaCl<sub>2</sub>-getal niet als modelvariabele berekend. Een theoretische onderbouwing voor de berekening van de P-CaCl<sub>2</sub>-concentratie wordt in opdracht van het ministerie van LNV uitgevoerd in het project 'Opschaling P-indicatoren'. In dit project wordt op basis van bestaande data en aanvullende laboratoriumanalyses een vertaling gemaakt van de in de modellen Initiator en ANIMO beschouwde bodem-pools naar het P-AL-getal en het P-CaCl<sub>2</sub>-getal.

## 6.2 Relatie met het Pw-getal

Om te zien hoe de nieuwe systematiek zich verhoudt tot de oude klasse-indeling, is met behulp van Machine Learning (classificatie met Light Gradient Boosting) de fosfaatwaardering voorspeld op basis van de door Oenema et al. (2016) gebruikte database met meer dan 50.000 grondanalyses. Voor enkele gewas-bodemcombinaties is de nieuwe waardering van de fosfaatklasse voorspeld als functie van het 'oude' Pw-getal. Voor de niet-grasland landgebruiksvormen (snijmais, akkerbouw en andere teelten) is de nauwkeurigheid kleiner dan voor grasland en wordt soms een hoge Pw-grens voor de klasse 'arm' berekend.

Figuur 6.1 toont de kansdichtheid van de waarderingen als functie van het Pw-getal. De som van de kansdichtheid onder iedere curve is gelijk aan 1. Er is dus geen rekening gehouden met verschillen in arealen van de verschillende waarderingen. De figuren zijn samengesteld met de gegevens uit de database van Oenema et al. (2016) waaraan het kenmerk 'Fosfaatwaardering' op basis van Tabel 6.2 is toegevoegd.



**Figuur 6.1** De kansdichtheid van de fosfaatwaarderingsklassen als functie van het Pw-getal voor bouwland en hoofdbodemgroepen.

De combinaties van P-CaCl<sub>2</sub>-, P-AL- en Pw-getallen in de database zijn vervolgens gebruikt om met behulp van regressiemodellen een corresponderende Pw-waarde te berekenen voor de klassegrenzen in Tabel 6.2. Dit is gedaan voor de combinaties van de vijf hoofdgrondsoorten en de twee landgebruiksvormen grasland en bouwland.

**Tabel 6.2** Pw-getallen die behoren de bij op de nieuwe fosfaatindicatoren gebaseerde klasse-indeling voor de vijf hoofdgrondsoorten.

	Grasland					Bouwland				
	Fosfaatwaardering					Fosfaatwaardering				
	arm	laag	neutraal	Ruim	hoog	arm	laag	neutraal	ruim	hoog
Zand	<25	25-30	30-35	35-45	>45	<34	34-40	40-46	46-52	>52
Löss	<31	31-37	37-44	44-58	>58	<43	43-51	51-58	58-64	>64
Rivierklei	<29	29-36	36-43	43-53	>53	<41	41-46	46-53	53-58	>58
Zeeklei	<24	24-29	29-35	35-44	>44	<33	33-38	38-42	42-47	>47
Veen	<24	24-30	30-35	35-45	>45	<33	33-38	38-44	44-50	>50

De laagste klassegrenzen zijn in het algemeen hoger gelegen dan in de oude indeling en de hoogste klassegrenzen zijn meestal lager (uitgezonderd löss en rivierklei). De klassen zijn smaller geworden. Dit leidt tot een snellere ontwikkeling van de fosfaattoestand naar de klasse 'neutraal'.

### 6.3 Gevolgen voor het LWKM

Doordat de onder- en bovengrens van de voorgestelde fosfaatwaarderingsklassen dichter bij elkaar liggen, neemt de gevoeligheid toe. Dit resulteert in een minder robuust systeem. De smallere klassen maken het model-technisch moeilijker om de fosfaatklassen correct te voorspellen. Dit leidt tot twee constatering:

1. De voorspellingen kunnen bij het meer gevoelige systeem van de nieuwe P-indicatoren worden verbeterd door het gebruik van gedetailleerdere gegevens. Idealiter wordt de fosfaattoestand in de toekomst voorspeld op basis van gemeten perceelgegevens.
2. Vanwege de grote gevoeligheid zal voor het gebruik van de rekenresultaten een minder gedetailleerde ruimtelijke indeling moeten worden gehanteerd, omdat het voorspellen van de juiste fosfaatklasse moeilijker is en de resultaten op gedetailleerd schaalniveau onvoldoende plausibel worden geacht. Het is niet te verwachten dat bij gebruik van gedetailleerdere gegevens het toepassingsbereik van de modeluitkomsten ten aanzien van de belasting van oppervlaktewater gedetailleerder wordt.

---

## 7 Aanpassingen KRW-Verkenner

In het rapport van Groenendijk et al. (2020) is een lijst met aanbevelingen opgesteld, niet alle aanbevelingen kunnen op de korte termijn worden gerealiseerd. Voor 2021 zijn een aantal mogelijk door te voeren verbeteringen aan de KRW-Verkenner geselecteerd die zowel van nut zijn voor LWKM1.2 als voor de ontwikkeling op de langere termijn (actie A t/m E). Voor de onderstaande acties A t/m E is per actie beschreven wat het probleem is, welke acties zijn uitgevoerd om het probleem te onderzoeken en of de bevindingen leiden tot een aanpassing in de software, data of schematisatie van het KRW-Verkennersmodel. Een rapportage met het overzicht van alle aanpassingen die zijn uitgevoerd aan het Landelijk KRW-verkenner model (versie LKM2.4), in vergelijking tot de versie die is ingezet voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (versie LKM2.5), zal eind 2021 worden uitgebracht (Van den Roovaart, 2021, *in voorbereiding*). Daarnaast verschijnt eind 2021 ook een achtergronddocument bij de ex-ante-studie voor de Stroomgebiedbeheerplannen (Van der Linden et al., 2021, *in voorbereiding*).

Het betreft de volgende aandachtspunten, zoals ook benoemd in de memo over het toepassingsbereik (Groenendijk et al., 2020):

- a. Doorgeven van eventuele gesignaleerde problemen met betrekking tot de beschikbare info over verblijftijden en volumes van wateren in de nieuwe LKM-berekeningen aan LHM met specifieke vragen. Wellicht kan dit nog leiden tot correcties in een toekomstige versie van LHMx5.0 in de ontwikkeling die voorzien is na de acceptatie van LHM4.2 voor waterkwaliteitsberekeningen.
- b. Doorgeven van beschikbare info over verblijftijden en volumes van wateren in de nieuwe LKM-berekeningen aan LHM met specifieke vragen. Wellicht kan dit nog leiden tot correcties in een toekomstige versie van LHM in de ontwikkeling die voorzien is na de acceptatie van LHM4.2 voor waterkwaliteitsberekeningen.
- c. Analyse verdeling RWZI-vrachten over het jaar. Op basis van eerdere analyses, gecombineerd met info van waterschappen check of een aangepaste verdeling (in de huidige versie is elk kwartaal gelijk) van de debieten en vrachten van de RWZI's over de vier kwartalen mogelijk is.
- d. Verbeteren koppeling Emissieregistratie-KRW-Verkenner. Niet alle afwateringseenheden worden meegenomen in de KRW-verkenner waardoor nu niet alle Emissie Registratie (ER) data zijn meegenomen. De totale atmosferische depositie van stikstof in de KRW-verkenner is bijvoorbeeld lager dan de getallen die in de ER-database voorkomen, ook voor de overige emissies kunnen er verschillen zijn met de ER-getallen. De koppeling tussen de afwateringseenheden en de knopen moet hiervoor verbeterd worden. Betreft ook de indeling in de deelstroomgebieden en aanpassing van de begrenzing van een aantal waterlichamen. Er is recentelijk een aantal waterlichamen samengevoegd, gesplitst en/of van naam/ID veranderd.
- e. Modelinstelling voor de verdamping in de waterkwaliteitsmodellering corrigeren, opdat de retentie van stoffen op een adequate manier wordt meegenomen. Hierbij hoort ook een herberekening van de correctiefactoren.
- f. Doorrekenen van de nieuwe LWKM-berekeningen voor de jaren 2010 t/m 2015, inclusief een herberekening van correctiefactoren en vergelijking met Nationale Analyse-berekeningen.

De bovengenoemde actie B wordt nader beschreven in paragraaf 7.1, acties A en D zijn gecombineerd en worden beschreven in paragraaf 7.2. Actie E is beschreven in paragraaf 7.3. Actie C zal worden beschreven in paragraaf 7.4, maar kon niet worden uitgevoerd in 2020. Deze actie is uitgevoerd in het kader van het klaarzetten van het instrumentarium voor de berekeningen van de ex ante SGBP3.

## 7.1 RWZI-vrachten

Vanuit de KRW-Verkenner-berekeningen die zijn uitgevoerd voor de NAW is een onderzoeksvraag naar voren gekomen betreffende RWZI's. De vraag is of het zin heeft om de jaarvrachten van de stoffen vanuit de effluenten van de RWZI's niet gelijk te verdelen over de kwartalen (zoals tot dusver wordt gedaan), maar om de verdeling genuanceerder uit te voeren. Het idee hierbij was dat de effluentvrachten van de RWZI's door diverse omstandigheden, zoals verdeling van de neerslag over het jaar, per kwartaal variëren en dat de kwaliteit van de KRW-Verkenner berekeningen mogelijk zou kunnen worden verbeterd, wanneer we daarmee rekening zouden houden. Hiertoe is, op basis van beschikbare gegevens, een analyse uitgevoerd.

Op een tweetal manieren is de analyse ingestoken: op basis van informatie over de afvoer van de RWZI's (beschreven in par. 7.1.1) en op basis van de aanvoer op de RWZI's (beschreven in par. 7.1.2). In paragraaf 7.1.3 zijn de conclusies beschreven.

### 7.1.1 Benadering via afvoer RWZI's

#### RWZI debieten

Voor de verdeling van RWZI-debieten over de kwartalen zijn de effluentvolumes in m<sup>3</sup>/s van de RWZI's in het Rijn-Noord-gebied bekeken. De data zijn afkomstig uit een lopende studie die door Deltares samen met WENR wordt uitgevoerd (Boderie et al., 2021). De RWZI's waarvoor data beschikbaar zijn, zijn:

- RWZI's in Wetterskip Fryslân.
- RWZI's in Waterschap Hunze en Aa's.
- De RWZI's Eelde en Delfzijl van Waterschap Noorderzijlvest.

In totaal zijn er in dit gebied veertig RWZI's waarvan voor alle kwartalen data beschikbaar zijn. Op deze data zijn twee analyses uitgevoerd:

1. Een selectie van RWZI's waar voor meer dan 300 dagen per jaar effluentdata zijn (zodat er geen toevallige piekafvoeren gemeten zijn) en een filter op de jaren 2012 t/m 2018, zodat er geen kwartalen zijn die in meer jaren voorkomen dan andere.
2. Een analyse op alle data van alle RWZI's zonder filtering op data.

Bij het verwerken van de data is steeds het gemiddelde debiet per kwartaal voor de verschillende jaren berekend. De hoeveelheid data binnen een kwartaal en de lengte van een kwartaal (90, 91 of 92 dagen) zijn dus niet van belang in de uitkomsten. Vervolgens is aan de hand hiervan berekend hoe een fractie van 1 verdeeld zou zijn over de kwartalen, waarbij geen rekening is gehouden met het aantal dagen in een kwartaal. De resultaten van de eerste analyse zijn weergegeven in Tabel 7.1.

**Tabel 7.1** Fractieverdeling van RWZI-effluent debieten per kwartaal voor een aantal RWZI's en gemiddeld met gefilterde data. De kleuren geven de relatieve bijdrage weer aan het jaarlijkse debiet. Hoe roder de kleur, hoe kleiner de bijdrage en hoe blauwer de kleur, hoe groter de bijdrage.

RWZI	Fractie Qtr1	Fractie Qtr2	Fractie Qtr3	Fractie Qtr4
Assen	0.28	0.22	0.23	0.27
Bellingwolde	0.28	0.22	0.24	0.26
Delfzijl	0.30	0.21	0.23	0.26
Eelde	0.29	0.21	0.22	0.27
Foxhol	0.28	0.21	0.24	0.27
Gieten	0.26	0.23	0.25	0.26
Hoogezand	0.26	0.22	0.25	0.27
Oude Pekela	0.27	0.22	0.25	0.26
Scheemda	0.29	0.22	0.23	0.26
Scheve Klap	0.30	0.21	0.21	0.28
Stadskanaal	0.26	0.23	0.25	0.26
Ter Apel	0.26	0.23	0.25	0.26
Tweede Exloërmond	0.26	0.23	0.25	0.26
Veendam	0.27	0.23	0.25	0.26
Vriescheloo	0.26	0.23	0.25	0.26
<b>Gemiddeld</b>	<b>0.27</b>	<b>0.22</b>	<b>0.24</b>	<b>0.26</b>



De resultaten van de tweede analyse zijn weergegeven in Tabel 7.2.

Uit Tabel 7.1 en 7.2 volgt dat de twee methoden vrij weinig verschil maken. Ze laten duidelijk zien dat het eerste en het vierde kwartaal gemiddeld een iets hogere afvoer kennen dan het tweede en het derde kwartaal. Het tweede kwartaal is in beide analyses het kwartaal met de laagste afvoeren.

**Tabel 7.2** *Fractieverdeling van RWZI-effluent debieten per kwartaal voor een aantal RWZI's en gemiddeld met ongefilterde data. De kleuren geven de relatieve bijdrage weer aan het jaarlijkse debiet. Hoe roder de kleur, hoe kleiner de bijdrage en hoe blauwer de kleur, hoe groter de bijdrage.*

RWZI	Fractie Qtr1	Fractie Qtr2	Fractie Qtr3	Fractie Qtr4
Akkrum	0,30	0,17	0,27	0,26
Assen	0,28	0,22	0,23	0,27
Bellingwolde	0,28	0,22	0,24	0,26
Birdaard	0,31	0,19	0,21	0,29
Bolsward	0,26	0,21	0,27	0,26
Burgum	0,29	0,18	0,27	0,27
Damwoude	0,25	0,17	0,24	0,34
Delfzijl	0,30	0,20	0,22	0,27
Dokkum	0,25	0,17	0,26	0,32
Drachten	0,28	0,22	0,24	0,25
Eelde	0,30	0,21	0,22	0,28
Foxhol	0,28	0,21	0,24	0,27
Franeker	0,28	0,21	0,22	0,29
Garmerwolde	0,30	0,23	0,20	0,27
Gieten	0,26	0,23	0,25	0,26
Gorredijk	0,25	0,19	0,26	0,29
Grou	0,28	0,17	0,26	0,28
Harlingen	0,27	0,21	0,24	0,28
Heerenveen	0,28	0,23	0,25	0,23
Hoogezand	0,26	0,22	0,25	0,27
Joure	0,27	0,22	0,25	0,25
Kootstertille	0,31	0,18	0,25	0,27
Leeuwarden	0,27	0,20	0,24	0,29
Lemmer	0,24	0,21	0,25	0,30
Oosterwolde	0,24	0,20	0,28	0,29
Oude Pekela	0,27	0,22	0,25	0,26
Scheemda	0,29	0,22	0,23	0,27
Scheve Klap	0,30	0,21	0,21	0,28
Sint Annaparochie	0,31	0,19	0,22	0,28
Sloten	0,25	0,20	0,26	0,28
Sneek	0,29	0,20	0,25	0,26
Stadskanaal	0,26	0,23	0,25	0,26
Ter Apel	0,26	0,23	0,25	0,26
Tweede Exloërmond	0,26	0,23	0,25	0,26
Veendam	0,27	0,23	0,24	0,26
Vriescheloo	0,26	0,23	0,25	0,26
Warns	0,26	0,19	0,28	0,27
Wijnjewoude	0,23	0,20	0,27	0,30
Wolvega	0,29	0,19	0,27	0,25
Workum	0,25	0,24	0,26	0,25
<b>Gemiddeld</b>	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>

### Nutriënten concentraties in RWZI-effluenten

Voor de verdeling van nutriënten concentraties over de kwartalen zijn de effluent concentraties van de RWZI's in het Rijn-Noord-gebied bekeken. De RWZI's waar data van beschikbaar is zijn:

- RWZI's in Wetterskip Fryslân.
- RWZI's in Waterschap Hunze en Aa's.
- De RWZI's Eelde, Delfzijl en Garmerwolde van Waterschap Noorderzijlvest.

Net als voor de effluentdata, zijn er in totaal veertig RWZI's in dit gebied waar voor alle kwartalen data van beschikbaar zijn. Om de verdeling van de nutriëntenconcentraties in de RWZI-effluenten te kunnen berekenen, is per jaar per kwartaal de gemiddelde concentratie voor totaalstikstof en totaalfosfor uitgerekend. Bij het vaststellen van dit gemiddelde is geen rekening gehouden met het debiet (niet debiet-proportioneel). Vervolgens is voor ieder jaar een 'fractie' van de opgetelde concentratie van de vier kwartalen uitgerekend. Deze waarde heeft weinig fysieke betekenis, maar maakt het gemakkelijker om de concentraties uit de verschillende kwartalen met elkaar te vergelijken. Door deze 'fracties' eerst per jaar voor alle RWZI's te middelen en daarna een gemiddelde over de jaren te nemen, kan de gemiddelde verdeling van de concentraties berekend worden. Deze verdeling is weergegeven in Tabel 7.3.

**Tabel 7.3** Fractieverdeling van concentraties van totaalstikstof en totaalfosfor in RWZI-effluent per kwartaal voor veertig RWZI's. De kleuren geven de relatieve bijdrage weer aan het jaarlijkse debiet. Hoe roder de kleur, hoe kleiner de bijdrage en hoe blauwer de kleur, hoe groter de bijdrage.

	Qtr1	Qtr2	Qtr3	Qtr4
P-'fractie'	0,20	0,26	0,31	0,23
N-'fractie'	0,31	0,24	0,21	0,24

Uit de resultaten is duidelijk te zien dat de P-concentraties het hoogst zijn in het derde kwartaal, terwijl de N-concentraties het hoogst zijn in het eerste kwartaal. De reden hiervoor is niet geheel duidelijk, maar een mogelijkheid zou kunnen zijn dat P-concentraties oplopen bij een lager debiet, omdat de vracht gelijk blijft en N-concentraties oplopen wanneer temperaturen dalen. Dit zou te maken kunnen hebben met de verminderde activiteit van de bacteriën in koudere periodes die de denitrificatie doen plaatsvinden.

### Nutriënten vrachten in RWZI-effluenten

De verdeling van de nutriëntenvrachten over het jaar zijn berekend aan de hand van de RWZI-debieten uit de eerste analyse onder het kopje *RWZI-debieten* en de bekende concentraties onder het kopje *Nutriënten concentraties in RWZI-effluenten*. Een koppeling is gemaakt op basis van RWZI en datum waardoor een lijst met debieten en concentraties op dezelfde dagen bij dezelfde RWZI overblijft. In totaal elf RWZI's voldoen hieraan en dat zijn er dus minder dan de veertig RWZI's uit de analyse die hierboven is beschreven. Op basis van deze informatie zijn de vrachten voor de elf RWZI's berekend. Deze vrachten zijn vervolgens gemiddeld binnen alle gelijke kwartalen in verschillende jaren. Wederom is hier per kwartaal de fractie van het totaal van de vier kwartalen berekend (zie Tabel 7.4).

Uit deze vrachtberekeningen blijkt dat de P-vrachten nagenoeg gelijk verdeeld zijn over de kwartalen (alsnog moet gelet worden op de duur van de kwartalen welke hier voor gelijk wordt aangenomen). De N-vrachten daarentegen verschillen sterk door het jaar. Bijna een derde van de vracht vindt plaats in het eerste kwartaal, de overige kwartalen laten onderling minder grote verschillen zien. Wanneer we kijken naar de individuele RWZI's zien we dat het beeld voor P zeker niet eenduidig is. De RWZI's laten onderling grote verschillen zien in de verdeling van de vracht. Voor de N-fracties is dit anders: hier is het eerste kwartaal bij alle elf onderzochte RWZI's het hoogst.

Voor het interpreteren van deze resultaten is het belangrijk de volgende aspecten in beschouwing te nemen:

- De kwartalen zijn niet alle even lang, waarvoor gecorrigeerd zou moeten worden. De verwachting is dat deze correctie de resultaten van de analyse niet wezenlijk zal veranderen.
- De RWZI's zijn niet debiet-gewogen meegenomen in de gemiddelden, mogelijk gedragen grote RWZI's zich anders dan kleinere waardoor het beeld verstoord raakt. Dit is een nadere analyse die we nu niet goed kunnen uitvoeren, omdat we hier onvoldoende data voor beschikbaar hebben.

**Tabel 7.4** Fractieverdeling van vrachten van totaalstikstof en totaalfosfor in RWZI-effluent per kwartaal voor elf RWZI's en gemiddeld. De kleuren geven de relatieve bijdrage weer aan het jaarlijkse debiet. Hoe roder de kleur, hoe kleiner de bijdrage en hoe blauwer de kleur, hoe groter de bijdrage.

<b>Fracties P</b>					
<b>RWZI</b>	<b>Qtr1</b>	<b>Qtr2</b>	<b>Qtr3</b>	<b>Qtr4</b>	
Assen	0,35	0,25	0,20	0,20	
Bellingwolde	0,14	0,30	0,37	0,19	
Delfzijl	0,22	0,25	0,28	0,25	
Eelde	0,15	0,21	0,36	0,28	
Foxhol	0,35	0,38	0,17	0,10	
Gieten	0,26	0,24	0,17	0,33	
Hoogezand	0,30	0,32	0,20	0,18	
Scheemda	0,19	0,28	0,24	0,29	
Stadskanaal	0,16	0,27	0,23	0,33	
Veendam	0,17	0,24	0,37	0,22	
Vriescheloo	0,22	0,15	0,37	0,25	
<b>Gemiddeld</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,24</b>	
<b>Fracties N</b>					
<b>RWZI</b>	<b>Qtr1</b>	<b>Qtr2</b>	<b>Qtr3</b>	<b>Qtr4</b>	
Assen	0,38	0,20	0,17	0,24	
Bellingwolde	0,30	0,23	0,23	0,24	
Delfzijl	0,35	0,26	0,18	0,21	
Eelde	0,26	0,23	0,26	0,24	
Foxhol	0,40	0,26	0,19	0,15	
Gieten	0,38	0,23	0,15	0,24	
Hoogezand	0,34	0,23	0,19	0,23	
Scheemda	0,33	0,21	0,18	0,28	
Stadskanaal	0,40	0,21	0,16	0,23	
Veendam	0,28	0,21	0,27	0,24	
Vriescheloo	0,30	0,21	0,21	0,29	
<b>Gemiddeld</b>	<b>0,34</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,24</b>	

### 7.1.2 Benadering via aanvoer naar RWZI's

#### Debieten RWZI-influent

De belasting van RWZI's gedurende het jaar is ingeschat aan de hand van de EmissieRegistratie factsheet 'Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's' (EmissieRegistratie, 2020a). Hieruit blijkt dat de hydraulische belasting op RWZI's is opgebouwd uit afstromend hemelwaterafvalwater en rioolvreemd water (zie Tabel 7.5).

**Tabel 7.5** Verdeling van debieten van aanvoer op RWZI's naar herkomst (EmissieRegistratie, 2020a).

<b>Herkomst</b>	<b>Aanvoer 2014 (miljoen m<sup>3</sup>)</b>
afstromend hemelwater	522,3
afvalwater	961,2
rioolvreemd water	357,8

Door aan te nemen dat afstromend hemelwater een-op-een gelinkt is aan de hoeveelheid neerslag in een kwartaal, kan dit jaarlijkse debiet verdeeld worden over de kwartalen. Voor afvalwater wordt aangenomen dat dit voor alle kwartalen gelijk is. Voor rioolvreemd water wordt aangenomen dat dit voor de helft gelijk verdeeld kan worden over de kwartalen en voor de andere helft de verdeling van de neerslag volgt. Wanneer voor verschillende jaren deze verdeling uit 2014 wordt aangehouden en de landelijk gemiddelde neerslag voor het betreffende jaar wordt gebruikt voor de verdeling van het afstromend hemelwater en rioolvreemd water, komen we op de verdelingen van de totale hydraulische belasting van RWZI's over de kwartalen zoals weergegeven in Tabel 7.6.

## Fracties jaardebiet

Tabel 7.6 laat zien dat de hydraulische belasting van RWZI's in de tweede helft van het jaar ca. 10% hoger ligt dan in de eerste helft van het jaar. Wel moet opgemerkt worden dat er grote verschillen tussen de jaren aanwezig zijn.

**Tabel 7.6** Verdeling van het nationaal totaal jaardebiet van aanvoer op RWZI's over de kwartalen voor een reeks van jaren. De kleuren geven de relatieve bijdrage weer aan het jaarlijkse debiet. Hoe roder de kleur, hoe kleiner de bijdrage en hoe blauwer de kleur, hoe groter de bijdrage.

Jaar	Qtr1	Qtr2	Qtr3	Qtr4
2012	0,21	0,24	0,26	0,29
2013	0,22	0,23	0,25	0,30
2014	0,23	0,24	0,28	0,25
2015	0,25	0,19	0,30	0,25
2016	0,27	0,27	0,23	0,23
2017	0,23	0,21	0,30	0,27
2018	0,26	0,24	0,24	0,25
2019	0,25	0,22	0,25	0,28
<b>Gemiddeld</b>	<b>0,24</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>

## Vrachten in RWZI-influent

Uit informatie van CBS, CLO-indicator 0085 (EmissieRegistratie, 2020b), blijkt dat de belasting van het rioolstelsel met stikstof en fosfor in 2018 voor respectievelijk 86% en 89% afkomstig was van de bron 'Consumenten direct naar riool'; de volgende grootste bron is 'Industrie direct naar riool' met respectievelijk 8% en 7% voor stikstof en fosfor. Van beide bronnen wordt aangenomen dat deze aanzienlijk verschillen tussen de kwartalen, omdat deze minder afhankelijk zijn van weerseffecten, wat zou resulteren in min of meer gelijke stikstof- en fosforvrachten naar de RWZI's voor de verschillende kwartalen.

De emissies van RWZI's naar oppervlaktewater zijn niet alleen afhankelijk van de aanvoer van nutriënten naar de RWZI, maar ook van het zuiveringsrendement.

### 7.1.3 Conclusies

Uit paragraaf 7.1.1 kunnen we concluderen dat met de toegepaste methode de verdeling van de vrachten over de kwartalen voor totaalfosfor nauwelijks lijkt af te wijken van een gelijke verdeling van de jaarvracht over de kwartalen. Hierbij zien we wel grote verschillen tussen individuele RWZI's. Voor totaalstikstof wijkt de verdeling wel fors af van gelijke verdeling over de kwartalen: daar zien we een duidelijke verhoging in het eerste kwartaal (34% i.p.v. 25% met een gemiddelde verdeling). Ook voor totaalstikstof zien we grote verschillen tussen de RWZI's, maar wel altijd een hoogste fractie in kwartaal 1.

Bij een ruwe analyse van de aanvoer van vrachten naar de RWZI (par. 7.1.2) blijkt nauwelijks een verschil in kwartalen te verwachten.

We zien grote verschillen tussen individuele RWZI's, zowel wat betreft debieten als concentraties. De verwachting is dat een aantal factoren hierbij een rol speelt: de ligging van de RWZI (en de daaraan gekoppelde neerslag), de grootte van de RWZI en de technische aspecten van de RWZI (zuiveringsgraad). Ook zien we in paragraaf 7.1.2 grote verschillen in de landelijke totalen van jaar tot jaar, hoogstwaarschijnlijk het gevolg van het specifieke neerslagpatroon van een jaar. Een factor die vermoedelijk een rol speelt maar waar niet specifiek naar is gekeken, is het waarschijnlijk hogere zuiveringsrendement door hogere gemiddelde temperaturen in de zomerperiode (en grotere microbiële activiteit) in vergelijking met de winterperiode. Dit zou zeker bij totaalstikstof een rol kunnen spelen.

---

Gezien de onzekerheden in de analyse, het beperkte aantal RWZI's waarop de analyse in paragraaf 7.1.1 is uitgevoerd en de mogelijke tegenstrijdigheden in de bevindingen van paragraaf 7.1.1. en 7.1.2, wordt ervoor gekozen om voorlopig de huidige gehanteerde standaard evenredige verdeling van de RWZI-effluent vrachten over het jaar aan te houden (dus ook voor de studie ex ante SGBP3, die in 2021 zal worden uitgevoerd). Wanneer er gegevens over meer RWZI's beschikbaar zijn, kan worden overwogen om een nadere analyse uit te voeren. Dit onderwerp wordt opgenomen in de lijst met mogelijke verbeterpunten voor de KRW-Verkenner.

## 7.2 Foutief stoftransport via verdamping

### 7.2.1 Aanleiding

In de KRW-Verkenner-versie die voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit (NAW) is gebruikt, is een fout gevonden. De bedoeling was dat de waterbalansmodule van de KRW-Verkenner het debiet van de verdampingstermen op nul zou staan als default-instelling. Deze functionaliteit werkt echter niet, omdat het herkennen van de verdampingstermen ten onrechte hoofdlettergevoelig is. Het resultaat is dat de verdampingstermen meekomen in de invoer voor DELWAQ<sup>1</sup>. Aangezien DELWAQ geen speciale verdampingsvoorziening heeft, en dus de verdamping 'meekomt' in de invoer van DELWAQ, kan er ook stof via deze fluxen het systeem verlaten. Dit heeft geleid tot het onbedoeld 'mee verdampen' van stoffen, samen met de (wel bedoelde) verdamping van water. Dit is dus een onterechte verliespost. Doordat we voor de nutriënten in de KRW-Verkenner correctiefactoren gebruiken die het verschil tussen de met het model berekende en de gemeten nutriëntenconcentraties corrigeren, is er geen direct nadelig gevolg van de fout in de NAW-berekeningen. Desalniettemin is de fout ongewenst en is deze gecorrigeerd. De correctie betreft een nieuwe versie van Wabacore.exe, zodat vanuit de waterbewegingssom de verdampingsfluxen niet meer mee komen en dit in DELWAQ niet meer een verliespost voor stoffen is. De nieuwe versie van Wabacore is opgenomen in de nieuwe versie van de KRW-Verkenner (versie 2.4.1), die in april 2021 is opgeleverd en beschikbaar is op de site [www.krwwerken.nl](http://www.krwwerken.nl).

### 7.2.2 Testen van de gecorrigeerde verdampingsflux

Omdat deze correctie een verwachte verhoging van de stofconcentraties in het oppervlakte water zal opleveren, lijkt het logisch om ook de retentiefactor aan te passen. Hiervoor zal de retentie worden 'teruggezet' naar eerder gerapporteerde retentiesettings (Cleij et al., 2018; zie ook Roovaart et al., 2012) waarbij ook retentie in SWU's wordt meegenomen. Details van de testen (locaties en gebruikte scripts) zijn beschreven in Bijlage 3.

Voor de tests zijn voor de historische jaren 2010-2015 invoer bestanden klaargezet. Er zijn vijf modelscripts klaargezet:

- Test 1a controleert of de modelresultaten uit de Nationale analyse gereproduceerd kunnen worden (met gebruik van de oude wabacore.exe).
- Test 1b genereert (met gebruik van de oude wabacore.exe) een modelresultaat zonder retentie. Deze kan vergeleken worden met Model 1c.
- Test 1c genereert (met gebruik van de nieuwe wabacore.exe) een modelresultaat zonder retentie. Deze zal als gevolg van de correctie (geen verlies van stof meer via verdamping) een grotere stofconcentratie moeten opleveren dan het modelresultaat van 1b.
- Test 1d genereert (met gebruik van de nieuwe wabacore.exe) een nieuw modelresultaat met retentie, waarbij de gerapporteerde default-retentiesettings zijn gebruikt.
- Test 1e bepaalt de correctiefactoren voor het modelresultaat van de nieuwe berekening (1d).

De resultaten en bevindingen van de uitgevoerde tests zijn hieronder beschreven.

---

<sup>1</sup> DELWAQ: Waterkwaliteits- en ecologiemodule in Delft3D, zie <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/delwaq>

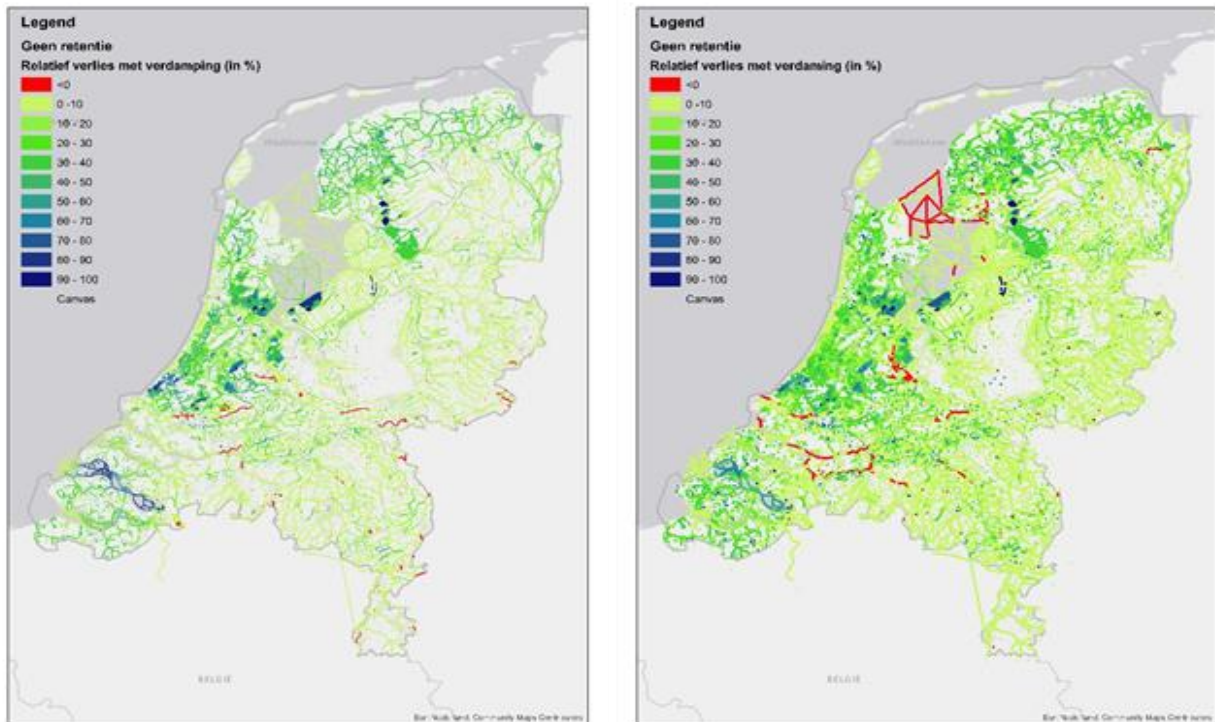
## Test Modelscript 1a

Resultaten:

- De flow-resultaten zijn exact gelijk.
- De waq-resultaten zijn gelijk, maar tonen hier en daar minimale afrondingsverschillen.
- De invoer is gelijk aan de invoer die is gebruikt voor de Nationale Analyse, dus de invoer kan gebruikt worden om testberekeningen uit te voeren.

## Test Modelscript 1b en 1c

Om te bepalen hoeveel stof er verloren gaat door verdamping, hebben we de resultaten van som 1b (evap bug, geen retentie) en 1c (zonder evap bug, geen retentie) met elkaar vergeleken. Figuur 7.1 toont het relatieve verschil in N- en P-concentraties tussen som 1b en 1c en geeft een indicatie van de orde grootte van de verliespost en de ruimtelijke verdeling.



**Figuur 7.1** Relatief verschil (in %) tussen modelresultaten met en zonder verdamping voor N-totaal (links) en P-totaal (rechts).

De verwachting was dat zonder verdamping van stoffen (dus in de versie 1c zonder evap bug) hogere concentraties berekend zouden worden. Uit Figuur 7.1 blijkt echter dat lokaal de concentratie ook kan dalen (rood gekleurde waterlichamen) wanneer zonder de verdampingsbug wordt gerekend (berekening 1c). Dit kwam ook naar voren in de gevoeligheidsanalyse. Het is belangrijk om nader te onderzoeken of de verdampingsterm goed in Wabacore zit en waar de emissies als gevolg van verdamping door veroorzaakt worden. Opvallend is ook dat er verschillen bestaan in de locaties met rood gekleurde waterlichamen tussen N en P.

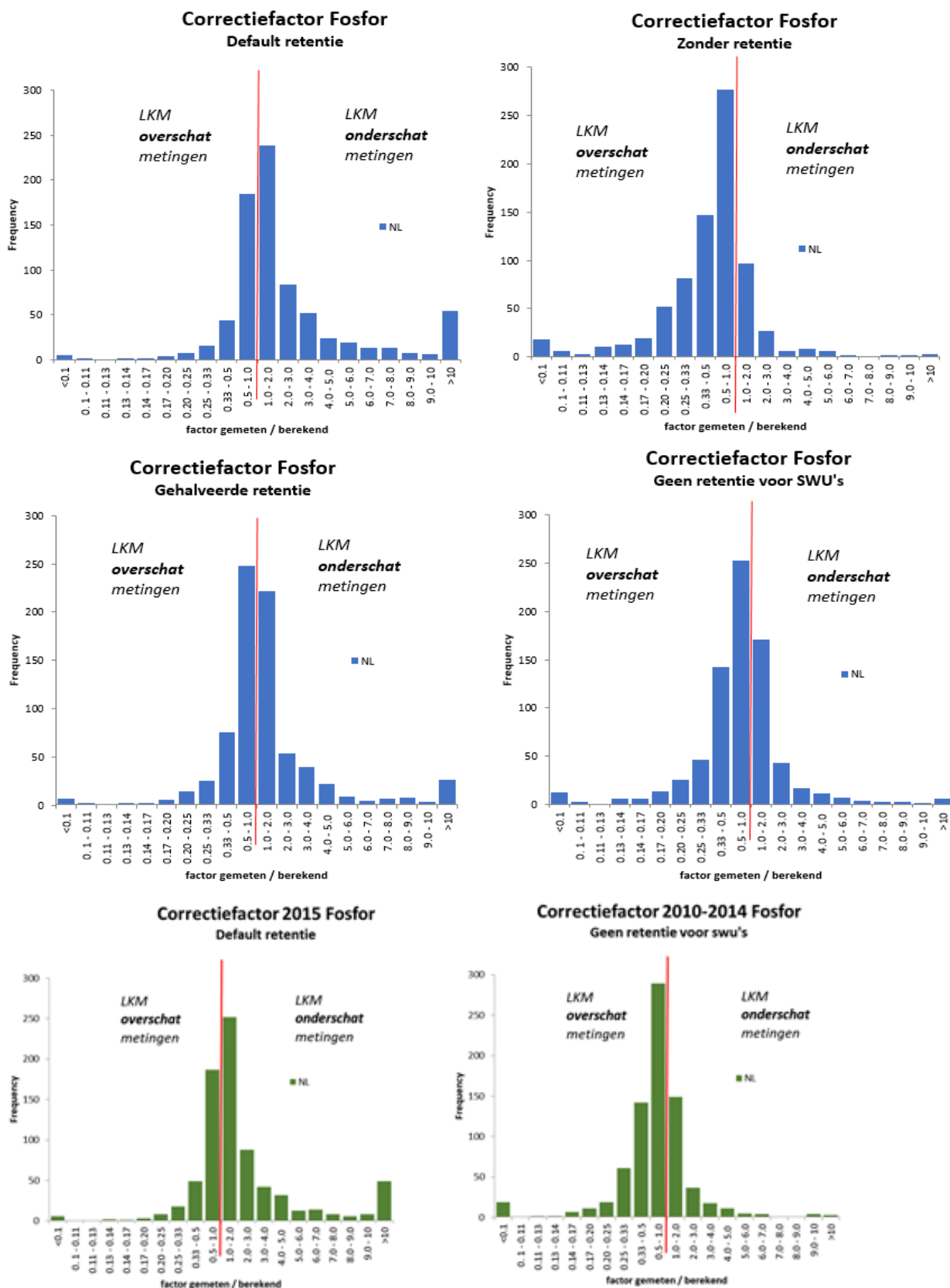
Daarnaast lijken de waarden in Figuur 7.1 in het algemeen hoog (30-40%) tot soms zeer hoog (70-80%), wat onrealistisch hoge percentages lijken. Waar we soms juist hogere percentages verwachten, zoals bij het IJsselmeer (relatief veel verdamping), zien we in Tabel 7.7 juist lage percentages (3% voor N, 0% voor P). Tegelijk zien we voor gebieden waar we een beperkte verdamping verwachten (regionale wateren) soms hoge percentages (laag-Nederland). De forse verschillen tussen hoog- en laag-Nederland zijn vooralsnog ook niet goed te verklaren.

**Tabel 7.7** Gemiddelde relatieve afname in concentratie van N-totaal en P-totaal als gevolg van verdamping van stoffen door de verdampingsbug voor verschillende onderdelen van de watersysteemschematisering.

Categorie	Gemiddelde relatieve afname in concentratie (oppervlaktewater) als gevolg van de verdamping van stoffen (in %)	
	N-totaal	P-totaal
Dummy	23%	15%
HoogNederland_b	6%	6%
HoogNederland_s	7%	7%
LaagNederland_b	25%	23%
LaagNederland_s	26%	20%
Maas	3%	2%
Markermeer	13%	8%
Randmeren-Oost	10%	8%
Rijn	6%	2%
IJssel	1%	2%
IJsselmeer	3%	0%

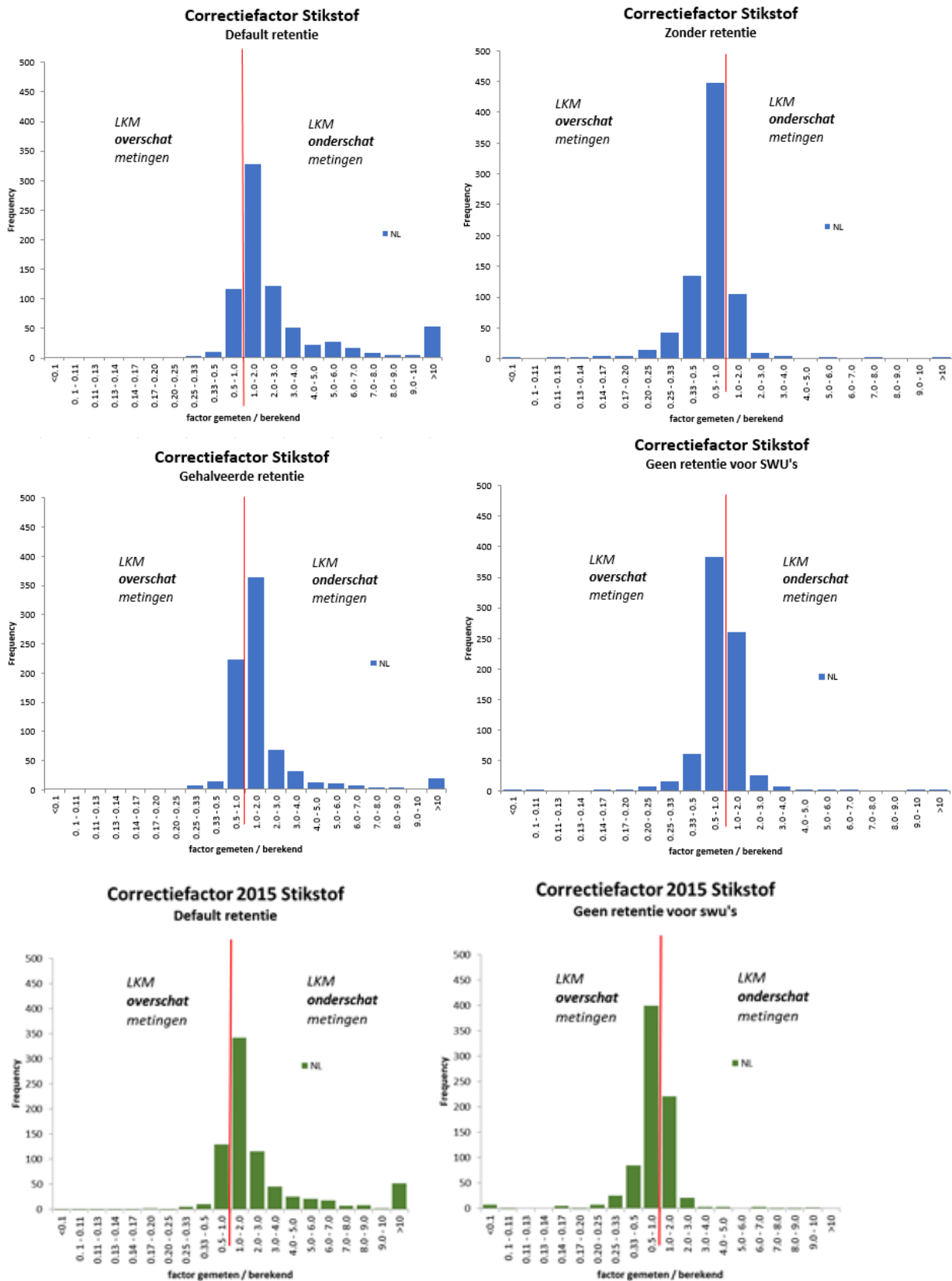
### Vergelijking model performance modelscript 1a, 1d en 1e

Figuur 7.2 en Figuur 7.3 tonen een vergelijking tussen de correctiefactoren voor de verschillende retentie-instellingen en berekeningen met en zonder verdamping als verliespost in DELWAQ.



**Figuur 7.2** Histogram van aantal SWU's ('frequency') per grootteklasse van de correctiefactor voor zomergemiddeld P-totaal voor het jaar 2015. De correctiefactor geeft aan of het LKM de P-totaal-concentraties overschat (links van de rode lijn) of onderschat (rechts van de rode lijn). In groen de resultaten van de berekeningen met de nieuwe wabacore executable, zonder verdamping van stoffen.





**Figuur 7.3** Histogram van aantal SWU's ('frequency') per grootteklasse van de correctiefactor voor zomergemiddeld N-totaal voor het jaar 2015. De correctiefactor geeft aan of het LKM de N-totaal-concentraties overschat (links van de rode lijn) of onderschat (rechts van de rode lijn). In het groen de resultaten van de berekeningen met de nieuwe wabacore executable, zonder verdamping van stoffen.

De correctiefactoren geven een indicatie van de mate van onder-/overschatting van het model t.o.v. de metingen. Aangezien er stof verloren ging met de verdampingsbug hadden we de verwachting dat de correctie de onderschatting van het model bij de default-retentiesettings verholpen zou hebben. De verdeling van de histogrammen is echter voor en na de correctie vrijwel gelijk. Ook de foutfactoren laten niet de verbetering zien die we verwacht hadden. Sterker nog, de modelresultaten van de berekeningen zonder retentie in de SWU's leveren juist weer een iets slechtere foutfactor t.o.v. berekening met evap-bug.

De resultaten geven geen eenduidig beeld en zijn niet in lijn met onze verwachting. Het is dus lastig om conclusies te trekken over de gevolgen en effectiviteit van de correctie. Op basis van deze test is het ook nog niet mogelijk om de juiste retentie-instellingen/-waarden te bepalen. Er zullen nog meer testberekeningen uitgevoerd moeten worden om meer grip te krijgen op deze fout.

**Tabel 7.8** Resultaten berekeningen zonder verdampingsbug. Foutfactor (95%), Bias Factor (BF) en Model Efficiëntie (ME) bij gebruik van ongecorrigeerde LKM 2.4-modelresultaten op SWU-niveau voor verschillende retentie configuraties.

Retentie configuratie	N-totaal			P-totaal		
	Foutfactor (95%)	BF	ME	Foutfactor (95%)	BF	ME
1. Default retentie	14,04	0,43	-4,85	13,94	0,55	-1,11
2. Zonder retentie	3,62	1,45	-0,37	7,70	1,76	-0,28
3. Gehalveerde retentie	6,60	0,65	-1,88	8,25	0,82	-0,34
4. Geen retentie voor SWU's	3,28	1,06	-0,13	6,74	1,29	-0,10

**Tabel 7.9** Resultaten berekeningen met verdampingsbug. Foutfactor (95%), Bias Factor (BF) en Model Efficiëntie (ME) bij gebruik van ongecorrigeerde LKM 2.4-modelresultaten op SWU-niveau voor verschillende retentie configuraties.

Retentie configuratie	N-totaal			P-totaal		
	Foutfactor (95%)	BF	ME	Foutfactor (95%)	BF	ME
1. Default retentie	13,35	0,45	-4,59	13,14	0,58	-1,0
2. Zonder retentie	5,30	1,68	-1,31	10,13	2,05	-0,62
3. Geen retentie voor SWU's	4,17	1,90	-0,63	8,07	1,45	-0,31

### 7.2.3 Voorlopige conclusies

In de huidige modelopzet (met de verdampingsbug) zorgt onterechte verdamping van stoffen voor verlies van N en P, wat leidt tot een onderschatting van de N- en P-concentraties. De vergelijking van de berekeningen zonder retentie en zonder de verdampingsbug laat zien hoeveel er verdwijnt zonder verdamping. Verwachting was dat zonder de verdampingsbug hogere concentraties berekend zouden worden en de onderschatting bij de default-retentiesettings verholpen zou zijn. De grafiek met correctiefactoren laat echter zien dat ook zonder de verdampingsbug de concentraties nog onderschat worden als gerekend wordt met default-retentiesettings.

Er is een aantal onderwerpen dat nader moet worden geanalyseerd om de testgegevens te verklaren en om te kunnen beslissen of voor komende beleidsevaluaties met de nieuwe versie zonder fout kan worden gerekend. Dit betreft vooral:

- Waterbalansen opstellen om te controleren of verdamping goed in het model is opgenomen.
- Nagaan wat de oorzaak is van geconstateerde 'negatieve verdamping' (zie Figuur 7.1 en Tabel 7.7).
- Nagaan wat de oorzaak is van de in het algemeen hoge verdamping en de geconstateerde verschillen tussen de gebieden (zie Tabel 7.7).
- Nagaan wat de achtergrond is van de verslechterde Model Efficiëntie bij het herstellen van de fout.
- Bij deze analyse zal ook nader worden gekeken naar mogelijke geconstateerde vreemde waarden voor verblijftijden en volumes van wateren, zoals die vanuit LHM worden overgenomen in het LKM (actie A).

Deze nadere analyse kan niet worden uitgevoerd vóór de ex-ante-SGBP3-studie. Daarom zal voor die studie worden gerekend met de KRW-Verkenner versie 2.4.1, maar waarin we dan de bug weer introduceren door de verdampfingsfluxen een specifieke naam te geven. Dit ook om mogelijke ongewenste en onverklaarbare verschillen tussen de berekeningsresultaten van de NAW en de ex ante SGBP3 te voorkomen. Omdat voor de ex ante SGBP3, net als de NAW, wordt gewerkt met correctiefactoren voor de nutriënten, heeft de bug geen directe gevolgen voor de berekende nutriëntenconcentraties. De nadere analyse is opgenomen in de lijst met acties voor 2021 vanuit het beheer en onderhoud voor de KRW-Verkenner (KPP-project WN02).

## 7.3 Nieuwe emissies uit de bodem

De aanpassingen in de hydrologie, zoals in hoofdstuk 2 en 3 beschreven, zijn doorgevoerd in nieuwe berekeningen met LWKM1.2. Dit betreft berekeningsresultaten voor de historische jaren 2010 t/m 2015. Deze data zijn ingelezen in de KRW-Verkenner met als doel de output van de KRW-Verkenner op basis van de nieuwe LWKM-data uit de bodem te vergelijken met de output op basis van de LWKM-data die voor de NAW zijn gebruikt. Zodoende kan een indruk worden verkregen van de mate van verandering in de belasting van het oppervlaktewater en de impact daarvan op de concentraties in oppervlaktewater van totaalstikstof en totaalfosfor en het doelbereik in de KRW-waterlichamen.

### 7.3.1 Veranderingen in de emissies uit de bodem

Bij het omzetten van de emissies uit de bodem naar invoergegevens voor de KRW-Verkenner worden de emissies uit landbouw en natuur direct berekend uit de LHM-afvoer, gecombineerd met de ANIMO-gegevens. Voor de emissies uit de bodem in stedelijk gebied wordt dit afgeleid van de ANIMO- resultaten voor de natuur, omdat ANIMO hier niet voor rekent (zie Van der Bolt et al., 2020). Wanneer we de emissies uit de bodem omzetten naar invoergegevens voor de KRW-Verkenner en sommeren voor heel Nederland, kunnen we de verschillen van de NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem per jaar met elkaar vergelijken (zie Tabel 7.10). We zien daarbij de volgende verschillen: voor totaalstikstof zijn de nieuwe emissies uit de bodem tussen de 4-5% hoger dan de NAW-emissies uit de bodem en voor totaalfosfor 1-2% hoger.

**Tabel 7.10** *Vergelijking invoer KRW-Verkenner met NAW-emissies uit de bodem en nieuwe emissies uit de bodem voor totaalstikstof en totaalfosfor voor de jaren 2010-2015 (inclusief de emissies uit stedelijk gebied die niet in de ANIMO-bestanden zitten maar door Deltares worden berekend).*

Stof	Jaar	NAW <sup>1</sup>	LWKM1.2	Vershil
		Kiloton jaar <sup>-1</sup>	Kiloton jaar <sup>-1</sup>	%
Stikstof	2010	53,0	55,7	5
	2011	44,5	46,3	4
	2012	51,5	53,7	4
	2013	44,7	46,5	4
	2014	41,5	43,1	4
	2015	56,4	58,9	4
	Fosfor	2010	4,2	4,2
2011		3,8	3,8	1
2012		4,6	4,7	2
2013		3,9	4,0	1
2014		3,6	3,7	1
2015		4,9	5,0	2

<sup>1)</sup> Nationale Analyse Waterkwaliteit.

Wanneer we voor het jaar 2015 inzoomen op de componenten van de emissies uit de bodem (Tabel 7.11) zijn er forse verschillen. De post-landbouw run-off (vooral voor stikstof) neemt af en tegelijkertijd neemt de stedelijke run-off toe. Beide posten zijn relatief klein in vergelijking tot de totale belasting waardoor ook de totale verschillen tussen de NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem beperkt zijn.

**Tabel 7.11** De NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem voor totaalstikstof en totaalfosfor, opgesplitst naar de componenten, voor het jaar 2015 (inclusief de emissies uit stedelijk gebied die niet in de ANIMO-bestanden zitten, maar door Deltares worden berekend).

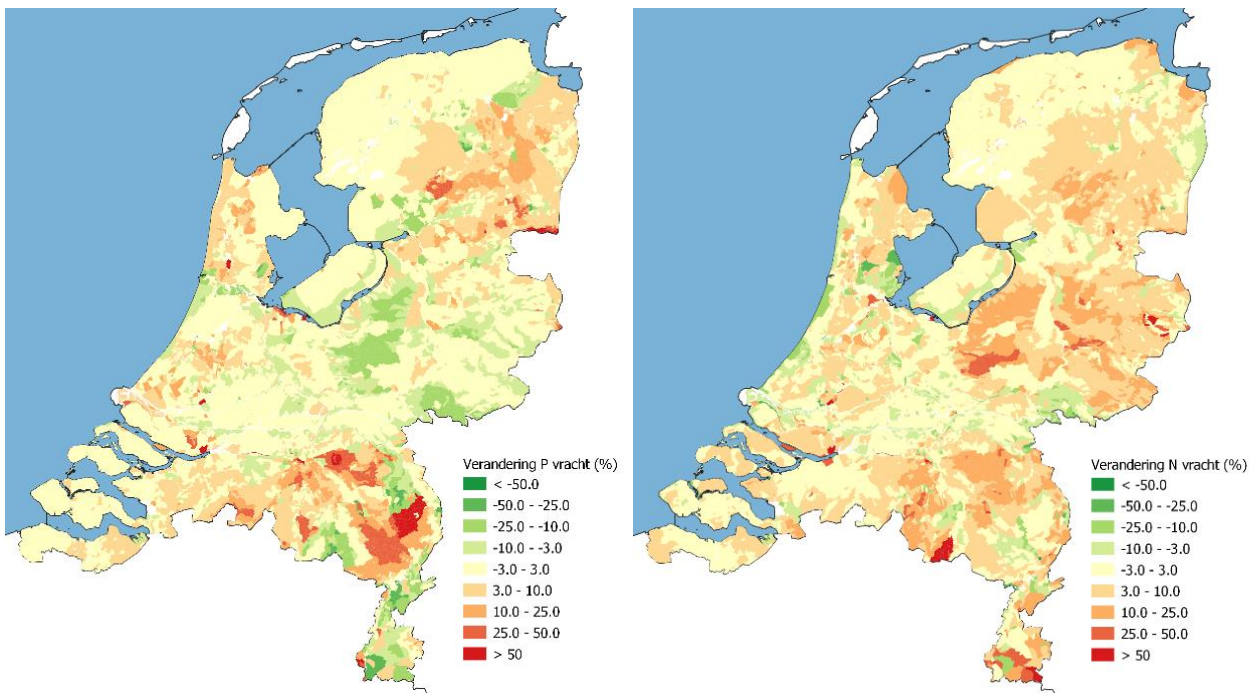
Jaar	NAW <sup>1</sup>	LWKM1.2	Vershil
Stikstof	Kiloton jaar <sup>-1</sup>	Kiloton jaar <sup>-1</sup>	%
Landbouw drainage	43.817	46.283	6
Landbouw run-off	411	151	-63
Natuur drainage	5.807	5.885	1
Natuur run-off	63	63	0
Stedelijk drainage	6.260	6.369	2
Stedelijk run-off	88	99	12
<b>Fosfor</b>			
Landbouwdrainage	3.808	3.902	2
Landbouw run-off	49	42	-14
Natuurdrainage	428	425	-1
Natuur run-off	8	8	-3
Stedelijke drainage	575	568	-1
Stedelijke run-off	9	10	14

Wanneer we voor het jaar 2015 verder inzoomen naar de data per kwartaal, zien we forse verschillen in de veranderingen per component tussen de kwartalen (Tabel 7.12). Grote verschillen tussen de kwartalen bij posten die relatief klein zijn, zoals landbouw run-off, natuur run-off en stedelijke run-off, hebben weinig impact op de totale veranderingen. Wel zien we dat met name de grootste post voor stikstof, landbouwdrainage, meer toeneemt in kwartaal 1 en 4 dan in de twee zomerkwartalen. Dit zal betekenen dat de impact van de toename van de belasting met totaalstikstof in de nieuwe emissies uit de bodem op de verslechtering van de concentratie van het zomergemiddelde (waarmee voor de KRW het doelbereik wordt bepaald) minder groot zal zijn dan je op grond van de jaartotaaltoename zou verwachten.

**Tabel 7.12** Vergelijking invoer KRW-Verkenner met NAW-emissies uit de bodem en nieuwe emissies uit de bodem voor totaalstikstof en totaalfosfor, opgesplitst naar de componenten en de vier kwartalen, voor het jaar 2015 gesommeerd over heel Nederland (inclusief de emissies uit stedelijk gebied die niet in de ANIMO-bestanden zitten, maar door Deltares worden berekend).

2015												
	NAW <sup>1</sup>	LWKM	Ver-	NAW <sup>1</sup>	LWKM	Ver-	NAW <sup>1</sup>	LWKM	Ver-	NAW <sup>1</sup>	LWKM1.2	Vershil
		1.2	schil		1.2	schil		1.2	schil			
<b>Stikstof</b>												
Landbouwdrainage	19.41	20.678	7%	4.909	5.123	4%	4.449	4.596	3%	15.048	15.887	6%
Landbouw run-off	108	71	-35%	96	11	-88%	176	46	-74%	31	23	-27%
Natuurdrainage	2.675	2.705	1%	788	798	1%	587	599	2%	1.758	1.874	1%
Natuur run-off	21	22	5%	8	7	-15%	20	19	-2%	14	15	6%
Stedelijke drainage	2.804	2.856	2%	773	794	3%	696	697	0%	1.987	2.022	2%
Stedelijke run-off	11	14	28%	11	17	49%	53	53	-1%	13	16	25%
<b>Fosfor</b>												
Landbouwdrainage	1.662	1.704	3%	336	349	4%	404	414	2%	1.406	1.435	2%
Landbouw run-off	20	18	-8%	2	1	-68%	16	13	-22%	10	10	-1%
Natuurdrainage	183	182	0%	47	47	0%	51	51	-1%	147	146	-1%
Natuur run-off	3	3	-5%	1	1	7%	2	2	-2%	3	3	-4%
Stedelijke drainage	243	241	-1%	58	58	0%	71	69	-3%	203	200	-1%
Stedelijke run-off	1	1	4%	1	1	69%	5	5	8%	2	2	13%

Figuur 7.4 toont de verschillen in de belasting van het oppervlaktewater tussen de NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem. Het valt op dat de verschillen voor stikstof vooral in Oost- en Zuid-Nederland optreden en voor fosfor met name in Noord- en Zuid-Nederland. Vooral de toename in Zuid-Nederland lijkt hier relevant, omdat daar in het algemeen de stikstof- en fosfor-concentraties al het hoogste zijn.



**Figuur 7.4** Verschillen (%) in belasting oppervlaktewater tussen de NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem voor totaalstikstof (links) en totaalfosfor (rechts) voor het jaar 2015. Een toename in belasting is een positief verschil (rood), een afname is een negatief verschil (groen).

### 7.3.2 Doelbereik

Om een indruk te krijgen van de effecten van de nieuwe emissies uit de bodem op het doelbereik in de waterlichamen, is ook deze berekening uitgevoerd. Tabel 7.13 geeft de resultaten.

**Tabel 7.13** Doelbereik van waterlichamen voor totaalstikstof en totaalfosfor voor alle waterlichamen en opgesplitst naar regionale wateren en rijkswateren met gebruik van de NAW-emissies uit de bodem en de nieuwe emissies uit de bodem voor het jaar 2015.

Type water	Stof	Oordeel	NAW (%)	LWKM1.2 (%)	Vershil (%)
Alle waterlichamen	Stikstof	Goed	44,0	43,4	-0,6
	Stikstof	Matig	38,7	38,8	0,2
	Stikstof	Ontoereikend	13,2	13,5	0,3
	Stikstof	Slecht	4,1	4,3	0,2
	Fosfor	Goed	49,9	50,2	0,3
	Fosfor	Matig	33,5	32,7	-0,8
	Fosfor	Ontoereikend	10,0	10,4	0,5
	Fosfor	Slecht	6,6	6,6	0,0
Regionaal	Stikstof	Goed	44,4	43,7	-0,6
	Stikstof	Matig	38,5	38,7	0,2
	Stikstof	Ontoereikend	12,9	13,2	0,3
	Stikstof	Slecht	4,2	4,4	0,2
	Fosfor	Goed	48,9	49,3	0,3
	Fosfor	Matig	34,1	33,3	-0,8
	Fosfor	Ontoereikend	10,2	10,7	0,5
	Fosfor	Slecht	6,8	6,8	0,0
Rijkswateren	Stikstof	Goed	37,5	37,5	0,0
	Stikstof	Matig	40,6	40,6	0,0
	Stikstof	Ontoereikend	18,8	18,8	0,0
	Stikstof	Slecht	3,1	3,1	0,0
	Fosfor	Goed	68,8	68,8	0,0
	Fosfor	Matig	21,9	21,9	0,0
	Fosfor	Ontoereikend	6,3	6,3	0,0
	Fosfor	Slecht	3,1	3,1	0,0

We zien dat de impact van de aangepaste data op het doelbereik beperkt is: voor alle waterlichamen samen zijn er geen veranderingen groter dan 1% in de verschillende klassen. Wanneer we de waterlichamen opsplitsen in de regionale en de rijkswateren, zien we dat de verschillen alleen voorkomen in de regionale wateren. Voor de rijkswateren zijn er geen veranderingen. Dit is niet vreemd, gezien de beperkte invloed van de landbouwemissies op de rijkswateren. Voor de regionale wateren zien we voor stikstof een kleine afname van wateren in de klasse goed en een zeer lichte stijging in de andere klassen. Voor fosfor is het beeld iets anders, daar zien we een afname in de klasse matig en een toename in zowel de klassen goed als ontoereikend. Deze relatief kleine verschillen kunnen goed worden veroorzaakt door de ruimtelijke verdeling van de veranderingen.

### 7.3.3 Conclusies

De conclusie van de uitgevoerde berekeningen met de vernieuwde ANIMO-data is dat er verschillen zijn met de NAW-berekeningen die verwacht worden (omvang van de verschillen zijn beperkt, vooral veranderingen in bepaalde regio's) en dat de doorvertaling van de nieuwe data naar doelbereik laat zien dat de verschillen met de NAW zeer gering zijn. Voor de ex-ante-SGBP3-studie zullen nieuwe ANIMO-data worden gebruikt, waarin nog meer aanpassingen zijn gedaan dan in de hier beschreven berekeningen zijn opgenomen. Uit deze analyse volgen geen verdere acties.

## 7.4 Waterlichamen en afwateringseenheden

### 7.4.1 Afwateringseenheden EmissieRegistratie

Bij de NAW is gebleken dat er verschillen optreden bij het importeren van emissievrachten vanuit de EmissieRegistratie (ER) naar de KRW-Verkenner. Het betreft weliswaar verschillen in de orde van procenten, maar er is toch nagegaan waardoor dit optreedt en onderzocht is of het mogelijk is om deze verschillen op te heffen.

Omdat de KRW-verkenner enkel de zoete wateren dekt, zijn uit de vergelijking de zoute wateren en de kuststroken weggelaten. Daarnaast zijn ook de gebieden België en Duitsland uit de vergelijking gelaten. Zie de rode gebieden in onderstaande figuur.



**Figuur 7.5** Groene gebieden zijn de gebieden waarvoor de koppeling ER-LKM dient te worden gemaakt.

**Tabel 7.14** Overzicht met percentage oppervlak van de GAF-gebieden (ER), die niet zijn gekoppeld aan de LKM-schematisering.

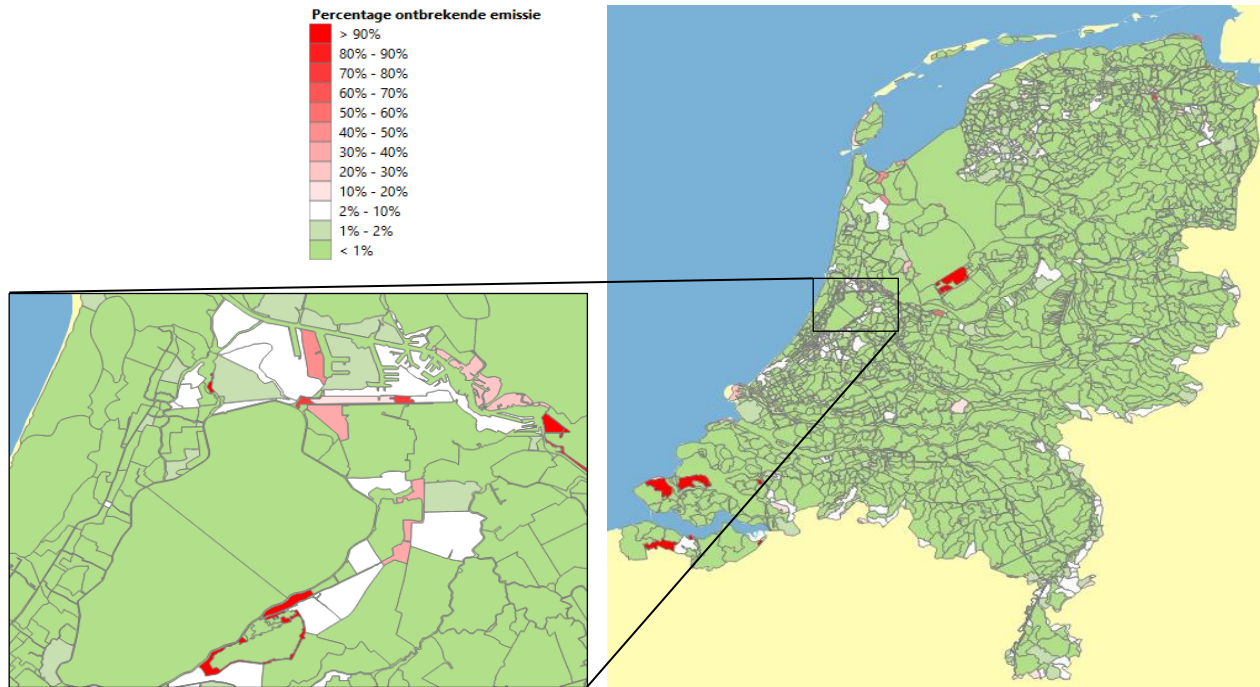
Stroomgebied	Niet gekoppeld
Eems	0,69%
Maas	0,57%
Rijn-Noord	0,47%
Rijn-Oost	0,74%
Rijn-West	0,98%
Schelde	3,99%
Nederland (geheel)	1,14%

De gebiedseenheden in de EmissieRegistratie worden GAF-eenheden genoemd. Van het resterende oppervlak van de GAF-eenheden (de groene gebieden in bovenstaande figuur) is 1.14% niet gekoppeld aan de LKM-schematisering.

Een deel van het niet gekoppelde oppervlak wordt veroorzaakt doordat de GAF-eenheden niet geheel overlappen met de gebieden van de KRW-verkenner (de kleine stroomgebieden in de KRW-Verkenner worden Local Surface Waters genoemd: LSW's). De stukken van de GAF-eenheden die niet binnen een LSW vallen, worden toegekend aan de oppervlaktewateren die binnen dit overgebleven stuk van de GAF-eenheid liggen (de oppervlaktewateren in de KRW-Verkenner worden Surface Water Units genoemd: SWU's). In gevallen waarin er geen SWU binnen het overgebleven stuk van de GAF-eenheid ligt, wordt deze niet gekoppeld aan de LKM-schematisering en wordt een deel van de ER-vrachten dus niet meegenomen. Dit

geldt voor alle vrachten die als diffuse bron op deze GAF-eenheden worden geloosd. In de Nationale Analyse zijn ook industriële bronnen als diffuse bron meegenomen in de GAF-eenheden; in de betreffende GAF-eenheden zullen ook de industriële bronnen missen.

Figuur 7.6 geeft de indeling in de GAF-gebieden. De groene gebieden zijn goed gekoppeld, rode gebieden niet of niet voor de volledige 100% van het GAF-oppervlak. In de uitsnede is ingezoomd op een gebied met relatief veel niet (geheel) gekoppelde GAF-eenheden.



**Figuur 7.6** Overzicht van GAF-eenheden en de mate waarin deze gekoppeld zijn met de LKM-schematisering.

Voor een aantal GAF-eenheden geldt dat zij in het geheel niet gekoppeld zijn aan de schematisering: de grotere rode vlakken in Zeeland, Zeeuws-Vlaanderen en de Oostvaardersplassen. Hier zijn de LSW's die de GAF-eenheid overlappen, gekoppeld aan een andere, onbekende, GAF-code. De oorzaak hiervan is nog niet duidelijk.

De conclusie voor dit moment is dat de mismatch die optreedt in de koppeling tussen de ER-GAF-eenheden en de LKM-schematisering beperkt in omvang is: ca. 1% van het oppervlak met de daarbij behorende vrachten van diffuse en industriële bronnen, behalve de bronnen die met het LWKM worden berekend en de RWZI's. Toch dient dit verder uitgezocht te worden, vooral omdat op bepaalde locaties grotere oppervlakken niet goed in de koppeling worden meegenomen.

#### 7.4.2 Aanpassingen KRW-oppervlaktewaterlichamen

Van het Informatiehuis Water (IHW) zijn de bestanden opgevraagd met de shapefiles van de oppervlaktewateren in SGBP3, zoals die eind 2020 door de waterbeheerders zijn aangeleverd aan het IHW. Deze shapefiles zijn vergeleken met de shapefiles van het SGBP2 waar de huidige LKM-schematisatie op is gebaseerd. Aanname bij deze vergelijkingen is dat de waterlichamen correct in de huidige schematisatie aanwezig zijn.

Allereerst is in GIS een verschilkaart tussen de SGBP2- en SGBP3-waterlichamen gemaakt waarin alle waterlichamen die meer dan 5 m van elkaar verschillen, zijn opgenomen. Deze verschilkaart is versneden op de LSW-kaart. Dit resulteert in 1919 (stukken van) waterlichamen welke in SGBP3 afwijken van SGBP2 en 1384 (stukken van) waterlichamen welke in SGBP2 afwijken van SGBP3. Omdat een groot aantal waterlichamen in SGBP3 een andere code heeft gekregen dan in SGBP2, is een koppeltabel gebruikt om aan de SGBP3-codes een SGBP2-code toe te voegen.



---

Een groot deel van deze verschillen is opgelost door de bestaande koppelingen tussen waterlichamen en SWU's aan te passen.

Daarna bleven nog 428 verschillen over die individueel bekeken zijn. In een aantal gevallen zijn er nieuwe SWU's gemaakt, waarbij ook nieuwe links (verbindingen tussen de SWU's) zijn toegevoegd.

In totaal zijn circa 2000 SWU's en enkele tientallen links en flows aangepast.

#### 7.4.3 Conclusies

De mismatch in de koppeling van de ER met de KRW-Verkenner is opgelost binnen het ex-ante-SGBP3-project. Dit is beschreven in de veranderrapportage (Van den Roovaart, 2021, *in voorbereiding*), die hoort bij het vaststellen van de nieuwe versie van het LKM (versie 2.5). Deze rapportage is opgenomen in de activiteiten vanuit het beheer en onderhoud van de KRW-Verkenner (KPP project WN02).

---

## 8 Conclusies en discussie

Ten opzichte van LWKM 1.0 en LWKM 1.1 resulteren het uitsluiten van modelartefacten, het vervangen van de hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten, het aanvullen tot het volledige areaal landbouw- en natuurgronden en de resterende onvolkomenheden in de hydrologische modelinvoer voor de voor weerseffecten gecorrigeerde rekenresultaten van LWKM1.2 in:

- Kleinere trends in grondwaterstanden en vrijwel constante afvoeren naar het oppervlaktewater.
- Veelal ondiepere grondwaterstanden die resulteren op landelijk niveau in:
  - Een kleine afname van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater.
  - Een kleine toename van de stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater.
- Op het niveau van de LMM-hoofdgrondsoortgebieden zijn ook gebieden waarin:
  - de nitraatconcentraties iets toenemen.
  - de stikstof- en fosforvrachten juist afnemen.
- Beperkte effecten voor de minder gedetailleerde gebiedsindelingen als gevolg van het opschalen van lokaal grotere veranderingen. Dit effect is schaalafhankelijk.

Het met LWKM1.2 corrigeren van hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten zorgt ervoor dat een groot deel van de oorzaken voor trends is geëlimineerd. Hierdoor zijn de resultaten robuuster voor de beoogde beleidstoepassingen in 2021. De tekortkomingen in de hydrologische invoer zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet volledig opgelost: ondanks de correctie van extreme waarden blijven de grondwaterstanden te laag, zijn de afvoeren niet of nauwelijks veranderd en blijkt de hydrologische modelinvoer voor de eerste jaren van de referentieperiode niet voor alle rekeneenheden in evenwicht. Voor deze rekeneenheden resteren (kleine) trends in grondwaterstanden die op het niveau van de LMM-hoofdgrondsoortgebieden in beperkte mate doorwerken in de berekende afvoeren naar het oppervlaktewater en geen effect hebben op de berekende verdamping.

De analyse van de gecorrigeerde rekenresultaten heeft nieuwe oorzaken van het ontstaan van ongewenste trends in weersonafhankelijk berekende grondwaterstanden geïdentificeerd, die samen blijken te hangen met de hydrologische modellering. Om de resterende trends in grondwaterstanden te elimineren, is het noodzakelijk voor de berekeningen voor LWKM2.0 om:

- Een voldoende lange aanloopperiode voor de hydrologische berekeningen te hanteren.
- Het wettelijk verplichte vanggewas mee te nemen in de berekening van de referentie.
- Alle rekeneenheden te kalibreren en de daarbij gehanteerde criteria aan te scherpen.

De tekortkomingen in de hydrologische modelresultaten van LHM3.5.1 die de basis vormen voor de waterkwaliteitsmodellering zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet opgelost. De beperkingen in de toepasbaarheid van de resultaten ten aanzien van de ruimtelijke schaal zijn door de gerealiseerde verbeteringen niet opgeheven. De conclusies ten aanzien van de plausibiliteit van LWKM1.0 en 1.1 (Van der Bolt et al., 2020) blijven onveranderd voor LWKM1.2 van toepassing. De met LWKM berekende nitraatconcentraties in grondwater, de N- en P-vrachten door uit- en afspoeling en de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater kunnen alleen in opgeschaalde vorm voor grotere gebieden (deelstroomgebieden en waterschappen) als plausibel worden beschouwd. Vergelijken van resultaten van rekenvarianten kan voor de emissies uit landbouwgronden op het niveau van waterlichaamgebieden en voor natuurgronden op het niveau van stroomgebieden. De betrouwbaarheid van de resultaten verschilt tussen de gebieden.

De emissies uit natuur zijn nog niet getoetst aan metingen. Verkend is met welke meetdata en hoe een toetsing kan worden gerealiseerd. Om de emissies uit natuur per GAF-eenheid te bepalen, is gezocht naar een gebiedsindeling voor het clusteren van de emissies uit natuurbodems met een vergelijkbare theoretische betrouwbaarheid als de gebiedsindeling voor landbouwbodems.

---

Dit resulteert in een indeling in 166 deelgebieden voor natuur waarvoor de frequentieverdeling van het aantal *rekenenheden* vergelijkbaar is met de frequentieverdeling van het aantal rekenenheden voor de 629 gebieden voor landbouw. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat met de theoretische benadering de plausibiliteit van de resultaten voor natuur voldoende wordt geborgd.

Voor de berekening van de gebiedsgemiddelde uitspoelvrachten per GAF-gebied is de voor LWKM1.1 geformaliseerde werkwijze ongewijzigd toegepast. De som van de gesplitste arealen landbouw en natuur is gelijk aan de eerdere aan ER geleverde gecombineerde totale arealen landbouw en natuur. De emissies zijn door de gerealiseerde correcties gewijzigd. De andere gebiedsindelingen voor de emissies landbouw en de emissies natuur kunnen aanvullend tot kleine herverdelingen in emissies leiden in gebieden met weinig NatuurHRU's.

Voor de karakterisering van de fosfaattoestand worden vanaf 2021 het P-AL-getal en het P-CaCl<sub>2</sub>-getal in combinatie gebruikt. ANIMO kan met deze nieuwe indicatoren uit de voeten. Doordat de onder- en bovengrens van de voorgestelde nieuwe fosfaatwaarderingsklassen dicht bij elkaar liggen, neemt de gevoeligheid toe, hetgeen modelmatig resulteert in een minder robuust systeem.

De emissies uit de bodem zijn in beperkte mate veranderd: voor totaalstikstof zijn de nieuwe emissies uit de bodem 4 tot 5% hoger dan de voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit gebruikte emissies uit de bodem en voor totaalfosfor 1 tot 2%. De toename van de emissies wordt voor stikstof gerealiseerd in voornamelijk Oost- en Zuid-Nederland en voor fosfor met name in Noord- en Zuid-Nederland. Deze toename is groter in het winterhalfjaar dan in het zomerhalfjaar, waardoor het effect op de zomerconcentraties en het doelbereik beperkt is: de verschuiving van het aantal waterlichamen in de verschillende klassen is niet groter dan 1%. De verschillen komen alleen voor in regionale wateren.

De verbeteringen in de toepassing van de KRW-Verkenner hebben nauwelijks effect:

De herverdeling van de vrachten uit RWZI's over de kwartalen leidt voor totaalfosfor tot nauwelijks andere resultaten dan een gelijke verdeling van de jaarvracht over de kwartalen, voor totaalstikstof wordt in het eerste kwartaal een grotere vracht berekend. De verschillen tussen individuele RWZI's kunnen voor zowel stikstof als fosfor groot zijn en ook worden grote verschillen tussen jaren berekend, waarschijnlijk het gevolg van de neerslag. Een ruwe analyse van de aanvoer van vrachten naar de RWZI laat echter zien dat nauwelijks een verschil in kwartalen mag worden verwacht. Daarom wordt op basis van deze analyse de evenredige verdeling van de RWZI-effluentvrachten over het jaar vooralsnog aangehouden.

## **Discussie**

Voor de totstandkoming van LWKM1.2 zijn verbeteracties uitgevoerd die door het uitsluiten van trends door modelartefacten bij gelijkblijvende modelfunctionaliteit leiden tot robuustere resultaten voor de beoogde beleidstoepassingen in 2021. Feitelijk is een nieuw toepassingsmodel gecreëerd dat opnieuw gekalibreerd en gevalideerd zou moeten worden. Dat is een majeure operatie en daarom, en omdat de hydrologische modelinvoer voor LWKM1.2 net als voor de eerdere versies afkomstig is uit LHM3.5.1, is voor LWKM1.2 a priori volstaan met een toetsing via een integrale analyse. Het is noodzakelijk kalibraties te beperken tot het uitbrengen van Long Term Stable Releases i.e. versies met grote veranderingen in data of concepten en in resultaten.

Om de hydrologische data van het LHM correct in het LWKM te kunnen toepassen, is in het LHM extra aandacht nodig om de fluxen in cellen met hoofdwaterlopen te onderscheiden in (grotendeels regionale) stroming rechtstreeks naar de hoofdwaterlopen en (lokale) stroming naar de overige ontwateringssystemen in een cel. De consistentie in het LWKM kan worden vergroot door de dekking van de SVAT's (van de 550.000 LHM-SVAT's zijn er ruim 400.000 toegekend als 'ANIMO'-SVATs) uit te breiden door in ANIMO meer relevante landgebruiksvormen mee te nemen, zoals de categorie 'groen in stedelijke omgeving'. Om voor de weersonafhankelijke berekeningen trends in de grondwaterstanden te elimineren, is het noodzakelijk met een langere aanloopperiode te rekenen, om het wettelijk verplichte vanggewas in de kalibratie mee te nemen en om alle rekenenheden te kalibreren (waarbij de kalibratiecriteria indien nodig moeten worden aangescherpt).

---

Een essentiële voor LWKM2.0 te realiseren verbetering is om de toetsing op hydrologische extremen zo vroeg mogelijk in het proces (bij de overgang van LHM naar de SVAT's) te laten plaatsvinden door de toets toe te passen op de SVAT's en naar de meest gelijkende SVAT te zoeken. Dit vergroot de zoekruimte en de kans op succes en ook maakt dit dat nog dichterbij de waterbalans van LHM wordt gebleven. De toetsing op en correctie van hydrologisch extreme HRU's wordt hierdoor overbodig: wanneer de SVAT's in een HRU aan de criteria voldoen, zal het gemiddelde voor de HRU ook aan de criteria voldoen. Dit resulteert in de volgende aanbevelingen voor acties gericht op LWKM 2.0:

- Trends identificeren en controleren op hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten op de SVAT's als onderdeel van het acceptatietraject van de hydrologische invoer en niet op de HRU's.
- Na acceptatie de controle op trends en het controleren op hydrologisch-landbouwkundig weinig plausibele resultaten toepassen op de SVAT's om consistentie te borgen.
- Vervangen van SVAT's met hydrologisch-landbouwkundige weinig plausibele resultaten door de meest nabijgelegen gelijkende SVAT.
- Kalibreren van SVAT's met trends, waarbij aangescherpte kalibratiecriteria worden gebruikt.
- Vanggewassen introduceren in SVAT's waar dat nodig is en deze SVAT's kalibreren.
- Met de gecorrigeerde SVAT's HRU's samenstellen. Door voorgaande acties kunnen de HRU's géén extremen kennen, dat er geen trends zouden kunnen ontstaan is minder triviaal.
- Voor de correctie voor weersinvloeden een aanloopperiode van dertig jaar gebruiken om stabiele initiële randvoorwaarden te creëren.
- Controleren of er daadwerkelijk geen trends meer voorkomen voor alle HRU's.

Berekende effecten zijn afhankelijk van de klimaatreeks (tot nu toe 1981-2010, vanaf 2021 wordt dat de periode 1991-2020). De recentere klimaatreeks geeft een beter beeld van de effecten van het recentste klimaat. Bij de overgang van klimaatreeksen is het noodzakelijk veranderingen in de berekende effecten van maatregelvarianten te analyseren en te controleren of de modellen moeten worden aangepast of uitgebreid. Om de veranderingen in de tijd beter te kunnen volgen en te kunnen toetsen aan metingen, is het cruciaal om de modellen aan te passen en in LHM en LWKM en met in de tijd variërend grondgebruik en gewasrotaties te gaan rekenen.

---

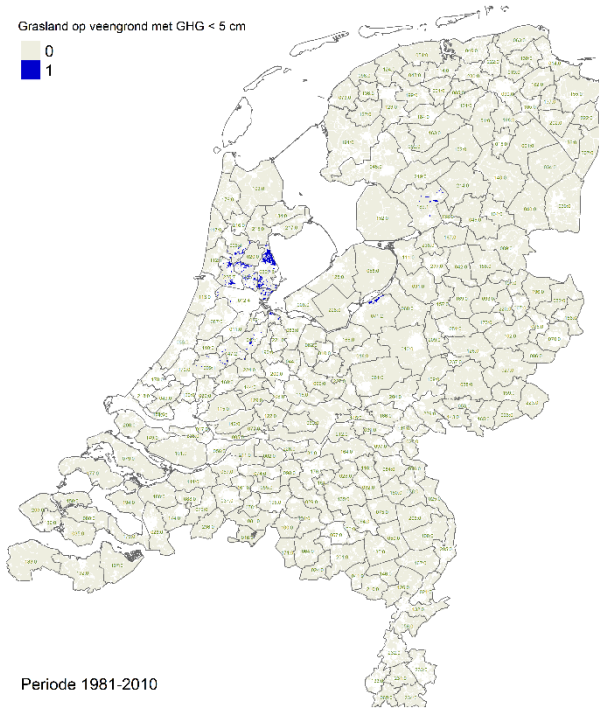
# Literatuur

- Bodemkaart van Nederland, 1980. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Boderie, P., R. Wortelboer, W. Altena, E. Meijers, P. Schipper (WEnR), 2021. *Regionale Pilot Kennisimpuls Waterkwaliteit Rijn-Noord*. Deltares-rapport 11202710-002-ZWS-0007.
- Boekel, E. M. P. M. (2009). *Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE model: organischestofgehalte in de ondergrond*. (Alterra-rapport; No. 1830). Alterra.
- Boumans, L.J.M., E.J.W. Wattel-Koekkoek & E. van der Swaluw, 2013. *Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties Verzuring en vermisting 1989-2010*. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 680720005/2012.
- Burgering, L.M.T., P.E.V. van Walsum, A.A. Veldhuizen, H.T.L. Massop, J.C. Hunink, G.F., Prinsen, J. Verkaik, F.J.E. van der Bolt en T. Kroon. LHM 3.2.0; Ontwikkeling, beheer en onderhoud van het LHM. Deltares rapport 1230075-000-BGS-0001, 2016
- De Nijs, A.C.M., P. Bellen. A.M.A. van der Linden en S.wuijts, 2009. *Selectie van stoffen voor het KRW Meetnet Grondwater*. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 680182001/2009.
- De Vries, W., 1993. *De chemische samenstelling van bodem en bodemvocht van duingronden in de provincie Zuid-Holland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 280.
- De Vries, W., L.J.M. Boumans, A.F.M. Olsthoorn & E.E.J.M. Leeters, 1995. *Chemische samenstelling van naalden, bodem, bodemvocht en grondwater van twaalf monitoring-locaties onder bos*. Wageningen; Netherlands, Winand Staring Centre for Integrated Soil and Water Research. Staring Centre Report 370.1.
- De Vries, W., J.W. Erisman, H. van Dobben, A. van Pul & A. van Hinsberg, 2002. Verzuringbeleid werpt vruchten af: Kosten en effecten emissie beleid dienen in de pas te lopen. *Arena* 7, 8-9.
- De Vries, W. & E.E.J.M. Leeters, 2001. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 150 forest stands in the Netherlands in 1990. Wageningen (Netherlands), Alterra, Green World Research. Alterra rapport 424.1.
- Fraters B., A.E.J. Hooijboer, A. Vrijhoef, A.C.C. Plette, N. van Duijnhoven, J.C. Rozemeijer, M. Gosseling, C.H.G. Daatselaar, J.L. Roskam en H.A.L. Begeman (2020), Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2016-2019) en trend (1992- 2019); De Nitraatrapportage 2020 met de resultaten van monitoring van de effecten van de EU Nitraatrichtlijn. RIVM Rapport 2020-0121.
- Groenendijk, Piet., Leo Renaud, Erwin van Boekel, Frank van der Bolt, Sibren Loos, Joost van den Roovaart, Annemieke Marsman, Timo Kroon, Annelotte van der Linden, 2020. *Toepassingsbereik modelberekeningen voor de Nationale Analyse Waterkwaliteit. Samenvatting*; Wageningen Environmental Research, Deltares, MEMO.
- Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels, T. de Koeijer, 2016. *Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren; Het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2749.
- Groenendijk, P., Renaud, L. V., & Roelsma, J. (2005). Prediction of nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface waters; process descriptions of the animo4.0 model. (Alterra-report; No. 983). Alterra.
- Hunink, J.C., P.E.V. van Walsum, P.T.M. Vermeulen, J.R. Pouwels, H.P. Bootsma, G.M.C.M. Janssen, W. Swierstra, G.F. Prinsen, A. Meshgi, A.A. Veldhuizen, W.J. de Lange, J. Hummelman, L.M.T. Bos-Burgering en T. Kroon, 2019. *Veranderingsrapportage LHM 4.0; Actualisatie van het lagenmodel, het topsysteem en de bodem-plant relaties*. Deltares rapport 11203718-000-BGS-0001.
- Jansen, 2018. Grondwaterkwaliteitsdatabase
- Klap, J.M., W. de Vries & E.E.J.M. Leeters, 1999a. *Effects of acid atmospheric deposition on the chemical composition of loess, clay and peat soils under forest in the Netherlands*. Wageningen. Staring Centre Report 97.1.

- 
- Klap, J.M., J. Kros & W.A. de Boer, 1999b. *Chemische samenstelling van bodem en grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa: inventarisatie ten behoeve van de parametrisatie en validatie van de standplaatsmodule van het GREINS-model*. Netherlands, Wageningen. Staring Centrum Rapport 541, NBP Onderzoeksrapport 12.
- Klein, J., Rozemeijer, J.C., Broers H.P. Van der Grift, B., 012 *Meetnet nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Deelrapport A: Opzet Meetnet*. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Deltares rapport 1202337-000-BGS-0007, Utrecht.
- Klijn, F., 1988. Milieubeheergebieden. Deel A: Indeling van Nederland in ecoregio's en ecodistricten. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 758702001.
- Kruseman, G., Luesink, H. H., Blokland, P. W., Hoogeveen, M. W., & de Koeijer, T. J. (2013). *MAMBO 2.x: design principles, model structure and data use*. (WOT-werkdocument; No. 307). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Leeters, E.E.J.M. & W. de Vries, 2001. *Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995*. Wageningen (Netherlands), Alterra, Green World Research. Alterra rapport 424.2.
- Oenema, O., J.P. Mol-Dijkstra, J.C. Voogd, P.A.I. Ehlert en G.L. Velthof, 2016. *Klassenindelingen voor de fosfaattoestand van de bodem, ten behoeve van de afleiding van fosfaatgebruiksnormen*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2743
- Pouwels, J.R., L.M.T. Bos-Burgering, G. Janssen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen en T. Kroon, 2018. *Veranderingsrapportage LHM 3.5; ontwikkelingen ten behoeve van de waterkwaliteit*. Deltares- rapport 11202224-004-BGS-0001.
- Schreuder, R., van Dijk, W., van Asperen, P., de Boer, J. A., & van der Schoot, J. R. (2008). *Mebot 1.01: beschrijving van milieu- en bedrijfsmodel voor open teelten*. (PPO publicatie; No. nr. 373). PPO AGV. Staatscourant 26 juli 2019. *Ontwerpregelgeving van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 18 juli 2019, nr. WJZ/ 19085872, tot wijziging van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet in verband met de implementatie van het zesde actieprogramma Nitraatrichtlijn*.
- Ten Berge, H. F. M., Withagen, J. C. M., de Ruijter, F. J., Jansen, M. J. W., & van der Meer, H. G. (2000). *Nitrogen responses in grass and selected field crops: QUAD-MOD parameterisation and extension for STONE-application*. Plant Research International.
- Van Duijvenbooden, W., J. Taat en L.F.L. Gast. 1985. *Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. Eindrapport van de inrichtingsfase*. RIVM rapportnummer 840382001.
- Van den Roovaart, J. (2021), *Protocol van Overdracht Landelijk KRW-Verkenner Model 2.5, in voorbereiding*.
- Van der Bolt, F. J. E., Kroon, T., Groenendijk, P., Renaud, L. V., van den Roovaart, J., Janssen, C. M. C. M., Loos, S., Cleij, P., van den Linden, A., & Marsman, A. (2020). *Het Landelijk Waterkwaliteitsmodel: Uitbreiding van het Nationaal Water Model met waterkwaliteit ten behoeve van berekeningen voor nutriënten*. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 3005). Wageningen Environmental Research.
- Van der Linden, A., W. Altena, J. van den Roovaart (2021). *Achtergrondrapportage Ex Ante KRW 2021, Analyse van de waterkwaliteit voor de concept stroomgebiedbeheerplannen voor de 3e KRW-periode: 2022-2027*. Deltares-rapport 11206216-014-BGS-0003, in voorbereiding.
- Van Gaalen, F., Osté, L., & van Boekel, E. M. P. M. (2020). *Nationale analyse waterkwaliteit: Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit*. (PBL Publication; No. 4002). PBL (Planbureau voor de Leefomgeving).

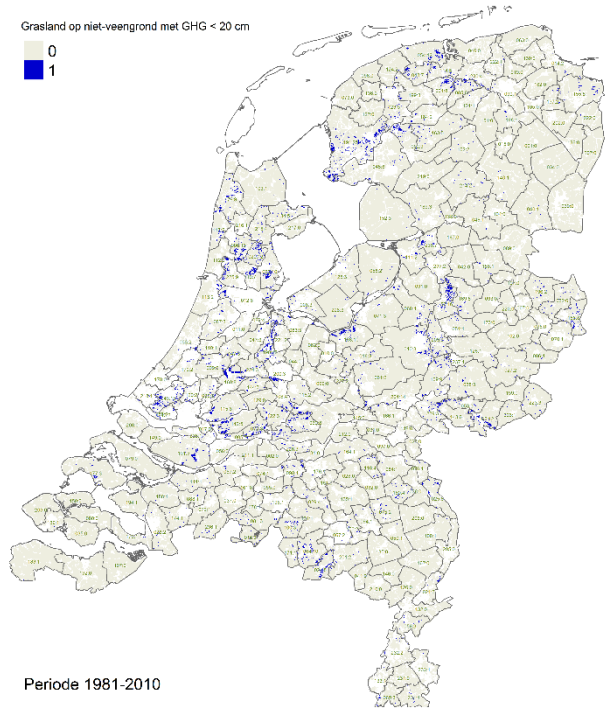
# Bijlage 1 Hydrologisch extreme HRU's

Grasland op veengrond met GHG < 5 cm



Periode 1981-2010

Grasland op niet-veengrond met GHG < 20 cm



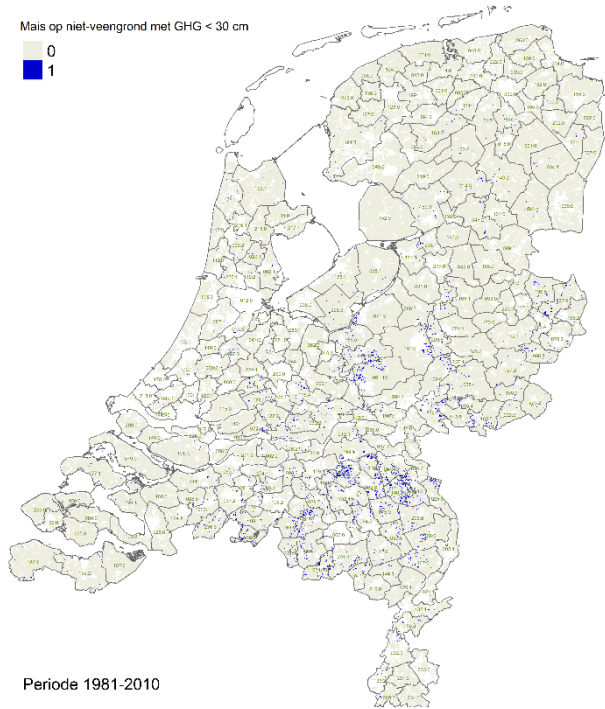
Periode 1981-2010

Mais op veengrond met GHG < 20 cm



Periode 1981-2010

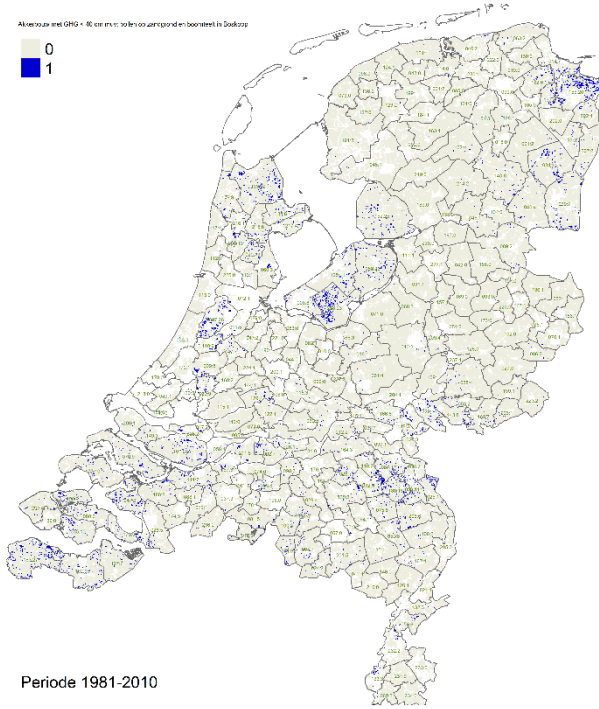
Mais op niet-veengrond met GHG < 30 cm



Periode 1981-2010

Akervoor met GHG > 10 en evt. bollen op aaropenden boomtel in Stokrose

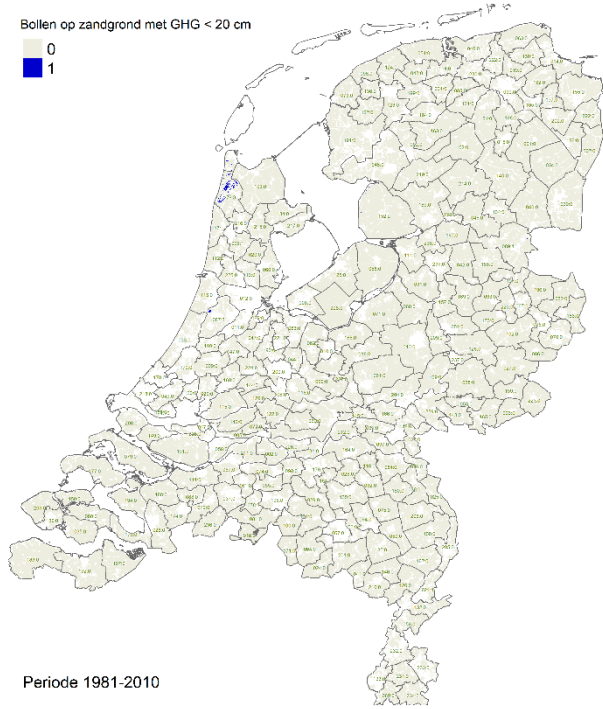
0  
1



Periode 1981-2010

Bollen op zandgrond met GHG < 20 cm

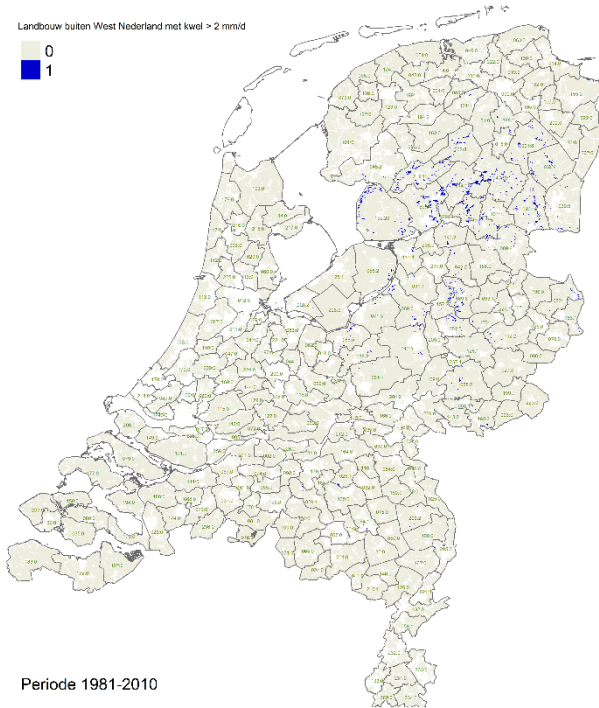
0  
1



Periode 1981-2010

Landbouw buiten West Nederland met kwel > 2 mm/d

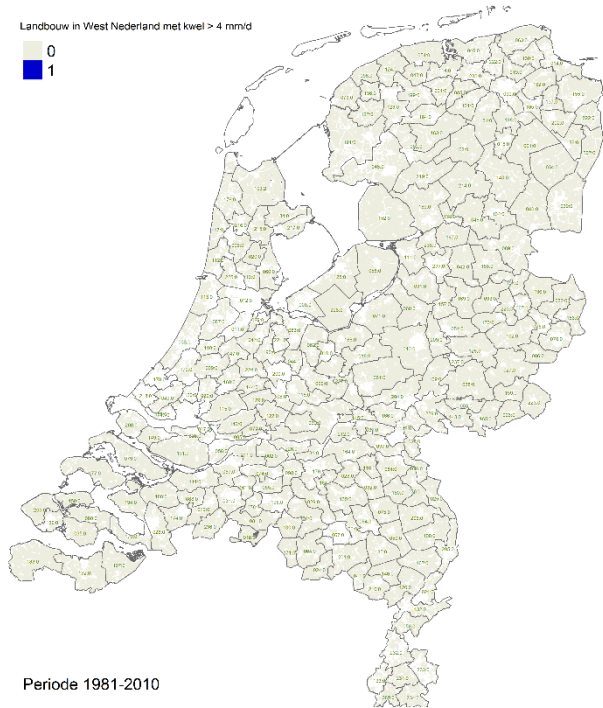
0  
1



Periode 1981-2010

Landbouw in West Nederland met kwel > 4 mm/d

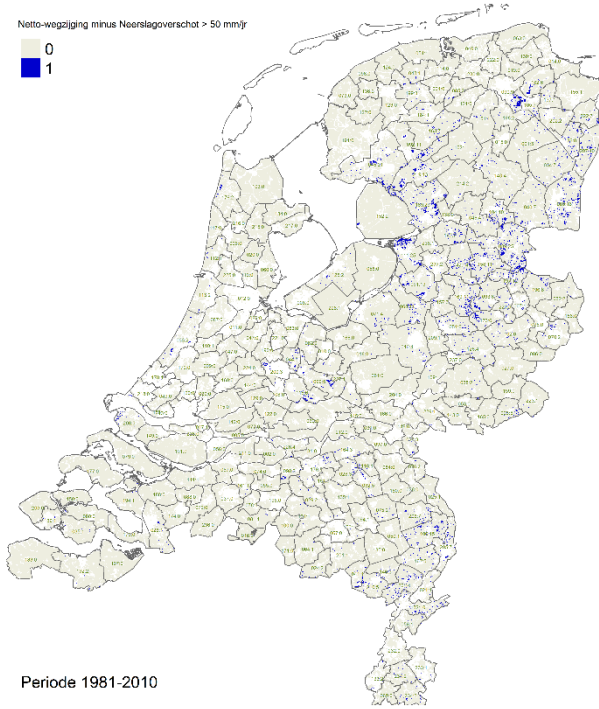
0  
1



Periode 1981-2010

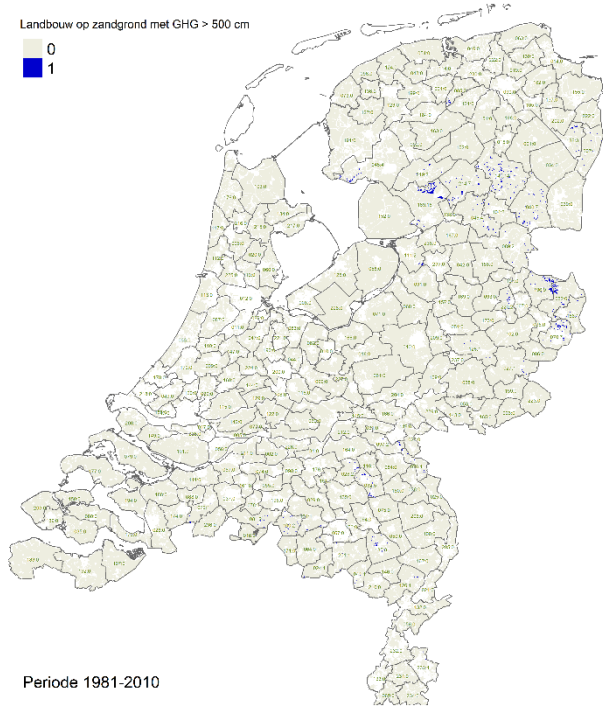


Netto-wegzijing minus Neerslagoverschot > 50 mm/jr



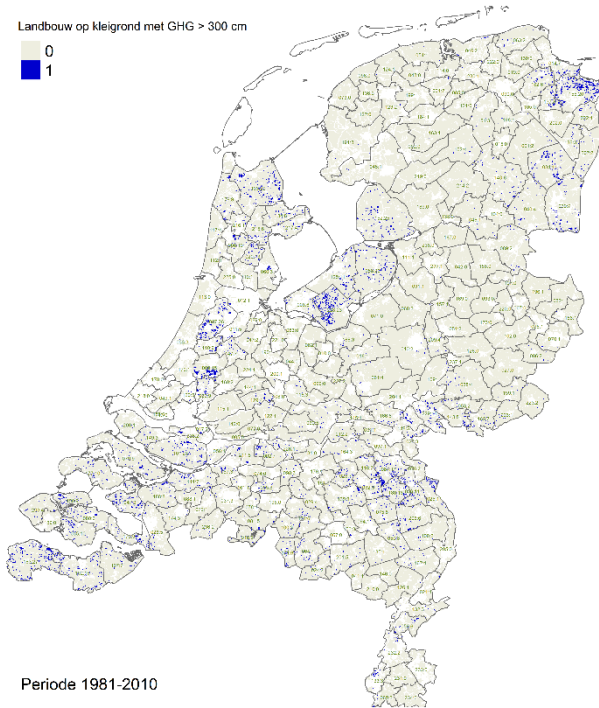
Periode 1981-2010

Landbouw op zandgrond met GHG > 500 cm



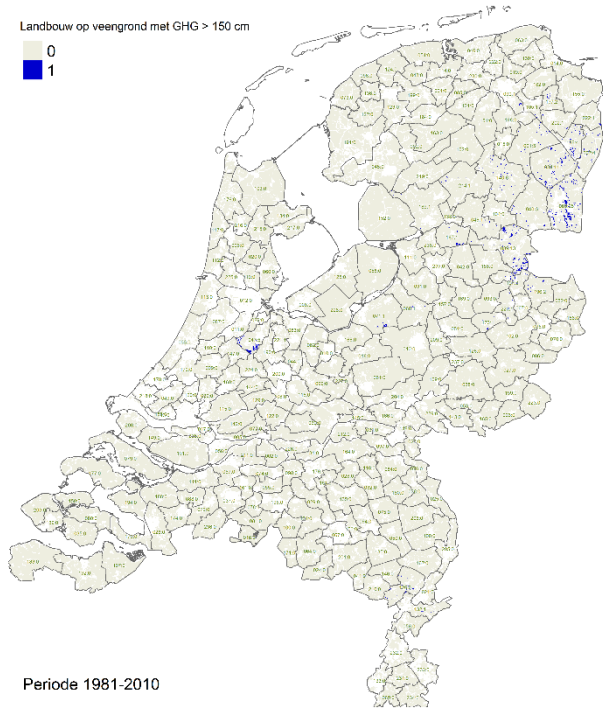
Periode 1981-2010

Landbouw op kleigrond met GHG > 300 cm



Periode 1981-2010

Landbouw op veengrond met GHG > 150 cm



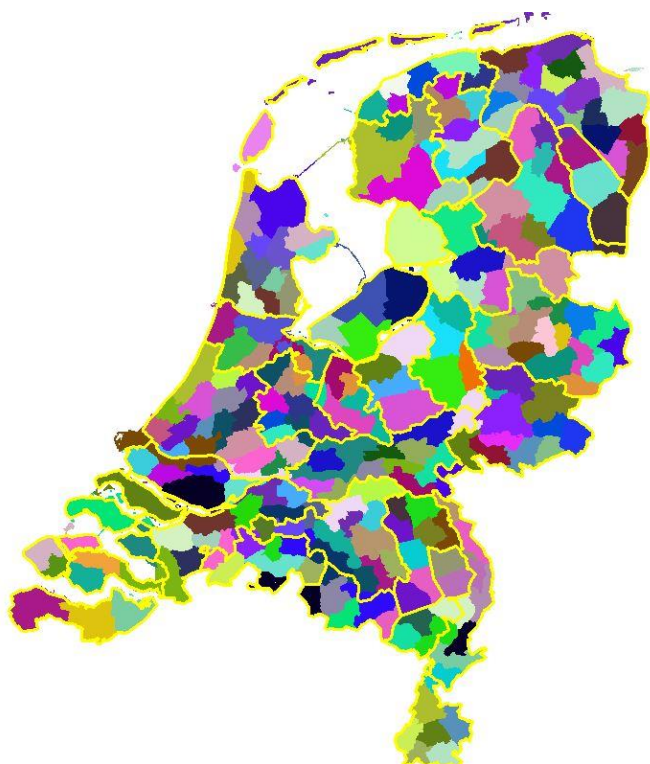
Periode 1981-2010

---

## Bijlage 2 Gebiedsindelingen



**Figuur B2.1** Landbouwdeelgebieden en de begrenzing van CBS-Landbouwgebieden (Van der Bolt et al., 2020 en CBS, 2017).



**Figuur B2.2** Landbouwdeelgebieden en de begrenzing van LEI-mestgebieden (Van der Bolt et al., 2020 en Kruseman et al., 2012).

---

## Bijlage 3 Details testen KRW-verkenner

De resultaten van de testen, zoals in 7.2.2 beschreven, zijn beschikbaar in folder p:\kwr-verkenner\Landsdekkende schematisering\LKM24 schematisering\KRWVrun validatie rerun fixEVAP\. Er zijn vijf modelscripts gebruikt:

- 1a\_runLKM24\_vanuitDeltashell\_DecayWorkaround\_RetentieFactorSWUnul\_incombiMetExeMetEVAPbug.py controleert of de modelresultaten uit de Nationale analyse gereproduceerd kunnen worden (met gebruik van de oude wabacore.exe).
- 1b\_runLKM24\_vanuitDeltashell\_NoDecayWorkaround\_RetentieFactorZero\_incombiMetExeMetEVAPbug.py genereert (met gebruik van de oude wabacore.exe) een modelresultaat zonder retentie (NoDecay). Deze kan vergeleken worden met Model 1c.
- 1c\_runLKM24\_vanuitDeltashell\_NoDecayWorkaround\_RetentieFactorZero\_incombiMetNieuweExe.py genereert (met gebruik van de nieuwe wabacore.exe) een modelresultaat zonder retentie (NoDecay). Deze zal als gevolg van de fix (geen verlies van stof meer via verdamping) een grotere stofconcentratie moeten opleveren dan het modelresultaat van 1b.
- 1d\_runLKM24\_vanuitDeltashell\_DecayWorkaround\_RetentieFactorDefault\_incombiMetNieuweExe.py genereert (met gebruik van de nieuwe wabacore.exe) een nieuw modelresultaat met retentie, waarbij de gerapporteerde default retentie settings zijn gebruikt.
- 1e\_runLKM24\_vanuitDeltashell\_DecayWorkaround\_RetentieFactorSWUnul\_incombiMetNieuweExe.py bepaalt voor het modelresultaat van de nieuwe berekening (1d) de correctiefactoren.

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 3148  
ISSN 1566-7197



---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---



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



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[wur.nl/environmental-research](http://wur.nl/environmental-research)

Rapport 3148  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

