



Vlaanderen
is wetenschap

Ecohydrologische normen voor nutriënten in grondwater

Toepassing in het brongebied van de Zwarte Beek en Bolisserbeek

Cécile Herr, Piet De Becker, Toon Van Daele

**INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK**

Auteurs:

[Cécile Herr](#) , Piet De Becker, [Toon Van Daele](#) 

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Reviewers:

Wouter Depaepe, Tom De Dobbelaer

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

Vestiging:

Herman Teirlinckgebouw
INBO Brussel
Havenlaan 88, 1000 Brussel
vlaanderen.be/inbo

e-mail:

cecile.herr@inbo.be

Wijze van citeren:

Herr C., De Becker P., Van Daele T. (2024). Ecohydrologische normen voor nutriënten in grondwater - Toepassing in het brongebied van de Zwarte Beek en Bolisserbeek. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (41). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.107856296

D/2024/3241/309

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (41)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Hilde Eggermont

Foto cover:

Zwarte Beek (2022)

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

Het Agentschap voor Natuur- en Bos, Havenlaan 88 bus 75, 1000 Brussel

AGENTSCHAP
NATUUR & BOS



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ECOHYDROLOGISCHE NORMEN VOOR
NUTRIËNTEN IN GRONDWATER –
TOEPASSING IN HET BRONGEBIED VAN DE
ZWARTE BEEK EN BOLISSERBEEK

Cécile Herr, Piet De Becker, Toon Van Daele

doi.org/10.21436/inbor.107856296

Samenwerkingsovereenkomst tussen het Agentschap voor Natuur en Bos en het
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (Eigen Vermogen)

Dankwoord

Dit rapport is het resultaat van een studieopdracht uitgevoerd op aanvraag van het Agentschap voor Natuur en Bos. We danken dan ook Katia Nagels voor het opvolgen van het project.

Ook de INBO-medewerkers mogen niet vergeten worden. Dank gaat uit naar Mathias Wackenier en de veldmedewerkers van het team Milieu en Klimaat voor het plaatsen van de bijkomende peilbuizen en de invoer van gegevens in WATINA. An Leyssen heeft gezorgd voor de opnamen van de macrofyten in de waterlopen en de verwerking van de macrofytengegevens. We danken ook Jan Wouters en Tom De Dobbelaer voor hun hulp bij resp. het verwerken van de vegetatiegegevens en de rapportage over de macrofyten. Ten slotte bedanken we Tom De Dobbelaer en Wouter Depaepe voor het nalezen van dit rapport.



Samenvatting

In het brongebied van de Zwarte Beek en de bovenloop van de Bolisserbeek (omgeving Peer en Houthalen-Helchteren) is door jarenlange hoge bemesting het grondwater vervuild met nutriënten, onder meer nitraat. Het gebied ligt in het centrum van de grootste aaneengesloten Speciale Beschermingszone van Vlaanderen, aan de westrand van het Kempisch plateau: het grootste deel van het grondwater dat de vochtige habitats van de beschermde valleien van de Zwarte Beek en Bolisserbeek voedt, infiltreert hier.

In het kader van deze studie proberen we de nutriëntenstroom tussen brongebied en valleien van de Zwarte Beek en Bolisserbeek verder in beeld te brengen en de mogelijke impact op biodiversiteit in te schatten en te documenteren.

Bij deze oefening worden we geconfronteerd met de moeilijkheid dat de wettelijke milieukwaliteitsnormen voor grondwater geen ecohydrologisch relevante normen zijn: de huidige grenswaarden in VLAREM voor nitraat zijn bijv. gebaseerd op richtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie bedoeld om de menselijke gezondheid te beschermen. Zulke normen op zich volstaan dus niet om de impact van nutriënten op de ontwikkeling van regionaal belangrijke biotopen en Europees beschermde habitats in te schatten.

In het eerste deel van de studie proberen we dus **ecologisch relevante referentiewaarden** te formuleren voor de belangrijkste nutriënten in grondwater, nl. nitraat, nitriet, ammonium en orthofosfaat. Gezien de interacties van zwavel met de stikstof- en fosforcycli in de bodem en ondergrond breiden we de studie uit tot sulfaat.

Eerst vatten we de resultaten samen van het standplaatsonderzoek van het INBO naar grondwaterkwaliteit in Europees beschermde habitattypen en regionaal belangrijke biotopen. Deze dataset bevat een 400-tal Vlaamse referentielocaties in 10 verschillende grondwaterafhankelijke vegetatietypen typisch voor een Kempens landschap.

Daarna vergelijken we de INBO-referentiegegevens met de resultaten van een literatuuronderzoek naar referentiewaarden voor nutriëntenconcentraties in grondwater.

Uit deze oefening leiden we indicatieve richtwaarden (wenselijke concentraties) en grenswaarden af (bovengrenzen - maximaal aanvaardbare concentraties) voor de concentratie nitraat, nitriet, ammonium, orthofosfaat en sulfaat in grondwater van Europees beschermde habitattypen en regionaal belangrijke biotopen typisch voor een Kempens landschap.

Voor sulfaat blijken de Vlaamse concentraties gemeten op referentielocaties hoger te zijn dan cijfers gerapporteerd in andere Europese landen met minder bevolkte en minder intensief gebruikte landschappen. We stellen dus voor om een richtwaarde en grenswaarde geïnspireerd door de Europese literatuur te gebruiken. Voor de andere nutriënten lijkt de Vlaamse referentiedataset bruikbaar om richt- en grenswaarden te formuleren.

Parameter		Richtwaarde	(Boven)grenswaarde
Ammonium-stikstof	NH ₄ -N	0,1 mg NH ₄ ⁺ -N/l	0,55 mg NH ₄ ⁺ -N/l
Nitriet-stikstof	NO ₂ -N	0,015 mg NO ₂ -N/l	0,015 mg NO ₂ -N/l
Nitraat-stikstof	NO ₃ -N	0,05 mg NO ₃ ⁻ -N/l	0,53 mg NO ₃ ⁻ -N/l
Orthofosfaat-fosfor	o-PO ₄ -P	0,016 mg o-PO ₄ -P/l	0,095 mg o-PO ₄ -P/l
Sulfaat	SO ₄	ca 15 mg SO ₄ /l	ca 27 mg SO ₄ /l



In het tweede deel van dit rapport geven we een overzicht van **modelleringsinstrumenten** die gehanteerd kunnen worden om grondwaterstromen en de verbonden nutriëntenfluxen in beeld te brengen.

De modelinstrumenten om nutriëntentransport in het grondwater te simuleren gaan van eenvoudige empirische benaderingen tot complexe procesmodellen die vele metingen voor kalibratie en validatie vereisen. Het is mogelijk een hiërarchische aanpak te volgen: eerst inzicht verwerven met een eenvoudige benadering, en in functie van de resultaten met een meer complexe benadering de modellering verfijnen. Belangrijk is dat voldoende metingen worden verricht die toelaten de hypothese over het functioneren van het systeem (zowel de grondwaterstroming als chemische processen) te toetsen.

In het derde deel van het rapport gebruiken we de bekomen grenswaarden voor de concentratie nitraat, nitriet, ammonium, orthofosfaat en sulfaat in het grondwater om de **nutriëntenstromen via grondwater in het brongebied van de Zwarte Beek en bovenloop van de Bolisserbeek** toe te lichten en in context te plaatsen. Daarvoor werd het bestaande grondwatermeetnet aangevuld met extra piëzometers die in de loop van de studie bemonsterd werden.

Uit de beschikbare metingen blijkt dat de concentraties nitriet en ammonium op de meeste locaties beperkt blijven. Enkel plaatselijk worden hogere concentraties gerapporteerd.

Ook de concentraties orthofosfaat zijn op de meeste meetlocaties laag. Verhoogde concentraties worden plaatselijk gemeten, en dit zowel binnen het landbouwgebied als in het natuurgebied stroomafwaarts. De heel hoge fosfaatverzadigingsgraad gemeten in de bodem van verschillende percelen in het landbouwgebied vertaalt zich tot nu toe niet tot verhoogde concentraties orthofosfaat in het (ondiepe) grondwater.

De concentraties sulfaat daarentegen zijn op veel locaties hoger dan wat verwacht wordt onder natuurlijke (pre-industriële) omstandigheden. Dit geldt zowel in natuurgebied als in landbouwgebied en er tussenin. De hoogste waarden worden echter in het landbouwgebied gemeten.

De concentraties nitraat ten slotte, zijn op veel meetlocaties verhoogd en soms heel sterk verhoogd (tot meer dan $50 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{l} = 221 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$). De hoogste waarden worden gemeten in het landbouwgebied en in de zone rond het bungalowpark. Enkel de diepere lagen (18-30 m onder maaiveld) worden gespaard: waarschijnlijk wordt nitraat in de diepe ondergrond gereduceerd. In de kwelzones van Spiekelspade en van de Kouwert blijven de concentraties nitraat meestal laag, maar worden er op verschillende meetlocaties toch verhoogde waarden geregistreerd. Op de dwarsdoorsnedes door het landschap is er een pluim van verhoogde concentraties te zien die de ondergrond van het landbouwgebied inneemt tot een diepte van 10-15 m onder maaiveld. Dit geeft duidelijk aan dat het landbouwgebied als bron van nitraat fungeert dat zich door de ondergrond verder verspreidt.

In de laatste hoofdstukken gaan we dieper in op de mogelijke **impact** van de verhoogde nutriëntenconcentraties op biodiversiteit, enerzijds **op de semi-terrestrische vegetatie in de**

kwelzone van de Zwarte Beek en anderzijds **op de macrofyten in de waterlopen**. We formuleren ook aanbevelingen voor de verdere monitoring.



Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

Op basis van eigen onderzoek en van een literatuurstudie formuleren we een **indicatief voorstel van richtwaarden en grenswaarden** voor de concentraties nitraat, nitriet, ammonium, orthofosfaat en sulfaat in grondwater. Het doel is de grondwaterafhankelijke vegetatietypen typisch van een Kempens landschap te ontwikkelen en in stand te houden. Het rapport beschrijft enkele beperkingen van onze aanpak en geeft aanbevelingen voor verder onderzoek.

Onze set van richt- en grenswaarden voor nutriënten in grondwater heeft geen wettelijke waarde maar kan worden gebruikt in natuurherstelprojecten en ecohydrologische studies in plaats van de huidige milieukwaliteitsnormen van VLAREM die eerder gericht zijn op de menselijke gezondheid.

We gebruiken deze richt- en grenswaarden om de **nutriëntenconcentraties in het grondwater van het brongebied van de Zwarte Beek en de bovenloop van de Bolisserbeek in beeld te brengen**.

Samengevat:

- De concentraties nitriet, ammonium en orthofosfaat zijn op de meeste locaties laag, en dit zowel in het infiltratiegebied onder landbouw als in het natuurgebied waar het kwelwater aan de oppervlakte terugkomt. Het resultaat voor orthofosfaat is opmerkelijk gezien de hoge fosfaatverzadigingsgraad vastgesteld in de bodem van het brongebied van de Zwarte Beek.
- De concentraties sulfaat en vooral nitraat zijn op veel locaties verhoogd tot sterk verhoogd. De hoogste waarden worden in het infiltratiegebied onder landbouwgebruik gemeten. Onze metingen tonen duidelijk aan dat het landbouwgebied als bron van nitraat fungeert dat zich door de ondergrond verder verspreidt.

Impact op de vegetatie

- In semi-terrestrische habitats: een eenmalige vegetatiestudie in het kwelgebied van de Zwarte Beek toont dat plantensoorten van voedselrijke milieus breed zijn verspreid maar weinig abundant zijn. In de zones van de vallei die overstroomd worden, werden er wat hogere bedekkingen van de indicatoren voor eutrofiëring vastgesteld. Een monitoring van de vegetatie op langere termijn lijkt aangewezen.
- In aquatische habitats: zowel in de Zwarte Beek als in de Bolisserbeek zijn er macrofyten aanwezig die op eutrofiëring wijzen. Jammer genoeg zijn er niet veel locaties geschikt om een monitoring van de macrofyten op langere termijn te voorzien. Als alternatief kan worden overwogen om een monitoring te organiseren van de aquatische macro-invertebraten.

Gevolgen voor het beheer en monitoring

- De gevolgen van de hoge fosfaatverzadigingsgraad in de bodem van het infiltratiegebied moeten nog uitgeklaard worden omdat er geen meetlocatie is in het landbouwgebied zelf. Er wordt aanbevolen om minstens een extra grondwatermeetpunt in de zone met de meest fosfaatverzadigde gronden te installeren om te controleren of er daar al sprake is van verhoogde concentraties

orthofosfaat. Algemene maatregelen om het risico op uitloging van fosfaat en op erosie van fosforrijke grond te beperken, blijven een must in dit gebied.

- Gezien de verhoogde concentraties nitraat en sulfaat in het grondwater moet het stopzetten van de aanvoer van nitraat en sulfaat via (over)bemesting een prioriteit zijn. Stikstofbemesting moet teruggebracht worden tot op het niveau waarbij er geen /zo weinig mogelijk nitraatresidu's meer achterblijven na de teelt, wat ook positieve gevolgen voor de sulfaatconcentraties kan hebben (rechtstreeks door de verminderde bemesting, en onrechtstreeks dankzij de verminderde omzetting van nitraat in sulfaat in de ondergrond).



In the second part of this report, we provide an overview of **modelling tools** that can be used to describe groundwater flows and associated nutrient fluxes.

Modelling tools to simulate nutrient transport in groundwater range from simple empirical approaches to complex process models requiring many measurements for calibration and validation. It is possible to follow a hierarchical approach: first gain insight with a simple approach and, depending on the results, refine the modelling with a more complex approach. It is important to make sufficient measurements that allow the hypothesis about the functioning of the system (both groundwater flow and chemical processes) to be tested.

In the third part of the report, we utilize the obtained limit values for the concentration of nitrate, nitrite, ammonium, orthophosphate, and sulphate in groundwater to explain and contextualize the **nutrient fluxes through groundwater in the source area of the Zwarte Beek and the upper Bolisserbeek**. For this purpose, the existing groundwater monitoring network was supplemented with additional piezometers sampled during the course of the study.

The available measurements indicate that concentrations of nitrite and ammonium remain limited at most locations, with only localized higher concentrations reported.

Orthophosphate concentrations are also low at most monitoring sites, although elevated concentrations are measured locally in both the agricultural area and the nature area downstream. The very high phosphate saturation level measured in the soil of several plots in the agricultural area has not yet translated into elevated concentrations of orthophosphate in the (shallow) groundwater.

In contrast, sulphate concentrations at many locations are higher than what would be expected under natural (pre-industrial) conditions, both in natural and agricultural areas and in between. However, the highest values are recorded in the agricultural area.

The levels of nitrate are found to be elevated of even extremely elevated (over 50 mg N-NO₃-/l = 221 mg NO₃-/l) at numerous monitoring sites, particularly in the agricultural region and the zone surrounding the bungalow park. Only the deeper layers (18-30 meters below the ground level) appear to be unaffected, suggesting that nitrate is likely undergoing reduction in the deep subsoil. In the seepage zones of Spiekelspade and Kouwert, while nitrate concentrations generally remain low, elevated levels are still detected at several monitoring locations. On the landscape cross-sections, a plume of elevated concentrations is visible, occupying the subsoil of the agricultural area to a depth of 10-15 meters below the ground level: this clearly indicates that the agricultural area acts as a source of nitrate that spreads further into the subsoil.

In the latter sections of the study, the potential **consequences** of the increased nutrient levels on biodiversity are explored, focusing on the **semi-terrestrial vegetation in the seepage zone** of the Zwarte Beek and the **macrophytes in the watercourses**. Recommendations for further monitoring are also provided.



Inhoudstafel

Dankwoord	2
Samenvatting	3
Aanbevelingen voor beheer en/of beleid	6
English abstract	8
Lijst van figuren	14
Lijst van foto's	18
Lijst van tabellen	18
1 Inleiding.....	21
1.1 Context	21
1.2 Leeswijzer.....	21
2 Nutriënten in het grondwater.....	23
2.1 Nutriënten op basis van stikstof	24
2.2 Nutriënten op basis van fosfor.....	25
2.3 Nutriënten op basis van kalium	25
2.4 Hoe zit het met sulfaat?	25
2.5 Gebruikte eenheden	26
3 Referentiewaarden voor nutriëntenconcentraties in water.....	27
3.1 Milieukwaliteitsnormen en 'natuurkwaliteitsnormen' voor grondwater.....	27
3.2 Beschouwde vegetatietypen.....	28
3.3 Dataset standplaatsonderzoek INBO	29
3.3.1 Methodiek in een notendop.....	29
3.3.1.1 Dataverzameling en laboanalyses.....	29
3.3.1.1.1 Vegetatiebeschrijving	29
3.3.1.1.2 Bodembemonstering en analyse.....	30
3.3.1.1.3 Grondwaterdata	30
3.3.2 Referentiebereik per vegetatie en nutriënt	31
3.3.2.1 Nitraat.....	32
3.3.2.2 Nitriet.....	34
3.3.2.3 Ammonium	36
3.3.2.4 Orthofosfaat	37
3.3.2.5 Sulfaat	38
3.3.3 Deze resultaten in context	40
3.3.3.1 Nutriëntenlimitatie en andere interacties.....	40
3.3.3.2 Grondwater is slechts één stuk van het puzzel	41
3.3.3.3 Is er sprake van 'shifting baselines'?	42



4.3.4	SUTRA	109
4.3.5	PHREEQC.....	109
4.4	Simulatie van de nutriënten in de onverzadigde zone	110
4.4.1	EUrotate_N.....	110
4.4.2	STONE	111
4.4.3	HYDRUS.....	111
4.5	Voorbeelden in Vlaanderen en Nederland	111
4.5.1	Eenvoudige rekentool (Aggenbach)	111
4.5.2	Nitraatbronnen.....	112
4.5.3	Hydrologische systeemanalyse - Visbeek/Kindernouwbeek.....	112
4.6	Conclusies.....	112
5	Vallei van de Zwarte Beek en van de Bolisserbeek	115
5.1	Geohydrologische context	115
5.2	Grondwaterkwaliteit	116
5.2.1	Gebruikte gegevensbronnen	116
5.2.2	Resultaten sinds 1997	119
5.2.2.1	Eerste voorlopige bevindingen	119
5.2.2.2	Hoe brengen we de nutriëntenstromen in beeld?	120
5.2.2.3	Tijdreeksen van de concentraties per meetpunt en filter	121
5.2.2.4	Kaarten van de concentraties per meetpunt en filter	135
5.2.2.5	Dwarsdoorsneden door het landschap	143
5.2.3	Resultaten per periode.....	159
5.2.3.1	Kaarten van de concentraties per meetpunt en filter	159
5.2.3.2	Dwarsdoorsneden door het landschap	165
5.2.4	Treedt er nitraatreductie op?.....	165
5.2.5	Conclusies: grondwaterkwaliteit in het gebied	169
5.2.6	Aanbevelingen voor de monitoring.....	170
5.3	Impact op de semi-terrestrische vegetatie	172
5.3.1	Transecten in Spiekelspade	172
5.3.2	Bestaande waarnemingen.....	176
5.3.3	Resultaten.....	176
5.3.3.1	Transecten in Spiekelspade	176
5.3.3.1.1	Ellenberg indicatorwaarden	176
5.3.3.1.2	LSVI indicatoren.....	179
5.3.3.1.3	Indicatoren voor verzuivering en eutrofiëring.....	185
5.3.3.1.4	Aanbevelingen voor de monitoring.....	190



5.3.3.2	Bestaande waarnemingen	190
5.4	Impact op de aquatische vegetatie	190
5.4.1	Inleiding	191
5.4.2	Kwaliteit van de aanwezige vegetaties van stromende wateren	192
5.4.2.1	KRW - Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt (EKC)	192
5.4.2.2	Habitatrichtlijn	197
5.4.2.2.1	Conclusies	199
5.4.2.2.2	Aanbevelingen voor de monitoring	199
	Referenties	201
	Bijlage 1 Boxplots van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat in het ondiepe grondwater	209
	Bijlage 2 Beschikbaarheid metingen grondwaterchemie (nutriënten)	210
	Bijlage 3 Tijdreeksen van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter (diepte)	211
	Bijlage 4 Kaarten van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten voor 1997-2022	211
	Bijlage 5 Kaarten van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten per periode van 5 jaar	211
	Bijlage 6 Dwarsdoorsnedes door het landschap met concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten voor 1997-2022	211
	Bijlage 7 Dwarsdoorsnedes door het landschap met concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten per periode van 5 jaar	211
	Bijlage 8 Situatieschetsen van de proefvlakken	211
	Bijlage 9 Resultaten vegetatietransecten in Spiekelspade	211
	Bijlage 10 Bestaande losse waarnemingen vegetatie	212
	Bijlage 11 Protocol vegetatieopnamen	212
	Bijlage 12 Inventarisatie macrofyten: ecologische kwaliteitscoëfficiënt en abundantie van de verstoringsindicatoren	214



Lijst van figuren

Figuur 1 Landbouwstreken van Vlaanderen.	32
Figuur 2 Concentratie nitraat-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,02 mg NO ₃ -N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. Interpretatie boxplots: box = p25-p50-p75, whiskers = afstand tot max p75/p25 +/- 1.5* afstand tussen p25-p75. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.	33
Figuur 3 Concentratie nitriet-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,015 mg NO ₂ -N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. De meeste metingen vallen dus onder de bepaalbaarheidsgrens . Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.	35
Figuur 4 Concentratie ammonium-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,04 mg NH ₄ -N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.	36
Figuur 5 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,03 mg PO ₄ -P/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.	38
Figuur 6 Concentratie sulfaat in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.	39
Figuur 7 Relatie tussen de concentratie stikstof (in nitraat + ammonium + nitriet) en de concentraties orthofosfaat-fosfor in het grondwater van de referentielocaties. Links: volledige dataset, rechts: zonder uitschieters en ingezoomd (zie 3.3.1.1.3).	41
Figuur 8 Concentraties nitraat-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 11). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.	45
Figuur 9 Concentraties nitriet-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 14). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.	46
Figuur 10 Concentraties ammonium-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 15). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.	47
Figuur 11 Concentraties orthofosfaat-fosfor (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie Tabel 17). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.	49
Figuur 12 Concentraties sulfaat (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte	

////////////////////////////////////

betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie Tabel 19. Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.	50
Figuur 13 Grondwaterstroomgebied gemodelleerd voor de volledige vallei van de Zwarte beek (groen, Van Daele in Mertens & Meire 2001) en een kleiner deelgebied (blauw, De Smedt en Batelaan 1996).	115
Figuur 14 Meetlocaties grondwaterkwaliteit. De codes van de Watina-meetpunten werden als volgt afgekort: P000 wordt gebruikt voor ZWAP000.	117
Figuur 15 Beschikbaarheid metingen grondwaterchemie in verschillende zones met aanduiding van de diepte van de onderkant van de filter t.o.v. het maaiveld (hoe lichter/geler, hoe dieper). Elke horizontale lijn staat voor een filter op een bepaalde meetlocatie. De indeling in zones is gebaseerd op de X coördinaten van de meetlocaties en is dus louter indicatief. Gedetailleerde grafieken met de databeschikbaarheid per meetlocatie en filter worden in bijlage 2 weergegeven.	118
Figuur 16 Fictief voorbeeld van een tijdreeks van de concentraties sulfaat met uitleg. Interpretatie: in oktober 2015 is er een staalname gebeurd: ter hoogte van filter 1 (op 7 m diepte, tijdreeks in het zwart) bedroeg de concentratie sulfaat 34 mg/l, te beschouwen als een licht verhoogde concentratie (lichtblauwe zone - tabel 27), ter hoogte van filter 2 (op 14,5 m diepte, tijdreeks in het rood) was de concentratie sterk verhoogd (267 mg/l) en was de actueel geldende milieukwaliteitsnorm = MKN (250 mg/l) overschreden.	121
Figuur 17 Voorbeeld van tijdreeksen: evolutie van de concentratie ammonium, nitraat, orthofosfaat en sulfaat in het grondwater op meetpunt 662/23/5, gelegen in het landbouwgebied ten oosten van Molenheide. Filters op 6 m, 23 m en 30 m onder maaiveld (resp. zwarte, rode en blauwe punten). MKN = milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM. Links: indicatieve kleurcode zoals toegelicht in tabel 27, de donkerblauwe zone kan worden beschouwd als het doelbereik (concentraties niet/nauwelijks verhoogd).	122
Figuur 18 Meetlocaties waarvan de tijdreeks per parameter als voorbeeld wordt getoond in dit rapport. Voor de andere meetpunten verwijzen we naar bijlage 3.	123
Figuur 19 Variabiliteit van de concentraties orthofosfaat in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie t.t.z. voor een combinatie meetpunt + filter (spreiding van de concentraties rondom de gemiddelde concentratie per meetlocatie).	124
Figuur 20 Frequentie (%) van 'sprongen' in de tijdreeksen tussen de categorieën "concentratie orthofosfaat niet verhoogd" - "licht verhoogd" - "matig verhoogd" - "sterk verhoogd" (tabel 27). Berekend als: aantal categoriewijzigingen/(aantal analyses-1). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.	124
Figuur 21 Evolutie van de concentratie orthofosfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.	125
Figuur 22 Variabiliteit van de concentraties ammonium-stikstof in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).	126
Figuur 23 Frequentie (%) van 'sprongen' in de tijdreeksen tussen de categorieën "concentratie ammonium niet verhoogd" - "licht verhoogd" - "matig verhoogd" - "sterk verhoogd" (tabel 27). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.	127
Figuur 24 Evolutie van de concentratie ammonium in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.	128
Figuur 25 Variabiliteit van de concentraties nitraat-stikstof in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).	129
Figuur 26 Frequentie (%) van 'sprongen' in de tijdreeksen tussen de categorieën "concentratie nitraat niet verhoogd" - "licht verhoogd" - "matig verhoogd" - "sterk verhoogd" (tabel 27). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.	130
Figuur 27 Evolutie van de concentratie nitraat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.	131
Figuur 28 Variabiliteit van de concentraties sulfaat in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).	132



Figuur 29 Frequentie (%) van ‘sprongen’ in de tijdreeksen tussen de categorieën “concentratie sulfaat niet verhoogd” - “licht verhoogd” - “matig verhoogd” - “sterk verhoogd” (tabel 27). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.	133
Figuur 30 Evolutie van de concentratie sulfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.	134
Figuur 31 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	138
Figuur 32 Concentratie ammonium-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	139
Figuur 33 Concentratie nitriet-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	140
Figuur 34 Concentratie nitraat-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	141
Figuur 35 Concentratie sulfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	142
Figuur 36 Overzicht van de dwarsdoorsneden die in het rapport getoond worden.	143
Figuur 37 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties orthofosfaat-fosfor (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.	146
Figuur 38 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties ammonium (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.	150
Figuur 39 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties nitriet-stikstof (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.	152
Figuur 40 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties nitraat-stikstof (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.	155
Figuur 41 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties sulfaat (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.	158
Figuur 42 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	160
Figuur 43 Concentratie nitriet-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	161
Figuur 44 Concentratie ammonium-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	162
Figuur 45 Concentratie nitraat-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum	163
Figuur 46 Concentratie sulfaat in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.	164
Figuur 47 Nitraatconcentraties gemeten in Peer (Eppinger en Walraevens 2003). Laterale grondwaterstroming van zuidoost naar noordwest (rechts naar links).	166
Figuur 48 Concentraties reducerende stoffen en anionen in Peer (Eppinger en Walraevens 2003). TOC = total organic carbon. Links: het gehalte aan pyriet en vooral organische stof is merkelijk hoger in de formatie van Diest dan in de hoger gelegen zanden van Kasterlee en in de hoogterrasafzettingen. Rechts: de concentratie nitraat neemt opvallend af in de formatie van Diest terwijl de concentratie bicarbonaat stijgt.	166
Figuur 49 Geologische opbouw ter hoogte van meetpunt 662/23/6, gelegen bij de N74. Data: DOV.	167
Figuur 50 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van 662/23/6 (meetpunt gelegen bij de N74). Data: DOV.	167
Figuur 51 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 935/23/8 (landbouwgebied ten noorden van de Bolisserbeek). Data: DOV.	168
Figuur 52 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 662/23/5 (landbouwgebied ten oosten van Molenheide). Data: DOV.	168
Figuur 53 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 605/23/7a (landbouwgebied ten oosten van Molenheide). Data: DOV.	169



Figuur 54 Meetpunten van VMM en INBO op de Dommel en Bolisserbeek. Gr (gracht) en SOW zijn extra meetpunten naar aanleiding van het milieu-incident van 29/10/2013 waarbij overgelopen digestaat vanuit een CO-vergiftigingsinstallatie de Bolisserbeek bereikte	171
Figuur 55 Ligging van de vegetatietransecten in Spiekelspade met aanduiding van de oude en nieuwe loop van de Zwarte Beek.	173
Figuur 56 Gemiddelde gewogen Ellenberggetal voor stikstof. Een hoog stikstofgetal geeft aan dat er veel soorten voorkomen die gebonden zijn aan groeiplaatsen met een hoge stikstofbeschikbaarheid.	177
Figuur 57 Bedekking van de soorten met een Ellenberggetal voor stikstof kleiner dan 2,5 (soorten van extreem voedselarme milieus).	178
Figuur 58 Bedekking van de soorten met een Ellenberggetal voor stikstof groter dan 7.5 (soorten van voedselrijke milieus).	178
Figuur 59 Maximaal Ellenberggetal voor stikstof per locatie.	179
Figuur 60 Bedekking van de sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).	181
Figuur 61 Percentage van de sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).	182
Figuur 62 Aantal sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).	182
Figuur 63 Bedekking van de indicatoren voor verruiging (alle subcriteria samen) voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).	183
Figuur 64 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium bramen, riet- en liesgras voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).	183
Figuur 65 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium bodemverdichting voor 91E0_vm.	184
Figuur 66 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium ruderalisering voor 91E0_vm.	184
Figuur 67 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriteria vermessing voor 91E0_vo (links) en pijpenstrootje voor 91E0_vo (rechts).	185
Figuur 68 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium ruderalen en indicatoren voor bodemverdichting voor 91E0_vo.	185
Figuur 69 Situering van habitattypen 3260 in de ruime omgeving van het brongebied. Zowel de recentste inventarisaties (zwart onderbroken lijn, uitgave 2023) als de inventarisaties van 2014-2015 (uitgave 2016) (gele lijn) worden weergegeven op de figuur.	191
Figuur 70 Overzicht van de locaties waar macrofyten werden geïnventariseerd in 2022 (INBO meetpunten) en meetpunten van de VMM. Met uitzondering van locatie ZwaBe_04 (gelegen bij VMM meetlocatie TR420300.3) zijn er op al deze locaties ook oudere opnames beschikbaar.	193
Figuur 71 Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor de macrofyten op 5 locaties langs de Bolisserbeek en 2 locaties langs de Zwarte Beek. TR99000.2 en TR99000.3 maken deel uit van het meetnet van de VMM, de andere locaties zijn geïnventariseerd door INBO. De kleurschaal rechts geeft de eindbeoordeling van de kwaliteit op basis van macrofyten: blauw = zeer goed, groen = goed, geel = matig, oranje = ontoereikend en rood = slecht. Gegevens in bijlage 12.	194
Figuur 72 Deelmaatlatten gebruikt voor de bepaling van de Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor de macrofyten op 5 locaties langs de Bolisserbeek en 2 locaties langs de Zwarte Beek. Voor een verklaring van de deelmaatlatten zie box 1. TR99000.2 en TR99000.3 maken deel uit van het meetnet van de VMM, de andere locaties zijn geïnventariseerd door INBO. De kleurschaal rechts geeft de beoordeling van de kwaliteit op basis van macrofyten: blauw = zeer goed, groen = goed, geel = matig, oranje = ontoereikend en rood = slecht. Gegevens in bijlage 12.	195
Figuur 73 Bedekking van verstoring indicators per locatie en opname volgens de methodiek Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor macrofyten. Soorten die ook als eutrofiëring indicator worden beschouwd voor de bepaling van de lokale staat van instandhouding (Oosterlyncx et al. 2020) worden aangeduid met een sterretje na de soortnaam (*).	196
Figuur 74 Totale bedekking van eutrofiëring indicators per locatie en opname volgens Oosterlyncx et al. 2020 (LSVI versie 3).	198



Lijst van foto's

Foto 1 Links: veenmosrijk berkenbroekbos (transect O). Rechts: mesotroof elzenbroekbos/moerasbos met indicatoren voor verzuuring (brandnetel en waterpeper).	174
Foto 2 Splitsing tussen de oude en nieuwe loop van de Zwarte Beek (ongeveer ter hoogte van het centrale transect). Foto: M. Wackenier (2022).	175
Foto 3 Nieuwe loop van de Zwarte Beek door het veenpakket in het laagste gedeelte van de vallei, op korte afstand van de graslanden en kleine zeggenvegetaties ten zuiden van de beek (zichtbaar aan de rechterkant van de foto). Foto: M. Wackenier (2022).	175
Foto 4 Mei 2022. Ontwikkeling van jonge brandnetels in een zone die in de winter 2021-2022 overstroomd werd (ter hoogte van de splitsing oude loop-nieuwe loop, dichtbij het centrale transect).	179
Foto 5 Bolisserbeek. Links: zicht op transect BolBe_02 tijdens de opname van 2016, rechts: beschaduwde BolBe_01 in 2018 (boven), abundantie van klein kroos ter hoogte van BolBe_03 in 2022 (onder). Foto's: A. Leyssen.	197

Lijst van tabellen

Tabel 1 Gebruikte eenheden en omrekeningsfactoren tussen eenheden. Nitraat-stikstof = hoeveelheid stikstof in een molecule nitraat.	26
Tabel 2 Milieukwaliteitsnormen (bovengrensen) voor de belangrijkste nutriënten en elektrische geleidbaarheid (EC) in grondwater (VLAREM - besluit VI. Gem. 21/5/2010) en omzetting van de officiële waarden in andere courante eenheden.	27
Tabel 3 Milieukwaliteitsnormen voor de belangrijkste nutriënten in oppervlaktewateren van het type kleine beek Kempen (besluit VI. Gem. 21/5/2010).	28
Tabel 4 Aantal meetpunten met analyseresultaten voor de concentraties nitraat, nitriet, ammonium, orthofosfaat en/of sulfaat. We vermelden een range omdat het aantal beschikbare metingen afhankelijk van de variabele kan variëren.	30
Tabel 5 Analyse van de problematische uitschieters, t.t.z. meetpunten met meerdere analyses met tegenstrijdige resultaten of meetpunten met slechts 1 analyse. Meetpunten waarvoor er meerdere metingen zijn met systematisch verhoogde concentraties, worden niet getoond: we gaan ervan uit dat deze verhoogde concentraties representatief zijn voor het meetpunt.	31
Tabel 6 Samenvattende statistieken voor de concentratie nitraat-stikstof in het freatische grondwater. Alle waarden in mg N/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd), m.a.w. habitats met meer referentielocaties wegen NIET meer dan andere.	33
Tabel 7 Samenvattende statistieken voor de concentratie nitriet-stikstof in het freatische grondwater. Alle waarden in mg N/l. De concentratie is meestal lager dan de bepaalbaarheidsgrens ("<" in de tabel). De maximale waarde voor dotterbloemgrasland (rbbhc) is een uitschieter en moet worden beschouwd als dubieus. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).	35
Tabel 8 Samenvattende statistieken voor de concentratie ammonium-stikstof in het freatische grondwater. Alle waarden in mg N/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". De maximale waarde voor dotterbloemgrasland (rbbhc) is een uitschieter en moet worden beschouwd als dubieus. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).	37
Tabel 9 Samenvattende statistieken voor de concentratie orthofosfaat-fosfor in het freatische grondwater. Alle waarden in mg P/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". De maximale waarden voor dotterbloemgrasland (rbbhc) en mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm) zijn uitschieters en moeten worden beschouwd als dubieus. Laatste rij	

“alle”: alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).	38
Tabel 10 Samenvattende statistieken voor de concentratie sulfaat in het freatische grondwater. Alle waarden in mg SO ₄ /l. Laatste rij “alle”: alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).	40
Tabel 11 Concentraties nitraat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	51
Tabel 12 Concentraties nitraat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	60
Tabel 13 Concentraties stikstof (anders gemeten dan nitraat, nitriet, ammonium) in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek. Habitat louter indicatief. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	61
Tabel 14 Concentraties nitriet in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	62
Tabel 15 Concentraties ammonium in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	63
Tabel 16 Concentraties ammonium in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	74
Tabel 17 Concentraties orthofosfaat en fosfor in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	75
Tabel 18 Concentraties orthofosfaat en fosfor in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	87
Tabel 19 Concentraties sulfaat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	89
Tabel 20 Concentraties sulfaat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).	94



Tabel 21 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van een aanname voor een maximaal belasting met stikstof die overeenkomt met de kritische waarde voor N-depositie. Op basis van maximale stoffluxen zijn door de auteurs voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.	96
Tabel 22 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat en sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van maximaal 5% extra afbraak door deze stoffen t.o.v. de 'normale' netto primaire productie. De bovenste tabel betreft berekeningen met afbraak door alleen nitraat en de onderste tabel met afbraak door alleen sulfaat en geen nitraat. Op basis van de maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.	97
Tabel 23 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat en sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis na maximaal 20% extra netto N-mineralisatie door deze stoffen t.o.v. de 'normale' N-mineralisatie. De bovenste tabel is voor wanneer alleen gerekend wordt met afbraak door nitraat en de onderste tabel voor wanneer alleen sulfaat en geen nitraat bijdraagt aan afbraak van organisch materiaal. Op basis van maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.	98
Tabel 24 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van de opbouw van verzuringscapaciteit in 30 jaar die maximaal 20% van de zuurbuftercapaciteit bedraagt. Op basis van maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.	99
Tabel 25 Voorstel van ecologische referentiewaarden voor grondwaterafhankelijke vegetatietypen van een Kempens landschap. Nitriet moet zo goed als afwezig zijn (de waarden in de tabel hieronder weerspiegelen vooral de bepaalbaarheidsgrens van het labo). Ter vergelijking toont de laatste kolom de actuele milieukwaliteitsnormen voor grondwater (VLAREM, zie ook hoofdstuk 3.1).	103
Tabel 26 Samenvattende statistieken van de chemische samenstelling van het grondwater in het brongebied van de Zwarte Beek en omgeving (alle meetpunten, tijdstippen en diepten samen). Periode 1997-2022. N = aantal waarnemingen, gem = gemiddelde, sdev = standaard deviatie, Pxx = x-percentiel. Waarden onder bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<" (nb: de dataset bevat data van VMM en INBO met mogelijks andere bepaalbaarheidsgrenzen. De vermelde waarde is de waarde geldig voor het laboratorium van het INBO en is te beschouwen als louter indicatief). Metingen beperkt tot stalen met elektroneutraliteit < 10 % met een uitzondering voor mineraalarmede ijzerrijke stalen.	119
Tabel 27 Kleurcodes per variabele met een voorstel van interpretatie per categorie (louter indicatief). Alle waarden in mg/l. Om de waarden gemakkelijk te kunnen toetsen aan de huidige wettelijke normen werd de huidige milieukwaliteitsnorm uit Vlarem steeds genomen als grens tussen 2 categorieën (waarden aangeduid in het paars).	120
Tabel 28 Beoordeelde (sub)criteria per habitatsubtype volgens versie 3 van de Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura 2000 habitattypen in Vlaanderen (Oosterlynck et al .2020).	180
Tabel 29 LSVI-bepaling voor de verschillende door INBO geïnventariseerde trajecten (bepaald volgens Oosterlynck et al. 2020). . BolBe_02 in 2016: enige habitatwaardige locatie. TRUE = gunstig, FALSE = ongunstig. Tussen haakjes: gemeten waarde voor elke indicator.	198



1 INLEIDING

1.1 CONTEXT

In het brongebied van de Zwarte Beek en de bovenloop van de Bolisserbeek (omgeving Peer en Houthalen-Helchteren) is door jarenlange hoge bemesting het grondwater beladen met nutriënten, onder meer nitraat. Het gebied in kwestie ligt in het centrum van de grootste aaneengesloten Speciale Beschermingszone van Vlaanderen (habitatrichtlijngebied BE2200029 Vallei- en brongebieden van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden), aan de westrand van het Kempisch plateau. Vanuit het brongebied van de Zwarte Beek en de percelen langs de bovenloop van de Bolisserbeek is het grootste deel van het grondwater, dat de vochtige habitats van deze beschermde valleien voedt, afkomstig.

In het kader van deze studie proberen we de **nutriëntenstroom** tussen brongebied en vallei verder **in beeld te brengen** en de mogelijke **impact op biodiversiteit in te schatten en te documenteren**.

Bij deze oefening worden we geconfronteerd met de moeilijkheid dat **de wettelijke milieukwaliteitsnormen** voor grondwater **geen ecohydrologisch relevante normen** zijn: de huidige grenswaarden in VLAREM voor nitraat zijn bijv. gebaseerd op richtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie bedoeld om de menselijke gezondheid te beschermen. Zulke normen op zich volstaan dus niet om de impact van nutriënten op de ontwikkeling en instandhouding van regionaal belangrijke biotopen en Europees beschermde habitats in te schatten.

Doestellingen van deze studie:

- Ecologisch relevante referentiewaarden/normen voor de belangrijkste nutriënten in grondwater voorstellen,
- Een overzicht geven van modelleringsinstrumenten die gehanteerd kunnen worden om grondwaterstromen en de verbonden nutriëntenfluxen in beeld te brengen,
- Een meetnet uitbouwen en monitoring opstarten voor de grondwaterkwaliteit en de mogelijke impact van een teveel aan nutriënten in grondwater op biodiversiteit in het brongebied en de Zwarte Beekvallei.

1.2 LEESWIJZER

We starten met een algemene **inleiding** over nutriënten in het grondwater en de bestaande kwaliteitsnormen voor nutriënten in het grondwater (hoofdstukken 2 en 3.1).

Vervolgens beschrijven we hoe we op het **INBO** tot een dataset zijn gekomen van **referentiewaarden** voor de concentraties van nutriënten in grondwater (hoofdstuk 3.3).

We vullen dit aan met een **literatuuronderzoek** naar bestaande, ecologisch relevante, referentiewaarden voor concentraties en fluxen van nutriënten in grondwater (hoofdstuk 3.4). De focus ligt daarbij op de (semi-)terrestrische grondwaterafhankelijke vegetatietypes van een Kempisch beekdal.



We vergelijken vervolgens de resultaten van het INBO-onderzoek met de literatuur om tot een voorstel van **ecologische richtwaarden en grenswaarden voor grondwaterkwaliteit** te komen (hoofdstuk 3.5). We vermelden hierbij ook de belangrijkste kennishiaten en formuleren aanbevelingen om deze waarden te verfijnen.

In hoofdstuk 4 geven we een overzicht van **modelleringsinstrumenten** die kunnen worden gebruikt om de (grondwater)stromingen en de daaraan gebonden nutriëntenfluxen in kaart te brengen.

Tenslotte gaan we in de volgende hoofdstukken dieper in op de situatie in het **brongebied en de bovenloop van de Zwarte Beek en de Bolisserbeek**:

- We schetsen eerst de huidige en vroegere grondwaterkwaliteit en proberen inzicht te krijgen in nutriëntenstromen vanuit brongebieden naar valleigebieden en de betekenis ervan voor ecohydrologische normen (hoofdstuk 5.2).
- Daarnaast beschrijven we de eerste resultaten van een monitoring van de semi-terrestrische vegetatie in de vallei van de Zwarte Beek (hoofdstuk 5.3) en van de macrofyten in de Zwarte Beek en in de Bolisserbeek (hoofdstuk 5.4).



2 NUTRIËNTEN IN HET GRONDWATER

(deels naar De Becker 2020)

Eenvoudig gesteld komt het (negatieve) **effect van nutriënten op de** (semi-terrestrische) **vegetatie** in natuurgebieden neer op **productiestijging**. Voedselarme milieuoedities herbergen vegetaties die gespecialiseerd zijn in het efficiënt opnemen van de weinige nutriënten. Veelal zijn dit kleinere en frelere soorten. Bij een overmaat aan nutriënten verliezen deze soorten hun concurrentieel voordeel en zal de strijd voor nutriënten verschuiven naar een strijd voor licht. Productievere, snelgroeende soorten die goed overweg kunnen met de overmaat aan nutriënten nemen de bovenhand, er wordt meer biomassa geproduceerd waardoor minder competitieve plantensoorten in de verdrukking komen en niet meer overleven in de dichte vegetatie. Klassiek worden stikstof-, fosfor- en kaliumverbindingen als de belangrijkste nutriënten gezien. De kennis over de relatie tussen biodiversiteit en andere macronutriënten (zwavel, calcium, magnesium) en micronutriënten is nog schaars.

De **verhouding tussen nutriënten** bepaalt welk nutriënt limiterend is voor plantengroei (als er sprake is van nutriëntenlimitatie). In welke omstandigheden een nutriënt limiterend wordt, verschilt per soort afhankelijk van hun groeistrategie, hun behoefte aan nutriënten, hun efficiëntie in nutriëntenopname en in het omgaan met nutriënten. Nutriënten dienen in bepaalde verhoudingen aanwezig te zijn in bodem of (grond)water om een (negatieve) impact te hebben op de vegetatieontwikkeling van vochtige natuurgebieden. Om het extreem te stellen: als er enkel nitraat aanwezig is en geen fosfaat of kalium, dan gebeurt er nagenoeg niets met de droge stofproductie van de vegetatie. Hetzelfde gebeurt als er alleen fosfor en geen stikstof of kaliumverbindingen aanwezig zijn. Maar als stikstof en fosfor samen voorhanden zijn, neemt de productie dus sterk toe. Dit biedt vooruitzichten (maar ook risico's) om de effecten van eutrofiëring tegen te gaan door op het limiterende nutriënt te sturen.

Terwijl de verhouding waarin nutriënten voorkomen bepalend is voor het type limitatie, spelen vooral een **hogere nutriëntenconcentratie en -belasting (of -vracht)** een belangrijke rol in de negatieve effecten van eutrofiëring.

Toestroming van nutriëntrijk grondwater heeft niet enkel een rechtstreekse impact via aanvoer van nutriënten, maar kan ook leiden tot **(bio)geochemische reacties** in de ondergrond en in de bodem met potentieel grote gevolgen. Deze processen kunnen een invloed hebben op de mineralisatie van P en N-rijke organische stof, de mobilisatie van geadsorbeerde P, de vrijstelling van broeikasgassen, de zuur/basen-huishouding en/of de beschikbaarheid van toxische stoffen. De hele nutriëntenhuishouding is een bijzonder complex biochemisch verhaal waarin heel veel afhangt van chemische evenwichten, zuurtegraad, redoxtoestanden, beschikbaarheid van organisch materiaal, aanwezigheid van ijzer en calcium, ... In wat volgt wordt een zeer beknopte (en dus onvolledige) opsomming gegeven van de belangrijkste processen, oorzaken en gevolgen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de biogeochemische processen in de ondergrond en bodem tussen infiltratiegebied en kwelgebied verwijzen we o.a. naar Aggenbach *et al.* 2020.



2.1 NUTRIËNTEN OP BASIS VAN STIKSTOF

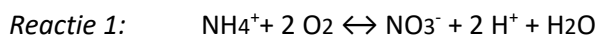
In grondwater worden hoofdzakelijk drie verschijningsvormen van stikstof gevonden: ammonium, nitraat en nitriet. Uiteraard zijn er nog andere verschijningsvormen, maar die zijn zonder uitzondering vrijwel steeds in nog lagere concentraties aanwezig en voor zover geweten van minder acuut belang. Alle stikstofverbindingen zijn (in onze streken althans), van nature in lage concentraties of helemaal niet aanwezig in grondwater.

Ammonium (NH₄⁺) is van nature in relatief lage concentraties aanwezig in grondwater. Het is een positief geladen ion en komt hoofdzakelijk voor onder gebonden vorm op de bodembestanddelen (die in regel negatief geladen zijn via het zogenaamde klei-humuscomplex). Er is een uitwisseling onder de vorm van een dynamisch evenwicht tussen de op de bodem gebonden ammonium en het ammonium in oplossing in bodemvocht. Als een natuurgebied erg nat is, is er geen verschil tussen bodemvocht en grondwater. Het ammonium zit dan in het grondwater.

Een natuurlijke bron van ammonium is de afbraak van organisch materiaal door microorganismen. De belangrijkste menselijke bronnen van ammonium zijn bemesting in landbouwgebied en lozingen uit ontoereikende afvalwaterzuiveringsinstallaties en vanuit rioolstelsels.

Nitraat (NO₃⁻) komt van nature nauwelijks tot niet voor in grondwater in onze streken.

Ammonium kan, in vochtige tot droge omstandigheden (dus in natuurgebieden waar het grondwaterpeil ten minste een deel van het jaar tot een paar tientallen centimeter onder maaiveld zakt) microbiëel omgezet worden naar nitraat (NO₃⁻). Dat proces wordt nitrificatie genoemd (Reactie 1).

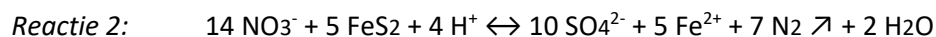


In gebieden waarin de grondwatertafel schommelt (dat zijn de overgrote meerderheid van onze natte gebieden) treedt nitrificatie op maar ook (en dikwijls snel daaropvolgend) denitrificatie waarbij nitraat verder omgezet wordt naar stikstofgas (N₂) of als lachgas (N₂O) die ontsnappen naar de atmosfeer.

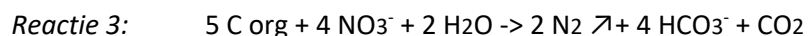
Nitraat is negatief geladen en bindt bijgevolg niet aan de (negatief geladen) bodem. Het is met andere woorden **erg mobiel**. Het spoelt gemakkelijk uit en stroomt mee met het grondwater.

In zuurstofloze condities in de ondergrond kan nitraat gereduceerd worden (denitrificatie):

- In aanwezigheid van pyriet (een ijzer-zwavel (FeS₂)-houdend mineraal dat in nagenoeg elke watervoerende laag in Vlaanderen van nature in grote hoeveelheden aanwezig is) wordt het afgebroken en ontstaat er sulfaat en stikstofgas (Elberling et al 1994, Lucassen 2004):



- Ook nitraatreductie met organisch materiaal kan in de ondergrond optreden. In dit proces mineraliseert het organisch materiaal en wordt CO₂ vrijgesteld (volgens Appelo & Postma, 1993):



De zone waar nitraat in de ondergrond afgebroken wordt, o.a. in aanwezigheid van pyriet of organisch materiaal via reactie 2 en 3, wordt reductiezone genoemd (om het onderscheid te maken met de zgn. oxidatiezone erboven, waar nitraat onder geoxideerde vorm blijft en met het grondwater mee wordt vervoerd).

Nitriet (NO₂⁻) komt van nature in zeer beperkte concentraties voor, wat in de praktijk van chemische analyses betekent dat de concentratie van nitriet lager moet zijn dan de bepaalbaarheidsgrens van de analyseapparatuur. Als nitriet vastgesteld wordt, dan moet dat te maken hebben met de directe instroom van huishoudelijk of dierlijke mest waar het wel in voorkomt. Nitriet is immers chemisch reactief waardoor het, afhankelijk van de omstandigheden, vrij snel wordt omgezet naar nitraat, ammonium of stikstofgas. Meten van verhoogde nitrietconcentraties in grondwater betekent dus een actieve bron van vervuiling in of in de directe omgeving van het gebied in kwestie.

2.2 NUTRIËNTEN OP BASIS VAN FOSFOR

De enige wateroplosbare verschijningsvorm van fosfaten in grondwater doet zich voor onder de vorm van zgn. **orthofosfaat**, een verzamelnaam voor fosfaat-anion PO₄³⁻, waterstoffsosfaat HPO₄²⁻, diwaterstoffsosfaat H₂PO₄⁻ en fosforzuur H₃PO₄. In ongestoorde omstandigheden komt dat niet of nauwelijks voor, wat in de praktijk betekent dat de gemeten waarde vaak tegen de de bepaalbaarheidsgrens van de analyseapparatuur ligt.

2.3 NUTRIËNTEN OP BASIS VAN KALIUM

Kalium (K⁺) draagt een positieve lading en bindt vlot op de (negatief geladen) bodem. Hoge concentraties in grondwater zijn het gevolg van hoge verzadiging van het bodemcomplex met kalium. In de ecohydrologie wordt er nauwelijks aandacht besteed aan kalium, omdat er in onze contreien vooralsnog geen gevallen bekend zijn van kalium overschotten. Als er grote hoeveelheden kalium in de wortelzone/het milieu zijn, kan het vooral leiden tot een onevenwichtige opname van andere kationen door de aanwezige organismen. Groeilimitatie door kalium bestaat, maar wordt veel minder vaak gerapporteerd in de literatuur dan limitatie door stikstof en fosfor. Daarom focussen we in dit rapport eerder naar stikstof en fosfor¹.

2.4 HOE ZIT HET MET SULFAAT?

Er is sinds een paar decennia steeds sprake van sulfaat als het over nutriënten in het grondwater gaat. Sulfaat blijkt een erg belangrijke **onrechtstreekse rol in de nutriëntenbeschikbaarheid** in natte natuurgebieden te spelen.

Sulfaat (SO₄²⁻) komt in onze streken van nature voor in grondwater maar in beperkte concentraties. Het is negatief geladen en bindt dus niet aan de bodem. Het spoelt gemakkelijk uit met grondwater (en wordt onderweg vaak ook gevormd uit de reactie van infiltrerend nitraat en pyriet) en wordt over grote afstanden met dat grondwater getransporteerd om zo in kwelgebieden aan de oppervlakte te komen.

Omwille van de verregaande industrialisatie de voorbije eeuw, zijn de concentraties sulfaat spectaculair gestegen tot soms meerdere honderden mg SO₄²⁻ /l. Pre-industriële concentraties in West-Europa worden geschat (want dat werd toen nog niet bemeten) op ongeveer 15 mg/l.

¹ (Co)limitatie door kalium is al vermeld in gedraineerde of vernatte veengebieden (bijv. Van Duren en Petgel, 2000) maar dit gaat de scope van deze eerste verkennende studie te boven.



Overal in onze contreien zijn deze concentraties gedurende de vele voorbije decennia opgelopen tot meer dan het 10 à 15-voudige als gevolg van zwavel- en stikstofdepositie en overbemesting (zie o.a. Van Beek *et al.* 2004; Broers & Peet 2003). De laatste jaren is er op veel plaatsen in Vlaanderen duidelijk verbetering opgetreden als gevolg van de vele beleidsmaatregelen tegen zure (zwavel)depositie, overbemesting e.a.

Toch zijn er nog steeds (en soms sterk) verhoogde sulfaatconcentraties te meten in het grondwater. Dat is dan het gevolg van **afbraak van nitraat in infiltrerend grondwater** (reactie 2). Dit nitraat is afkomstig van overbemesting van landbouwgronden in het infiltratiegebied en in mindere mate ook door invang van droge en natte atmosferische depositie via bossen. Naaldbossen hebben een belangrijkere invang dan loofbossen omwille van de hogere leaf area index (LAI = oppervlakte van de bladoppervlakte/oppervlakte onderliggend maaiveld), vnl. in het winterhalfjaar.

Eenmaal dat sulfaat in het grondwater terechtkomt, wordt het met infiltrerend grondwater meegevoerd en komt in het kwelgebied terug aan de oppervlakte. Daar heeft het een negatief effect op de nutriëntenbeschikbaarheid en wel op twee manieren:

- In bodems van kalkarme systemen (i.e. Vlaamse zandstreek en Kempen) zit het grootste deel van de fosfaten gebonden aan ijzer en aluminium in de ondergrond. Aanvoer van sulfaat via grondwater zorgt voor verdringing van de gebonden fosfaten en dus **vrijstelling** van plant beschikbare **fosfaten** in het systeem (Lucassen 2004) – dit proces wordt “interne eutrofiëring” genoemd.
- In waterverzadigde bodems die rijk zijn aan organisch materiaal (zoals in de meeste natte natuurgebieden in Vlaanderen) zal aanvoer van sulfaat via grondwater zorgen voor **versnelde mineralisatie** van het organisch materiaal door sulfaat reducerende bacteriën. Alle mineralen en nutriënten die opgeslagen zitten in dat organisch materiaal, worden vrijgezet en zorgen voor een bijkomende beschikbaarheid van nutriënten. Bovendien wordt er bij dit proces een pH- en bicarbonaatverhoging gerealiseerd. Dit proces wordt interne alkalisering genoemd (Smolders 1995). Daardoor wordt de afbraak van organisch materiaal via micro-organismen gestimuleerd waardoor het mineralisatieproces beter verloopt en dus de vrijstelling van nutriënten nog groter wordt.

Verhoogde sulfaatconcentraties zijn bijna altijd terug te voeren op instroom van nitraat in het infiltratiegebied en zijn dus een betrouwbare aanwijzing voor een nitraatproblematiek in het grondwatersysteem van het betrokken natuurgebied. Daarom lijkt het ons verstandig om ook sulfaat mee op te nemen in deze studie.

2.5 GEBRUIKTE EENHEDEN

In dit rapport gebruiken we volgende eenheden:

Tabel 1 Gebruikte eenheden en omrekeningsfactoren tussen eenheden. Nitraat-stikstof = hoeveelheid stikstof in een molecule nitraat.

Parameter		Omrekening naar vorm	Omrekening naar element
Ammonium-stikstof	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	1 mg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ = 1,288 mg NH_4^+	1 mg NH_4^+ = 0,776 mg $\text{NH}_4^+\text{-N}$
Nitriet-stikstof	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	1 mg $\text{NO}_2^-\text{-N}$ = 3,285 mg NO_2^-	1 mg NO_2^- = 0,304 mg $\text{NO}_2^-\text{-N}$
Nitraat-stikstof	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	1 mg $\text{NO}_3^-\text{-N}$ = 4,427 mg NO_3^-	1 mg NO_3^- = 0,226 mg $\text{NO}_3^-\text{-N}$
Orthofosfaat-fosfor	$\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P}$	1 mg $\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P}$ = 3,066 mg o-PO_4^{3-}	1 mg o-PO_4^{3-} = 0,326 mg $\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P}$
Sulfaat	SO_4^{2-}	n.v.t.	n.v.t.

////////////////////////////////////

3 REFERENTIEWAARDEN VOOR NUTRIËNTENCONCENTRATIES IN WATER

3.1 MILIEUKWALITEITSNORMEN EN 'NATUURKWALITEITSNORMEN' VOOR GRONDWATER

Om nutriëntconcentraties in grondwater te interpreteren en ze in verband te kunnen brengen met de ecologische vereisten van beschermde vegetaties en eutrofiëringsprocessen, zijn referentiewaarden nodig.

Er bestaan zgn. **milieukwaliteitsnormen**, dat is een set van **wettelijk vastgelegde** normen die te vinden zijn in bijlage 2.4.1 van het Besluit van de Vlaamse Gemeenschap van 21/5/2010 (gepubliceerd op 9/7/2010) met betrekking tot 'milieuhygiëne, voor wat betreft de milieukwaliteitsnormen voor (...) grondwater'. Dit besluit legt normen vast waaraan grondwater dient te voldoen. Hiermee wordt invulling gegeven aan de eisen van de Europese richtlijn betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand (2006/118/EG).

Als milieukwaliteitsnormen voor de beoordeling van de chemische toestand van grondwater gelden de minst strenge van de volgende richtwaarden:

- de grondwaterkwaliteitsnormen, zoals opgelijst in tabel 2;
- de achtergrondniveaus, eigen aan elk grondwaterlichaam en niet beïnvloed door lozingen (vermeld in het Besluit, artikel 2 van bijlage 2.4.1.).

Voor de beschermde gebieden (incl. de Speciale Beschermingszones) kunnen strengere milieukwaliteitsnormen vastgesteld worden in de stroomgebiedbeheerplannen.

Tabel 2 Milieukwaliteitsnormen (bovengrens) voor de belangrijkste nutriënten en elektrische geleidbaarheid (EC) in grondwater (VLAREM - besluit VI. Gem. 21/5/2010) en omzetting van de officiële waarden in andere courante eenheden.

Parameter		Milieukwaliteitsnorm VLAREM	
Elektrische geleidbaarheid	EC	1600 $\mu\text{S/cm}$ (20°C)	~ 1753 $\mu\text{S/cm}$ (25°C)
Ammonium	NH_4^+	0,5 mg NH_4^+/l	~ 0,388 mg $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{l}$
Nitriet	NO_2^-	0,1 mg NO_2^-/l	~ 0,03 mg $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{l}$
Nitraat	NO_3^-	50 mg NO_3^-/l	~ 11,3 mg $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{l}$
Orthofosfaat	o-PO_4^{3-}	1,34 mg $\text{o-PO}_4^{3-}/\text{l}$	~ 0,437 mg $\text{o-PO}_4^{3-} - \text{P}/\text{l}$
Sulfaat	SO_4^{2-}	250 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$	

De standaard milieukwaliteitsnormen vermeld in tabel 2 mikken hoofdzakelijk op een bepaalde milieuhygiënische kwaliteit, o.a. met het oog op volksgezondheid, maar er bestaan geen standaard wettelijke drempels voor nutriëntengehalten in grondwater op basis van ecologische gevoeligheid/tolerantie.

In dat opzicht vallen de milieukwaliteitsnormen voor oppervlaktewater beter te relateren aan ecologische doelen (voor habitats uit stromend water dan wel...). De Europese Kaderrichtlijn Water definieert 5 kwaliteitsklassen voor de ecologische toestand van natuurlijke oppervlaktewateren, gaande van slecht tot goed en zeer goed. Volgens de laatste staat van



kennis (Van Calster et al. 2020) zou een zeer goede ecologische toestand volgens de Europese Kaderrichtlijn Water het duurzaam behoud van de aquatische habitats moeten garanderen. Een goede toestand kan in vele gevallen gepaard gaan met een gunstige lokale staat van instandhouding, maar dit is zeker niet altijd het geval. Voor kleine beken in de Kempen gelden de normen van tabel 3.

Tabel 3 Milieukwaliteitsnormen voor de belangrijkste nutriënten in oppervlaktewateren van het type kleine beek Kempen (besluit VI. Gem. 21/5/2010).

Parameter	Goede toestand Milieukwaliteitsnorm	Zeer goede toestand	Toetswijze
Kjeldahl N	< 6 mg N/l	< 1,5 mg N/l	90e percentiel
NO ₃ ⁻	< 10 mg NO ₃ -N/l	< 2 mg NO ₃ -N/l	90e percentiel
Totaal N	< 4 mg N/l	< 3 mg N/l	zomerhalfjaargemiddelde
Totaal P	< 0,14 mg P/l	< 0,04 mg P/l	zomerhalfjaargemiddelde
o-PO ₄ ³⁻	< 0,07 mg o-PO ₄ -P/l	< 0,04 mg o-PO ₄ -P/l	gemiddelde
SO ₄ ²⁻	< 90 mg SO ₄ /l	< 60 mg SO ₄ /l	gemiddelde

Naast de bestaande milieukwaliteitsnormen zouden we zgn. **natuurkwaliteitsnormen** kunnen introduceren, d.w.z. referentiewaarden/-bereiken die nodig zijn voor het in stand houden van op Vlaams of Europees niveau beschermde vegetatie- en/of habitattypen. Momenteel zijn er nog geen juridisch vastgestelde natuurkwaliteitsnormen.

De definitie van ecologisch relevante kwaliteitsnormen voor grondwater is onderwerp van de volgende hoofdstukken van dit rapport. We beschrijven eerst de resultaten van het standplaatsonderzoek van het INBO, en vervolgens de bevindingen van een gericht literatuuronderzoek naar referentiewaarden voor nutriënten in grondwater.

3.2 BESCHOUWDE VEGETATIETYPEN

We focussen bij deze oefening op **grondwaterafhankelijke semi-terrestrische habitattypen** die in een **Kempens landschap** kunnen voorkomen. Daaronder vallen vooral volgende regionaal belangrijke biotopen en Natura 2000 habitat(sub)typen (indicatieve lijst):

Open vegetaties:

- 4010: vochtige heide
- 6230_hmo: vochtig heischraal grasland
- 6410_mo: blauwgrasland
- 6410_ve: veldrusgrasland
- 7150: slenken en plagplekken op vochtige bodems in de heide
- 7140_oli: oligotroof zuur overgangsvveen
- 7140_meso: mineraalarm overgangsvveen
- rbbhc: dotterbloemgrasland
- rbbms: zuur laagveen, kleine zeggenvegetatie
- rbbsm: gageelstruweel

Bossen en struwelen:

- 91E0_vo: voedselarm berkenbroekbos
- 91E0_vm: mesotroof elzenbroekbos
- rbbso: wilgenstruweel op venige en zure grond

In de literatuur zijn vegetatiebeschrijvingen vaak niet eenduidig te koppelen met deze habitattypen. Bij de bespreking van de resultaten van het literatuuronderzoek worden ook gegevens over hoogveen (7110), veenmosrijke rietlanden op drijfzand (7140_mrd), basenrijk trilveen (7140_base) en kalkmoeras (7230) meegenomen, omdat ze op abiotisch “naburige” standplaatsen - soms als geleidelijke overgang - opduiken in het Kempische landschap.

3.3 DATASET STANDPLAATSONDERZOEK INBO

3.3.1 Methodiek in een notendop

3.3.1.1 Dataverzameling en laboanalyses

We gebruiken voor deze oefening data uit de FlaVen databank (FLAnders Vegetation and ENvironmental data). Deze INBO-databank bevat resultaten uit verschillende studies naar de standplaatsvereisten van (semi)-terrestrische habitattypen en regionaal belangrijke biotopen in Vlaanderen (o.a. gegevens verzameld i.h.k.v. de studies Alno-Padion gemeenschappen (De Becker et al. 2004) en NICHE-Vlaanderen (Callebaut et al. 2007) maar ook niet gepubliceerde gegevens).

De dataset is al volgt opgebouwd:

3.3.1.1.1 Vegetatiebeschrijving

In proefvlakken van 3 op 3 m voor de open habitats en 10*10 m/16*16 m voor de bossen werd de presentie en bedekking van planten ingeschat met behulp van de schaal van Londo (Londo, 1975). We noemen dit een vegetatieopname.

Voor deze oefening selecteren we de vegetatieopnamen die tot grondwaterafhankelijke habitattypen en regionaal belangrijke biotopen typisch voor een Kempens landschap behoren, zoals aangegeven onder alinea 3.2. FlaVen bevat geen opnames voor rbbso (wilgenstruweel op venig en zure grond) en rbbsm (gagelstruweel) waar ook hydrochemische gegevens voor beschikbaar zijn (zie verder). Er is tot op heden nog geen specifieke bemonsteringscampagne voor uitgevoerd.

Bij het selecteren van vegetatieopnamen werd destijds gezocht naar “goed ontwikkelde voorbeelden van het bedoelde vegetatietype”. Alle vegetatieopnamen die aan de definitie van het beschouwde habitatsubtype of regionaal belangrijk biotoop voldoen, worden gebruikt, ongeacht hun lokale staat van instandhouding. We bekijken hier dus niet het onderscheid tussen locaties in gunstige en ongunstige staat van instandhouding², maar eerder tussen habitats/regionaal belangrijke biotopen enerzijds en andere locaties waar ze niet meer voorkomen anderzijds.

² Voor grenswaarden tussen habitats in ongunstige en gunstige staat van instandhouding verwijzen we naar de abiotische gunstige bereiken in Van Calster et al. (2020)



3.3.1.1.2 Bodembemonstering en analyse

In hetzelfde proefvlak werd één bodemstaal genomen bestaande uit 9 steken (deelstalen) in de toplaag (0-10 cm). Deze werden voor elk proefvlak samengevoegd tot één mengstaal.

De korrelgroottefracties werden bepaald d.m.v. laserdiffractie (INBO SAP-200B) en het gehalte aan koolstof door verbranding (1200 °C) en meting van CO₂ emissie (INBO SAP-252A). Op basis van deze analyses wordt het bodemtype aangegeven: stalen met minstens 20 % organisch koolstof worden beschouwd als organische stalen (conform de definitie van de World Reference Base for Soil Resources, IUSS Working Group WRB, 2022): ze worden in een aparte categorie 'veen' ondergebracht. Voor de andere stalen wordt de textuur van de toplaag volgens de Belgische classificatie aangegeven.

3.3.1.1.3 Grondwaterdata

Voor de chemische analyses van het freatische grondwater, werden waterstalen genomen in ondiepe piëzometers die zich in een straal van maximum 20 m van het proefvlak bevinden. Na analyse van de nutriëntconcentraties (ionchromatografie INBO SAP-159B) werden de resultaten opgenomen in de WATINA-databank voor hydrologische monitoring in natuurgebieden.

Als er meerdere stalen beschikbaar waren, werd enkel het grondwaterstaal weerhouden dat genomen werd op een tijdstip dat het dichtst aanleunt bij het tijdstip waarop de vegetatieopname werd gemaakt.

In totaal bevat deze dataset meer dan 400 meetpunten verdeeld over de verschillende vegetatietypen als volgt (tabel 4):

Tabel 4 Aantal meetpunten met analyseresultaten voor de concentraties nitraat, nitriet, ammonium, orthofosfaat en/of sulfaat. We vermelden een range omdat het aantal beschikbare metingen afhankelijk van de variabele kan variëren.

Habitat	N meetpunten met analyseresultaten	
6230_hmo	vochtig heischraal grasland	15
6410_mo	blauwgrasland	19-22
6410_ve	veldrusgrasland	2
rbbhc	dotterbloemgrasland	121-160
4010	vochtige heide	79-93
7150	slenken en plagplekken op vochtige bodems in de heide	2
7140_oli	oligotroof zuur overgangsveen	20-24
7140_meso	mineraalarm overgangsveen	27-29
rbbms	zuur laagveen, kleine zeggenvegetatie	28-31
91E0_vo	voedselarm berkenbroekbos	12-19
91E0_vm	mesotroof elzenbroekbos	15-27
alle		341-424

Stalen met extreem verhoogde concentraties werden manueel gecontroleerd (stalen met minstens 10 mg NO₃⁻-N/l, 1 mg NO₂⁻-N/l, 10 mg NH₄⁺-N/l, 5 mg PO₄⁻-P/l of 250 mg SO₄⁻-l): er werd gekeken of andere wateranalyses beschikbaar waren en of de resultaten overeenkwamen met de gebruikte gegevens.

////////////////////////////////////

De tabel hieronder geeft een overzicht van de mogelijke probleemgevallen of twijfelgevallen:

Tabel 5 Analyse van de problematische uitschieters, t.t.z. meetpunten met meerdere analyses met tegenstrijdige resultaten of meetpunten met slechts 1 analyse. Meetpunten waarvoor er meerdere metingen zijn met systematisch verhoogde concentraties, worden niet getoond: we gaan ervan uit dat deze verhoogde concentraties representatief zijn voor het meetpunt.

Meetpunt	Habitat	Variabele	Uitleg
HARPO12	6410_mo	NH4	Slechts 1 analyse beschikbaar, geen uitsluitel
OSGP027	rbbhc	NH4	3 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen
DMLP025	6410_mo	NO2	Slechts 1 analyse beschikbaar, geen uitsluitel
OSGP027	rbbhc	NO2	3 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen
RODP023	91E0_meso	NO3	Slechts 1 analyse beschikbaar, geen uitsluitel
PABPO01	rbbhc	NO3	2 analyses beschikbaar. Twijfelgeval
ABEP043	rbbhc	NO3	8 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen
OSGP027	rbbhc	o-PO4	3 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen
OLEP017	91E0_meso	o-PO4	3 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen
MOLP006	rbbhc	SO4	3 analyses beschikbaar. Outlier: de gebruikte waarde is aanzienlijk hoger dan de andere metingen

In totaal zijn er 4 meetpunten met afwijkende waarden (t.t.z. 3 voor dotterbloemgrasland (rbbhc) en 1 voor mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm). Deze punten worden nog meegenomen in de rest van de analyses, maar bij de bespreking van de resultaten vermelden we ze systematisch als ze de interpretatie van de resultaten dreigen te beïnvloeden.

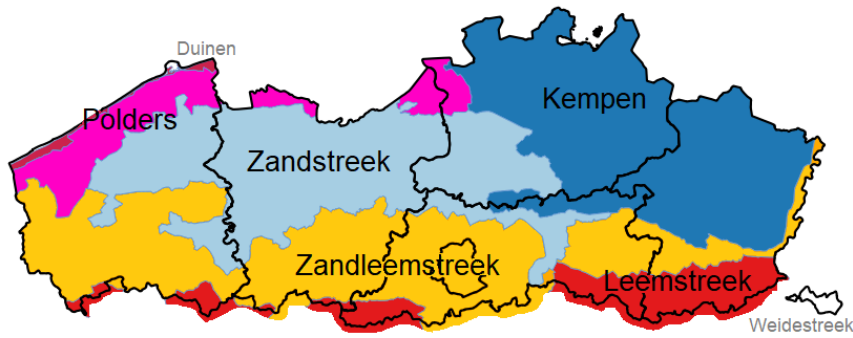
3.3.2 Referentiebereik per vegetatie en nutriënt

Op basis van alle hydrochemische data in FlaVen werden boxplots gegenereerd voor de belangrijkste stikstof- en fosforhoudende verbindingen (nitraat-stikstof NO₃-N, nitriet-stikstof NO₂-N, ammonium-stikstof NH₄-N, orthofosfaat-fosfor o-PO₄-P) en sulfaat (SO₄).

In de pagina's hieronder tonen we er 2 versies van, met verschillende kleurcodes volgens resp.:

- de landbouwstreek³,
- het type bodem van de toplaag van de bemonsterde locatie (laboanalyse, zie 3.3.1.1.2).

³ De kaart van de landbouwstreken heeft het voordeel van een vrij intuïtieve indeling en het beperkte aantal categorieën leent zich goed tot een weergave op grafiek.

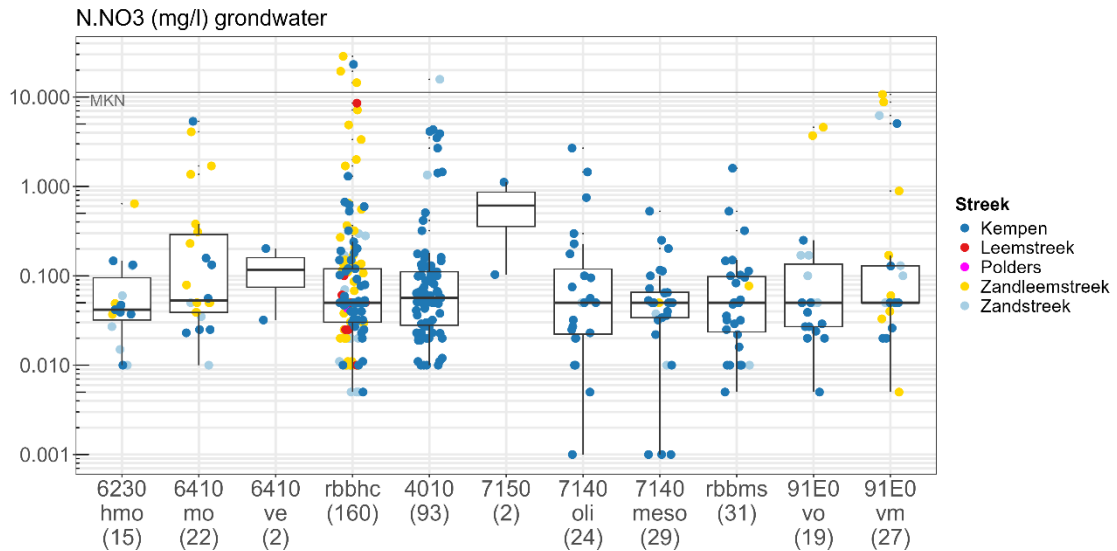


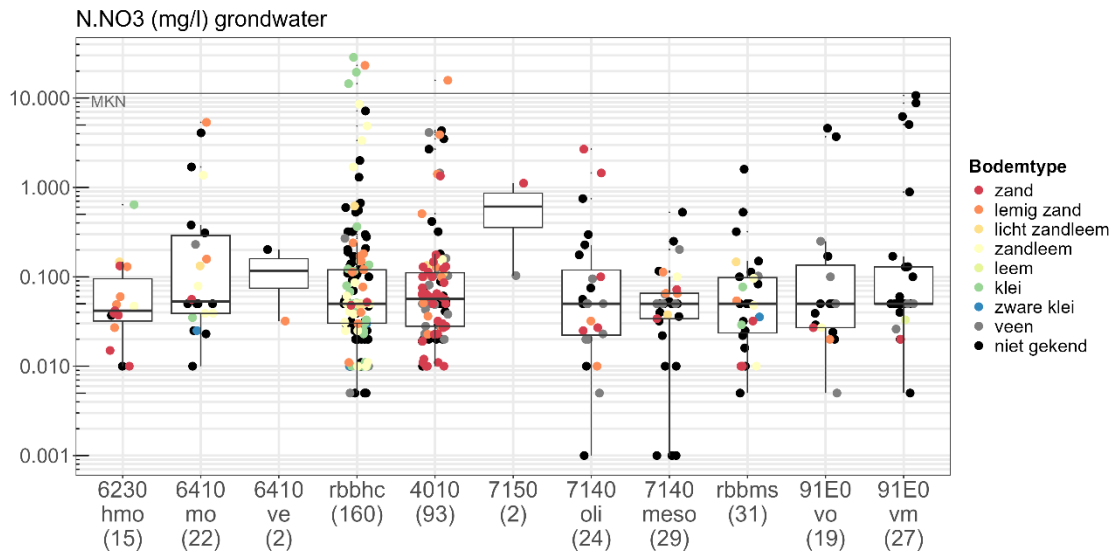
Figuur 1 Landbouwstreken van Vlaanderen.

In bijlage 1 (digitale bijlage) stellen we dezelfde grafieken ter beschikking, maar dan ook met een kleurcode die aangeeft binnen welke ecoregio elke referentielocatie zich bevindt.

3.3.2.1 Nitraat

De mediane concentratie nitraat ligt voor alle vegetaties tussen 0,04 en 0,12 mg NO₃-N/l (figuur 2 en kolom P50 in tabel 6). De enige uitzondering is die van de slenken en plagplekken op vochtige bodems in de heide (7150) waarvoor er veel te weinig monsters (welgeteld twee) beschikbaar zijn om conclusies te trekken. De bemonsterde locaties voor dit type zijn plagplekken in een matrix van vochtige heide, en zouden mee met de andere stalen voor 4010 beschouwd kunnen worden. De 75-percentielwaarde ligt voor alle vegetaties onder de 0,3 mg NO₃⁻-N /l (opnieuw met uitzondering van type 7150).





Figuur 2 Concentratie nitraat-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,02 mg NO₃-N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattyp: aantal waarnemingen. Interpretatie boxplots: box = p25-p50-p75, whiskers = afstand tot max p75/p25 +/- 1.5* afstand tussen p25-p75. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.

Er is geen duidelijk effect van de streek op de concentraties nitraat in het grondwater. De hoogste concentraties voor de dotterbloemgraslanden (rbbhc) worden wel grotendeels buiten de Kempen en de Zandstreek aangetroffen, maar al bij al blijft het aantal puntlocaties dat boven de rest uitsteekt beperkt tot 9, dat betekent ongeveer 5% van de beschikbare waarnemingen. Extreem lage concentraties (onder de bepaalbaarheidsgrens) komen evengoed voor in de Leemstreek en Zandleemstreek. Het is ook niet zo dat kleigronden systematisch tot hogere concentraties leiden dan lichtere gronden. Ook voor het voedselarme berkenbroekbos (91E0_vo) worden de hoogste waarden buiten de Kempen en de Zandstreek gemeten, maar het kleine aantal waarnemingen laat niet toe om dit verschil statistisch betrouwbaar te onderscheiden van naburige streken.

Tabel 6 Samenvattende statistieken voor de concentratie nitraat-stikstof in het fretische grondwater. Alle waarden in mg N/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd), m.a.w. habitats met meer referentielocaties wegen NIET meer dan andere.

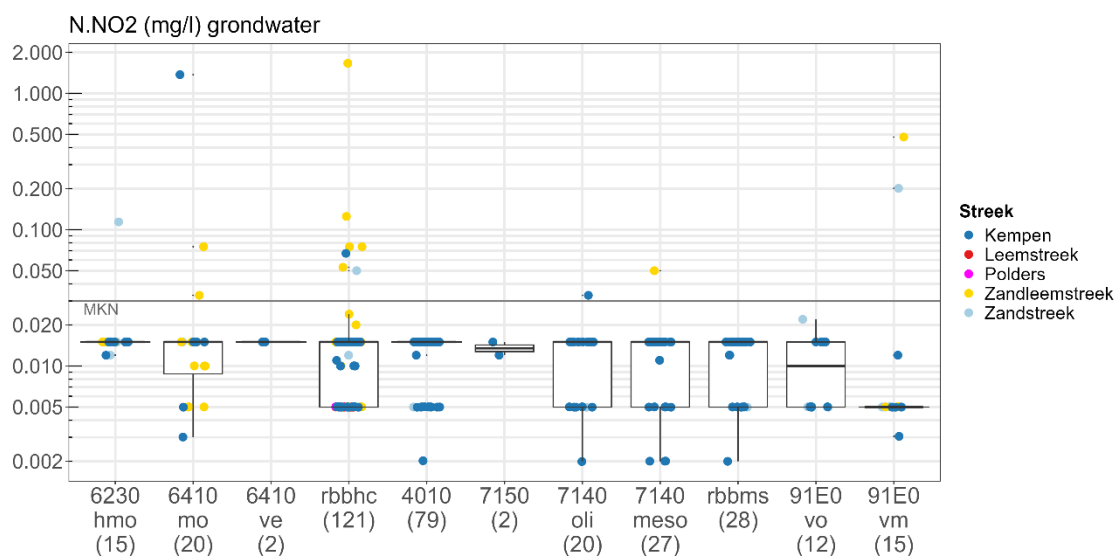
habitat	variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	max
6230_hmo	NO3-N	15	0.09	0.16	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.04	0.1	0.14	0.3	0.64
6410_mo	NO3-N	22	0.65	1.4	<0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.29	1.66	3.96	5.35
6410_ve	NO3-N	2	0.12	0.12	0.03	0.04	0.05	0.07	0.12	0.16	0.19	0.19	0.2
rbbhc	NO3-N	160	0.8	3.56	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.05	0.12	0.53	2.07	28.6
4010	NO3-N	93	0.48	1.82	<0.02	<0.02	0.02	0.03	0.06	0.11	0.49	3.01	15.8
7150	NO3-N	2	0.61	0.72	0.1	0.15	0.2	0.36	0.61	0.86	1.01	1.07	1.12
7140_oli	NO3-N	24	0.26	0.61	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.05	0.12	0.61	1.35	2.68
7140_meso	NO3-N	29	0.08	0.1	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.05	0.07	0.13	0.23	0.53
rbbms	NO3-N	31	0.13	0.29	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.05	0.1	0.15	0.42	1.6
91E0_vo	NO3-N	19	0.5	1.3	<0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.14	0.94	3.79	4.6
91E0_vm	NO3-N	27	1.22	2.89	<0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.13	5.52	8.03	10.7
alle	NO3-N	424	0.46		<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.05	0.12	0.53	2.68	28.6

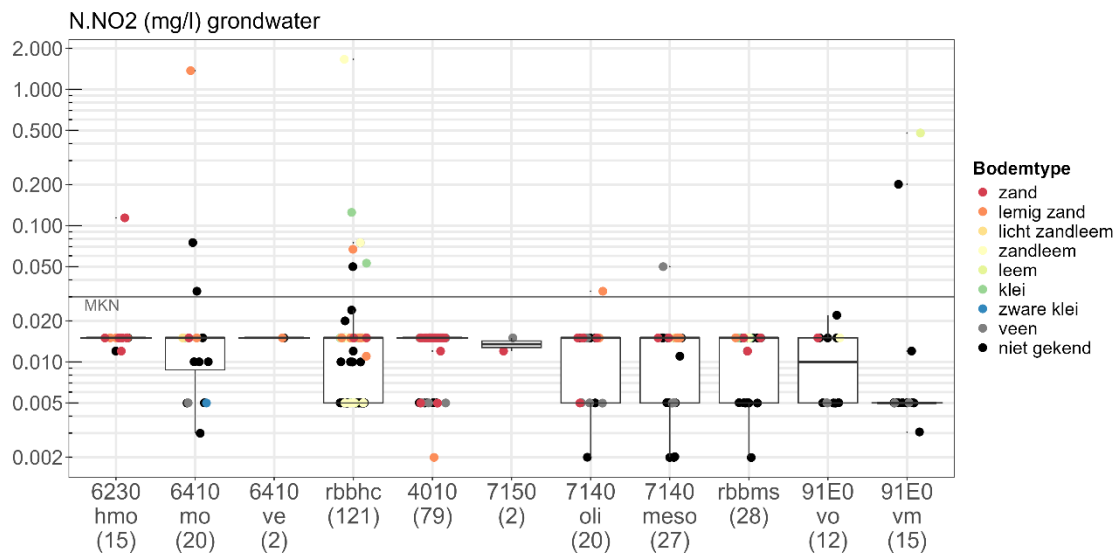
Het overgrote deel van de waarnemingen op onze referentielocaties vertoont **concentraties 10 tot 500 maal lager dan de huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater** van 11,3 mg NO₃⁻-N/l (50 mg NO₃⁻/l, VLAREM), wat geen verrassing is, wetende dat deze norm gebaseerd is op menselijke gezondheidsoverwegingen (WHO 2017).

3.3.2.2 Nitriet

De nitrietconcentraties zijn **extreem laag** (tabel 7) en vallen meestal onder de bepaalbaarheidsgrens van het laboratorium. De gevoeligheid van de analyse-apparatuur (en dus de bepaalbaarheidsgrens) werd overigens in de loop van de studie bijgesteld van 0,03 naar 0,015 mg NO₂-N/l omwille van de nood om ook lagere concentraties waar te nemen. De extreem lage waarden zijn niet onverwacht, gezien het vrij onstabiele karakter van nitriet en het feit dat het van nature zo goed als niet voorkomt in grondwater in onze regio's. Nitriet in het grondwater is meestal het teken van een directe instroom van huishoudelijk of dierlijke mest waar het wel in voorkomt. Blijkbaar zijn er in onze dataset toch enkele locaties met een actieve bron van vervuiling in of in de directe omgeving van vochtig heischraal grasland (6230_hmo), blauwgrasland (6410_mo), dotterbloemgrasland (rbbhc) en mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm).

Aangezien de meeste waarden onder de bepaalbaarheidsgrens vallen is het niet mogelijk om statistisch te berekenen of er een verschil is in concentraties tussen de verschillende streken van Vlaanderen.





Figuur 3 Concentratie nitriet-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,015 mg NO₂-N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. De meeste metingen vallen dus **onder de bepaalbaarheidsgrens**. Tussen haakjes onder het habitattype: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.

De **huidige milieukwaliteitsnorm (VLAREM)** bedraagt 0,03 mg NO₂-N/l, wat erop neerkomt dat er nauwelijks nitriet gedetecteerd mag worden in het grondwater. Gezien het kleine verschil tussen de bepaalbaarheidsgrens in ons labo en de actuele norm kunnen we geen concrete aanbevelingen formuleren om de norm bij te sturen, maar het lijkt in ieder geval dat de norm voor nitriet, in tegenstelling tot die voor nitraat, al van een **relevante orde van grootte** is om de Kempense vegetaties niet negatief te beïnvloeden.

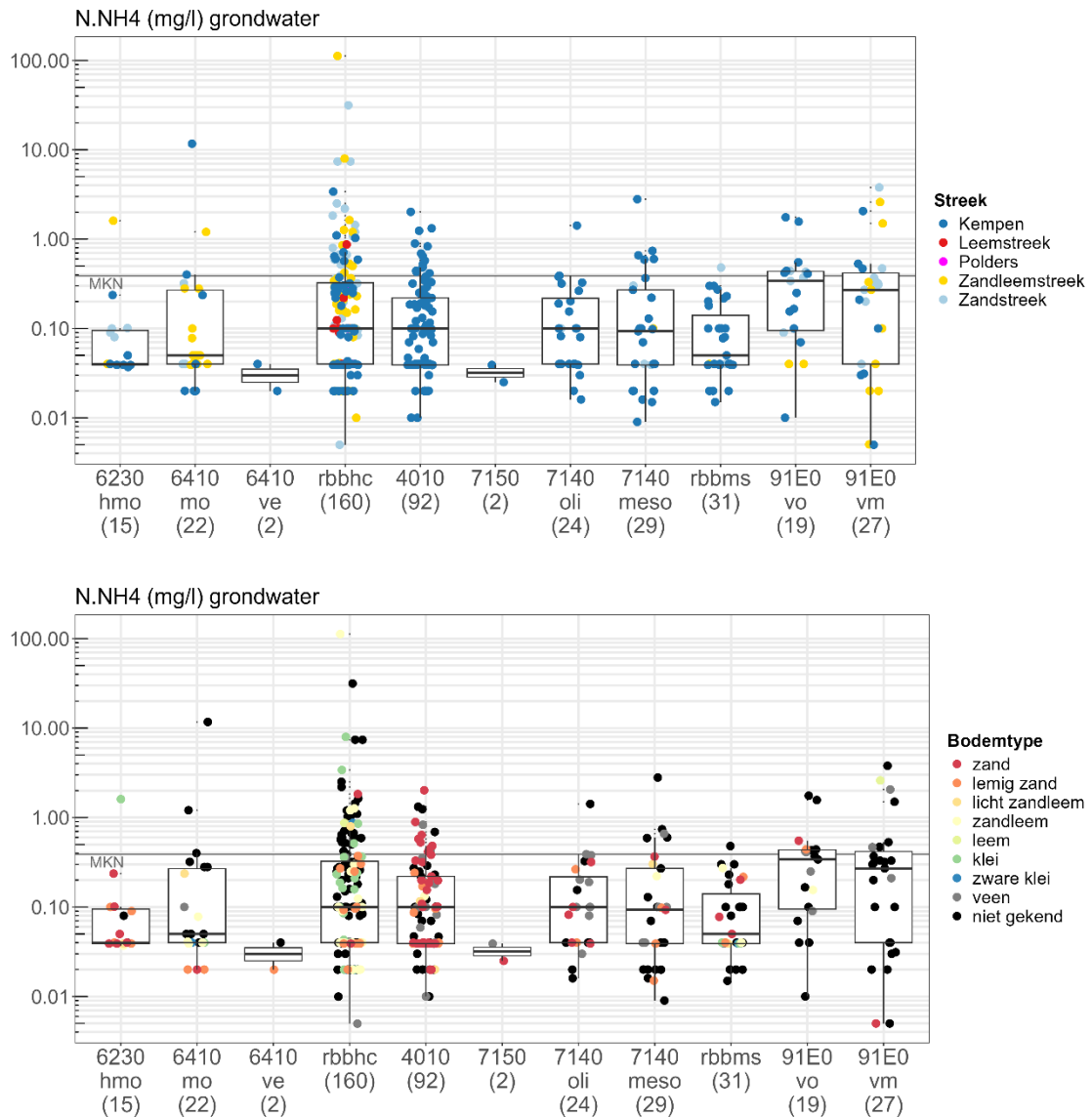
Tabel 7 Samenvattende statistieken voor de concentratie nitriet-stikstof in het freatische grondwater. Alle waarden in mg N/l. De concentratie is meestal lager dan de bepaalbaarheidsgrens ("<" in de tabel). De maximale waarde voor dotterbloemgrasland (rbbhc) is een uitschieter en moet worden beschouwd als dubieus. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).

habitat	variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	max
6230_hmo	NO ₂ -N	15	0.02	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.11
6410_mo	NO ₂ -N	20	0.08	0.3	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	1.37
6410_ve	NO ₂ -N	2	0.01	0	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
rbbhc	NO ₂ -N	121	0.03	0.15	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	1.66
4010	NO ₂ -N	79	0.01	0	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
7150	NO ₂ -N	2	0.01	0	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
7140_oli	NO ₂ -N	20	0.01	0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03
7140_meso	NO ₂ -N	27	0.01	0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.05
rbbms	NO ₂ -N	28	0.01	0	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
91E0_vo	NO ₂ -N	12	0.01	0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.02
91E0_vm	NO ₂ -N	15	0.05	0.13	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.13	0.28	0.48
alle	NO ₂ -N	341	0.03		<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	1.66



3.3.2.3 Ammonium

Afhankelijk van de beschouwde vegetatie bedraagt de mediane concentratie ammonium in het grondwater minder dan 0,04 tot 0,34 mg NH₄⁺-N/l (figuur 4 en tabel 8). Een aanzienlijk percentage van de metingen bevindt zich zelfs onder de bepaalbaarheidsgrens van het laboratorium. Het 75e-percentiel ligt voor alle vegetaties in een bereik van 0,1 tot 0,44 mg NH₄⁺-N/l (met uitzondering van de slenken en plagplekken op vochtige bodems in de heide 7150 en van de veldrusgraslanden 6410_ve, in beide gevallen gebaseerd op slechts 2 metingen). Deze concentraties lijken niet per streek te verschillen.



Figuur 4 Concentratie ammonium-stikstof in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,04 mg NH₄-N/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattypen: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.

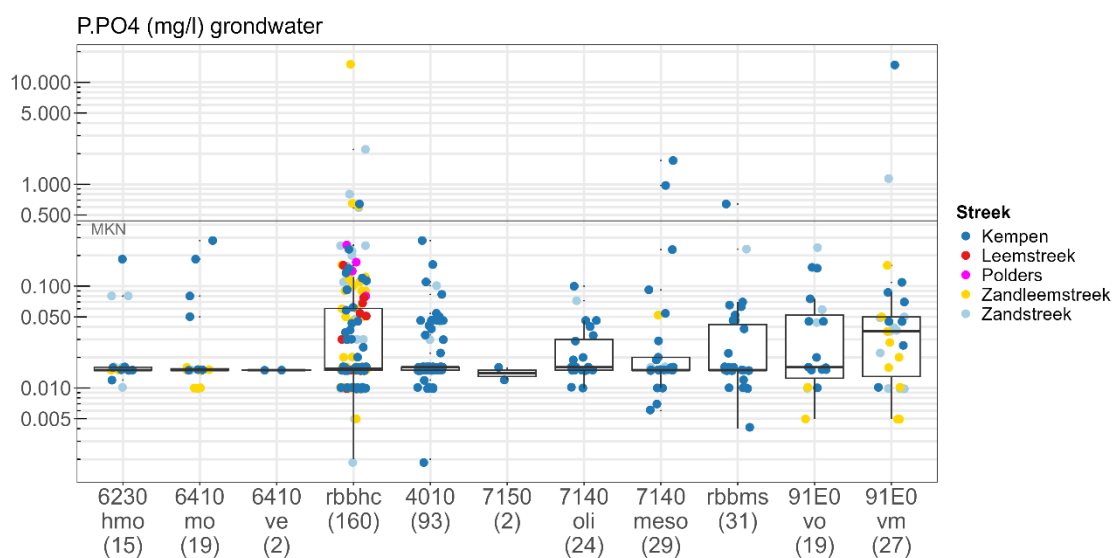
De **milieukwaliteitsnorm voor ammonium (VLAREM)** bedraagt ca 0,388 mg NH₄⁺-N/l. Zoals voor nitriet lijkt de norm voor ammonium van **een orde van grootte** te zijn die **aanvaardbaar** is om het ook **voor ecologische doeleinden** te kunnen gebruiken.

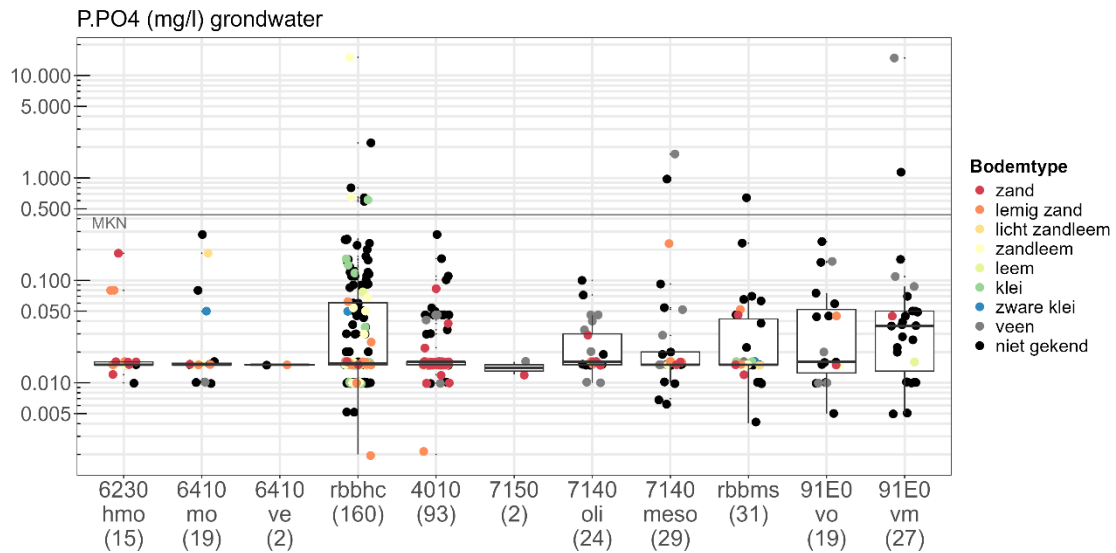
Tabel 8 Samenvattende statistieken voor de concentratie ammonium-stikstof in het freatische grondwater. Alle waarden in mg N/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". De maximale waarde voor dotterbloemgrasland (rbbhc) is een uitschieter en moet worden beschouwd als dubieus. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).

habitat	variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	max
6230_hmo	NH4-N	15	0.17	0.4	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.1	0.18	0.65	1.61
6410_mo	NH4-N	22	0.69	2.47	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.05	0.27	0.39	1.16	11.7
6410_ve	NH4-N	2	0.03	0.01	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.04	0.04
rbbhc	NH4-N	160	1.33	9.23	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.1	0.32	1.04	1.85	112
4010	NH4-N	92	0.2	0.31	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.1	0.22	0.48	0.75	2.02
7150	NH4-N	2	0.03	0.01	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
7140_oli	NH4-N	24	0.19	0.29	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.1	0.22	0.36	0.39	1.42
7140_meso	NH4-N	29	0.26	0.53	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.09	0.27	0.61	0.71	2.8
rbbms	NH4-N	31	0.11	0.11	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.05	0.14	0.27	0.3	0.48
91E0_vo	NH4-N	19	0.4	0.48	<0.04	0.04	0.04	0.1	0.34	0.44	0.75	1.59	1.75
91E0_vm	NH4-N	27	0.55	0.9	<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.27	0.42	1.72	2.44	3.79
alle	NH4-N	423	0.43		<0.04	<0.04	<0.04	0.04	0.10	0.30	0.55	1.51	112

3.3.2.4 Orthofosfaat

De mediane concentraties orthofosfaat zijn voor alle vegetaties onder of bij de bepaalbaarheidsgrens, in het laboratorium van INBO is dat 0,03 mg PO₄-P/l (figuur 5 en tabel 2). De 75 percentielwaarde ligt voor alle vegetaties onder de 0,06 mg PO₄-P/l (en opnieuw vaak onder de bepaalbaarheidsgrens van het labo), de 90 percentiel onder 0,16 mg PO₄-P/l. Deze concentraties lijken niet per streek te verschillen.





Figuur 5 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Waarden onder 0,03 mg PO₄-P/l: onder bepaalbaarheidsgrens in het labo. Tussen haakjes onder het habitattypen: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.

De **milieukwaliteitsnorm** voor orthofosfaatconcentraties (VLAREM) bedraagt 0,437 mg PO₄-P/l. Op basis van onze waarnemingen lijkt deze norm **aan de hoge kant** (het 95e-percentiel van onze referentiedataset, alle habitats samengenomen, bedraagt slechts 0,18 mg PO₄-P/l).

Tabel 9 Samenvattende statistieken voor de concentratie orthofosfaat-fosfor in het freatische grondwater. Alle waarden in mg P/l. Waarden onder de bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<". De maximale waarden voor dotterbloemgrasland (rbbhc) en mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm) zijn uitschieters en moeten worden beschouwd als dubieus. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).

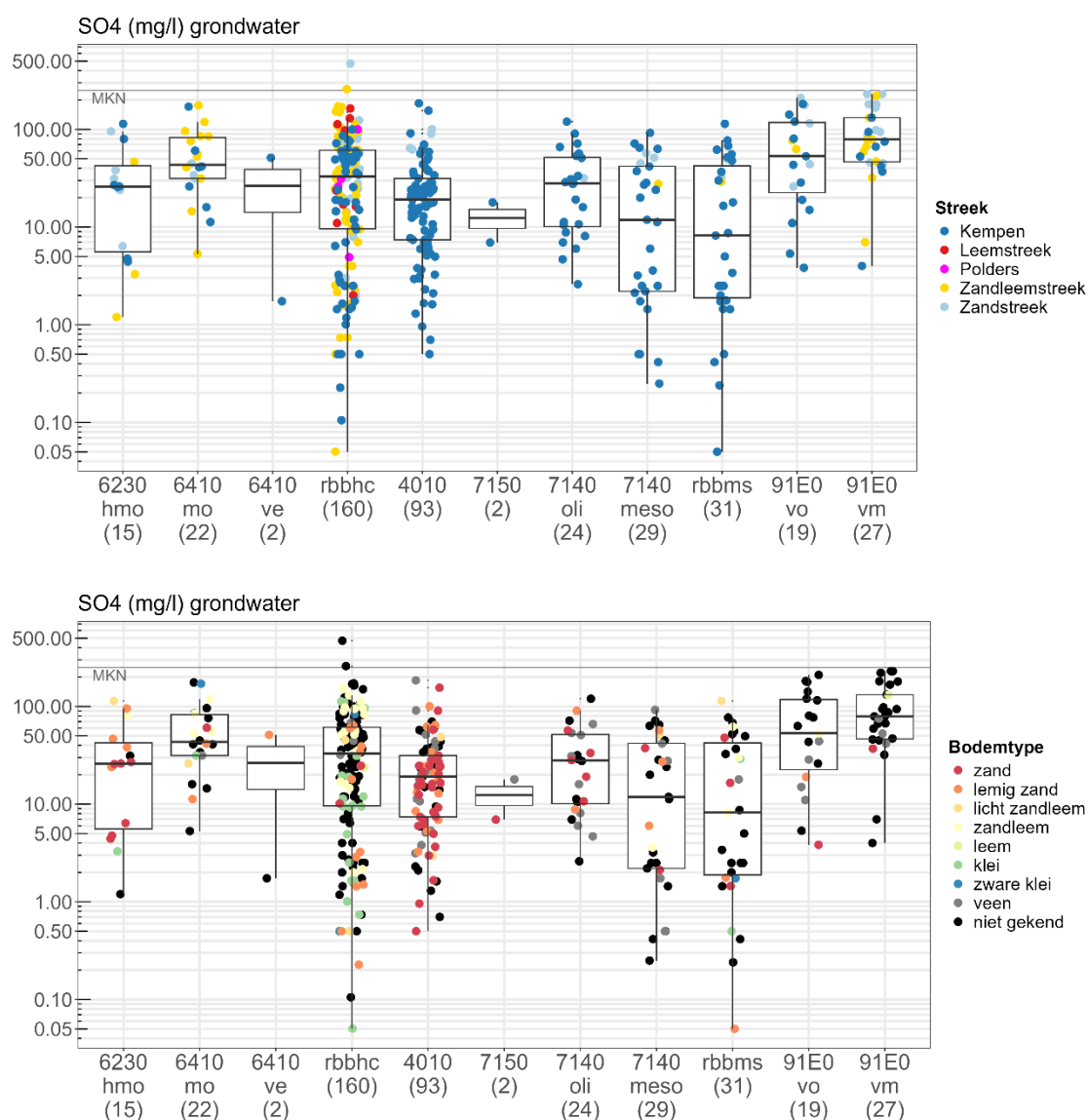
habitat	variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	max
6230_hmo	o-PO ₄ -P	15	0.03	0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.08	0.11	0.18
6410_mo	o-PO ₄ -P	19	0.04	0.07	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.1	0.19	0.28
6410_ve	o-PO ₄ -P	2	0.01	0	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
rbbhc	o-PO ₄ -P	160	0.17	1.2	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.06	0.16	0.25	15
4010	o-PO ₄ -P	93	0.03	0.04	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05	0.07	0.28
7150	o-PO ₄ -P	2	0.01	0	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
7140_oli	o-PO ₄ -P	24	0.03	0.02	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	0.05	0.07	0.1
7140_meso	o-PO ₄ -P	29	0.12	0.36	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.12	0.68	1.71
rbbms	o-PO ₄ -P	31	0.05	0.12	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.04	0.07	0.15	0.64
91E0_vo	o-PO ₄ -P	19	0.05	0.06	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05	0.15	0.16	0.24
91E0_vm	o-PO ₄ -P	27	0.63	2.84	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.04	0.05	0.13	0.84	14.8
alle	o-PO ₄ -P	421	0.13		<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05	0.10	0.18	15

3.3.2.5 Sulfaat

De mediane concentraties sulfaat variëren afhankelijk van de beschouwde vegetatie van 8 tot 79 mg SO₄/l (figuur 6 en tabel 10). Het 75e percentiel bedraagt 31 tot 132 mg SO₄/l, het 90e percentiel 59 tot 197 mg SO₄/l (abstractie makend van de typen met te weinig waarnemingen).



De concentraties aangetroffen in de broekbossen (91E0) en in mindere mate in blauwgrasland (6410_mo) en dotterbloemgrasland (rbbhc) zijn hoog te bestempelen. Ze kunnen wijzen op een toevoer van stikstof, die bij contact met organisch materiaal of pyriet in de ondergrond omgezet wordt in sulfaat.



Figuur 6 Concentratie sulfaat in het ondiepe grondwater (volgens een logaritmische schaal). Tussen haakjes onder het habitattyp: aantal waarnemingen. MKN: huidige milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM.

De **milieukwaliteitsnorm voor sulfaat** bedraagt 250 mg SO₄/l (VLAREM), wat vrij hoog lijkt in vergelijking met onze dataset. De invloed van sulfaat op de vegetatie is niet zozeer het gevolg van de toevoeging van zwavel als voedingsstof, maar gebeurt vooral onrechtstreeks door interactie met de cycli van stikstof, fosfor en koolstof. Of sulfaat een negatieve impact zal hebben op de biotopen op een bepaalde plaats, is afhankelijk van de lokale omstandigheden, waaronder de waterhuishouding, de aanwezigheid van kalk, organische stof en ijzersulfide, enz. (zie hoofdstuk 2.4).



Tabel 10 Samenvattende statistieken voor de concentratie sulfaat in het freatische grondwater. Alle waarden in mg SO₄/l. Laatste rij "alle": alle habitats samengenomen waarbij elk habitat hetzelfde gewicht krijgt (en 4010+7150 en 6410_mo+6410_ve elk als één habitat worden beschouwd).

habitat	variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	max
6230_hmo	SO ₄	15	35.2	35.1	1.2	2.66	3.75	5.57	26	42.5	89.2	101	114
6410_mo	SO ₄	22	59.8	46.9	5.3	11.4	14.6	31.5	43.3	82.5	117	168	176
6410_ve	SO ₄	2	26.5	35	1.74	4.22	6.69	14.1	26.5	38.9	46.3	48.8	51.2
rbbhc	SO ₄	160	46	54.6	0.05	0.74	1.67	9.62	33	61.2	99.8	124	471
4010	SO ₄	93	26.6	30.3	0.5	1.64	3.01	7.4	19.1	31.4	58.7	78.1	185
7150	SO ₄	2	12.4	7.75	6.94	7.49	8.04	9.68	12.4	15.2	16.8	17.4	17.9
7140_oli	SO ₄	24	33.1	30.3	2.6	4.88	6.29	10.1	27.9	51.6	70	87.6	120
7140_meso	SO ₄	29	24.2	26.4	0.25	0.45	0.5	2.2	11.9	41.8	63.6	69	92.1
rbbms	SO ₄	31	23.7	29.2	0.05	0.33	0.5	1.89	8.2	42.3	62	72.4	114
91E0_vo	SO ₄	19	74.6	65.1	3.84	5.19	9.87	22.5	53.2	118	179	185	210
91E0_vm	SO ₄	27	95.7	66.2	4	14.5	35	46.5	79	132	197	227	230
alle	SO ₄	424	46.2		0.05	1.44	2.50	8.18	31.1	63	114	170	471

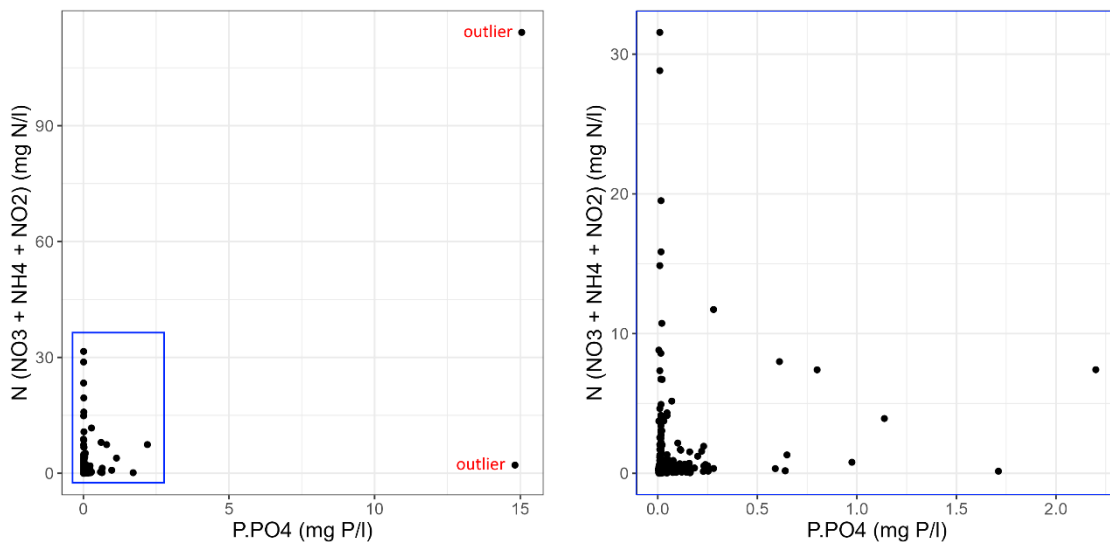
3.3.3 Deze resultaten in context

3.3.3.1 Nutriëntenlimitatie en andere interacties

Bij deze oefening is er een vrij evidente kanttekening te plaatsen, nl. dat we de ranges van de vegetaties nutriënt per nutriënt beschouwen, zonder rekening te houden met de interacties met andere variabelen en met eventuele nutriëntenlimitaties. Bijvoorbeeld: een hoge toevoer van orthofosfaat via grondwater zal niet altijd leiden tot hoge concentraties biobeschikbaar fosfor als er in het ecosysteem veel ijzer of calcium aanwezig is en fosfor wordt gebonden. Of: als de concentraties nitraat verhoogd zijn, maar de beschikbaarheid van fosfor extreem laag blijft, zal de groei van de meeste snelgroeiende planten gelimiteerd worden door fosfor en zullen kleinere soorten met een metabolisme aangepast aan lage nutriëntenconcentraties toch nog kunnen gedijen.

De grafieken hieronder geven de relatie tussen concentraties stikstof (onder de vorm van nitraat, ammonium en nitriet) en orthofosfaat.





Figuur 7 Relatie tussen de concentratie stikstof (in nitraat + ammonium + nitriet) en de concentraties orthofosfaat-fosfor in het grondwater van de referentielocaties. Links: volledige dataset, rechts: zonder uitschieters en ingezoomd (zie 3.3.1.1.3).

Uit figuur 7 (rechts, excl. uitschieters) blijkt dat de meeste locaties met verhoogde concentraties stikstof heel lage concentraties fosfor vertonen (er zijn veel punten langs de verticale as van de grafiek). Op die locaties zou nutriëntenlimitatie een rol kunnen spelen in het voorkomen van de vegetatie. Op de volledige dataset van ongeveer 400 meetpunten zijn er minder dan 10 locaties waar zowel hoge concentraties orthofosfaat als hoge concentraties stikstof (in de vorm van nitraat, nitriet en/of ammonium) worden aangetroffen.

De interactie tussen nutriënten in grondwater/bodem en bij welke verhoudingen van verschillende nutriënten er welke effecten optreden is nog onvoldoende gekend (behalve dan dat het met zekerheid geweten is dat die belangrijk zijn). Om deze relaties te ontrafelen zijn omvangrijke datasets nodig. Er wordt in dit rapport dan ook uitsluitend gekeken naar de individuele verschijningsvormen. Het is hierbij mogelijk dat de afgeleide normen niet op alle plaatsen en onder alle omstandigheden van toepassing zijn. Dit kan in de mate van het mogelijke opgevangen worden door een kritische vergelijking met cijfermateriaal uit de literatuur, voor zover beschikbaar, en door rekening te houden met de lokale omstandigheden bij de interpretatie van concrete dossiers.

3.3.3.2 Grondwater is slechts één stuk van het puzzel

De toevoer van nutriënten via grondwater is slechts één van de mogelijke aanvoerwegen van nutriënten in een systeem. Voor een organisme op een bepaalde locatie is de optelsom van alle bronnen van nutriënten beslissend: hoeveel nutriënten komen er nog via atmosferische depositie, via overstroming met nutriëntenrijk water of sediment, mineralisatie van organisch materiaal en zo verder... Normen voor concentraties in het grondwater alleen volstaan dus nog niet om te garanderen dat de beschermde vegetaties behouden blijven.

Bij het vastleggen van normen voor concentraties in het grondwater speelt ook het ruimtelijke aspect: de ranges die we in onze dataset waarnemen, gelden voor concentraties ter hoogte van de standplaats zelf van de habitats, niet voor het volledige grondwaterpakket. Tussen een bron van nutriënten in een infiltratiegebied en een habitatvlak in een kwelzone kunnen de nutriënten nog in meer of mindere mate worden gedegradeerd/gefixeerd. Het blijft echter nog



een heel moeilijke oefening om te bepalen hoe nutriëntenconcentraties afnemen tussen infiltratiezone en de zone waar het water terug aan de oppervlakte komt (zie ook hoofdstuk 4) en dus om te berekenen wat de maximale concentraties ter hoogte van de bron zijn.

3.3.3.3 Is er sprake van 'shifting baselines'?

Deze dataset is het resultaat van een bemonstering van Vlaamse locaties in de laatste 20 jaren.

Ook al zijn de meeste referentielocaties binnen natuurgebied gelegen, in Vlaanderen biedt dit weinig garantie tegen externe drukken op het milieu. Uit de boxplots hierboven blijkt vrij duidelijk dat sommige referentielocaties onder invloed staan van menselijke activiteiten: een deel van de punten vertoont concentraties die ver boven de (veronderstelde) natuurlijke ranges oplopen. Maar ook van de andere referentielocaties in de dataset kunnen we niet met zekerheid stellen dat ze een representatief beeld geven van een natuurlijke situatie.

Alle weerhouden vegetatieopnamen zijn voldoende ontwikkeld om aan de definitie te voldoen van de beschouwde habitats/regionaal belangrijke biotopen: de belangrijkste kensoorten en kenmerken van de types zijn er effectief aanwezig. Onze referentiedataset bevat echter een vrij groot percentage van locaties in ongunstige staat van instandhouding (versie 3, Oosterlynck et al. 2020). Deze minder goede ontwikkelde referentielocaties zijn niet a priori uitgesloten omdat:

- ze nog steeds voldoen aan de definitie van de beschouwde habitats/regionaal belangrijke biotopen,
- een ongunstige staat van instandhouding niet altijd veroorzaakt wordt door een teveel aan nutriënten: ook het type beheer, het hydrologische regime, het ontbreken van migratie tussen populaties (waardoor soorten niet meer geraken tot abiotisch geschikte percelen), enz. kunnen een beslissende rol spelen.
- het toelaat om een bredere dataset te gebruiken en dus om over meer vegetatietypen uitspraken te doen,
- het onderscheid tussen habitats in gunstige en ongunstige referentielocaties al onderwerp is van een eerdere publicatie (Van Calster et al. 2020).

De vraag is of de huidige Vlaamse natuur nog volstaat om een dataset op te bouwen die als referentie kan dienen en waaruit normen/richtwaarden afgeleid kunnen worden.

Om rekening te houden met dit aspect hebben we het literatuuronderzoek bewust breed genoeg gehouden, om ook voorbeelden uit minder dichtbevolkte delen van Europa mee te kunnen opnemen in de analyse.

3.4 LITERATUURONDERZOEK

In 2021 hebben we een literatuuronderzoek uitgevoerd naar referentiewaarden voor nitraat, nitriet, ammonium, sulfaat en orthofosfaat in grondwater dat in contact komt met de wortelzone van vegetatietypen/plantensoorten typisch voor een Kempens landschap. De geografische scope werd beperkt tot Europa.

Bij deze oefening werden zowel ondiep grondwater meegenomen, als interstitieel water in de toplaag van de bodem (bodemvocht/poriënwater). Voor enkele vegetatietypen en andere vegetaties die vaak onder water staan, wordt ook informatie over 'oppervlaktewater' vermeld: onderzoekers namen in die omstandigheden vaak waterstalen van water dat stagneerde/afstroomde op het maaiveld. Afhankelijk van de lokale situatie en

weersomstandigheden bij de staalname, kan dit water een mix in variabele verhouding zijn van neerslagwater en grondwater, met in een beperkt aantal gevallen ook invloed van beekwater/vijverwater.

Alle eenheden werden omgezet in:

- Nitraat-stikstof: mg NO_3^- -N/l
- Nitriet-stikstof: mg NO_2^- -N/l
- Ammonium-stikstof: mg NH_4^+ -N/l
- Orthofosfaat-fosfor: mg O-PO_4^{3-} -P/l
- Sulfaat: mg SO_4^{2-} /l

Door deze omzetting kan het aantal significante cijfers die wij vermelden, van de oorspronkelijke publicaties verschillen, m.a.w. de laatste cijfers na de komma kunnen lichtjes verschillen.

De resultaten van het literatuuronderzoek worden opgesplitst in referentiewaarden voor enerzijds **concentraties** en anderzijds **toevoer** van nutriënten via het grondwater (fluxen, zie 3.4.2).

3.4.1 Concentraties

Het literatuuronderzoek leverde heel weinig referenties op met hetzelfde doel als deze studie, nl. bepalen binnen welk bereik een bepaald vegetatietype kan voorkomen. De meeste studies beschrijven de manier waarop een hydrologisch systeem werkt, of de invloed van menselijke activiteiten op een bepaald gebied. Onder deze studies zijn er een aantal 'test cases', gebaseerd op weinig locaties/herhalingen. We vermelden daarom steeds het aantal gebieden/proefvlakken/tijdstippen/metingen (afhankelijk van de informatie beschikbaar in de bron) waarop de vermelde cijfers gebaseerd zijn.

De meeste studies waarvoor grondwaterkwaliteit wordt gerapporteerd hebben betrekking op enerzijds veenvormende habitats zoals alluviale bossen (habitat 91E0) en vooral hoogveen, overgangsveen en kalkmoeras (habitats 7110, 7140, 7230). En anderzijds op vegetatietypen waarvan geweten is dat een aanvoer van basenrijk grondwater belangrijk is, zoals blauwgrasland (6410).

Beschrijvingen van de aanwezige vegetatietypen lopen sterk uiteen en kunnen vaak niet eenduidig gekoppeld worden aan één habitatsubtype of fytoecologische eenheid. Ofwel zijn de beschikbare beschrijvingen te summier, oftewel werden de gegevens voor meerdere vegetatietypen als één geheel gerapporteerd. We vermelden steeds de oorspronkelijke beschrijving van de vegetatie zoals door de auteur zelf gemaakt werd, waar mogelijk geven we ook een louter indicatieve vertaling naar het meest vergelijkbare Natura 2000 habitat. Hierbij is belangrijk om op te merken dat de namen "rich fen"/"poor fen" betrekking hebben op de mineraalrijkdom van de standplaats, m.a.w. op de graad van buffering met basische kationen en bicarbonaat, en niet op de trofie. Om de cijfers toch enigszins overzichtelijk te kunnen samenvatten, groeperen we de referenties volgens het type landschap (open - bos) en daarbinnen volgens een gradiënt van mineraalrijkdom, gaande van de mineraalarme 7110, 4010, 7140_oli naar 7140_meso en de mineraalrijkere rbbhc, 6410 en de kalkrijke 7230.

Sommige auteurs geven informatie over de 'ontwikkelingsgraad' van de vegetatie of de milieudrukken in actie, m.a.w. hoe dicht hun proefvlakken aanleunen bij een ongestoorde



referentiesituatie. Waar mogelijk nemen we deze informatie ook op in de samenvattende tabellen met de resultaten van het literatuuronderzoek.

3.4.1.1 Nitraat

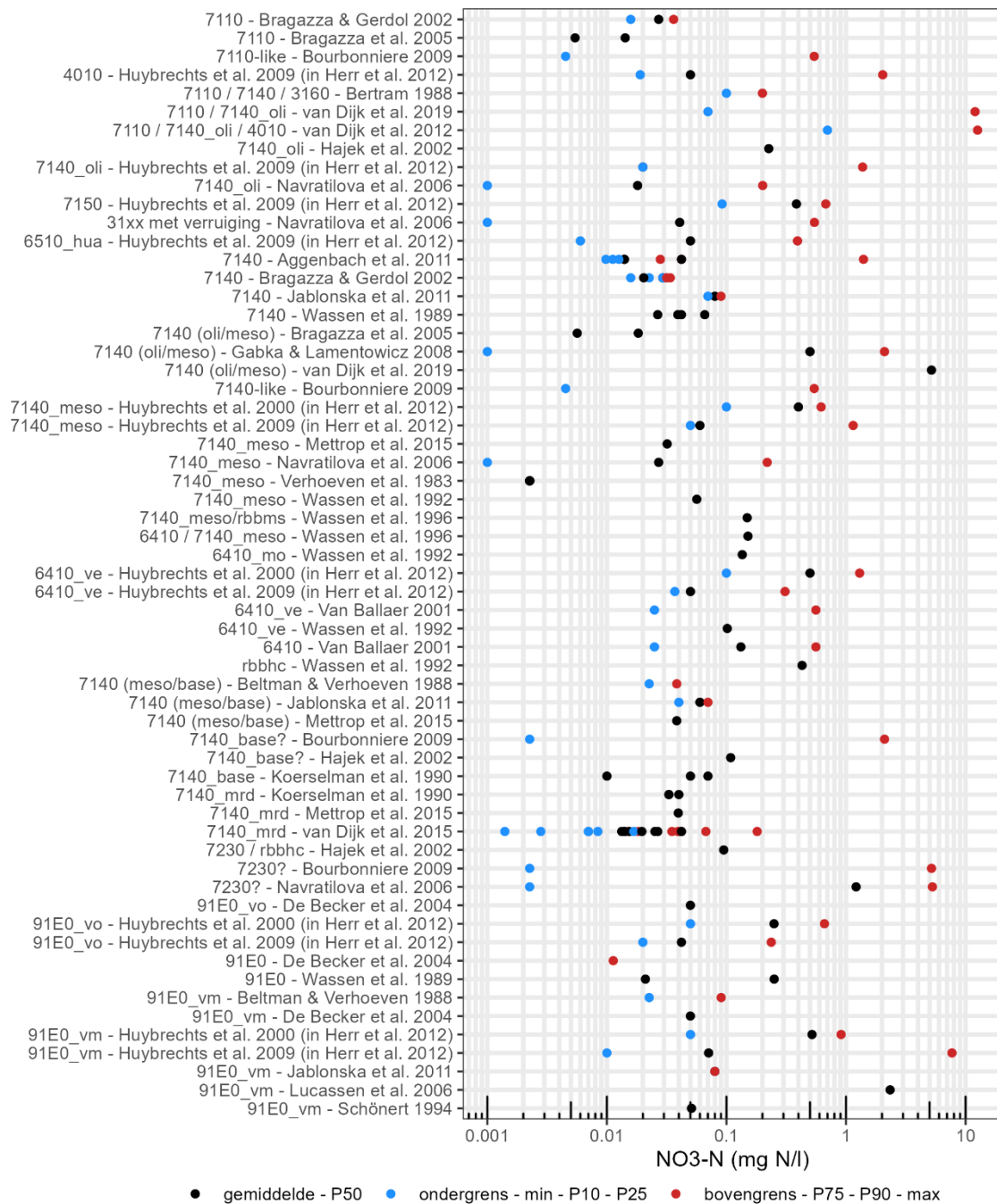
Figuur 8 geeft een overzicht van de concentraties nitraat-stikstof gevonden in de literatuur (voor meer details: zie tabel 11 en tabel 12).

In onze selectie van artikels zijn de concentraties **nitraat in open veengebieden** opvallend laag (tabel 11 - Natura 2000 habitats van de reeks 7xxx): als er gemiddelden of medianen vermeld worden, zijn ze in de overgrote meerderheid van de gevallen kleiner dan 0,06 mg NO₃⁻-N/l, wat extreem laag is als we rekening houden met het feite dat veel bemonsterde gebieden beschreven worden door de auteurs als gedegradeerd. De hoogste medianen/gemiddelden lopen op tot 0,25-0,5 mg NO₃⁻-N/l. Het is interessant om vast te stellen dat deze hogere medianen/gemiddelden niet enkel in Vlaanderen of Nederland voorkomen, maar bijv. ook in Polen worden gemeten, in een studie die gericht op zoek ging naar trilvenen in een natuurlijke omgeving (Gabka & Lamentowicz 2008). Er zijn tenslotte ook een paar uitschieters met medianen/gemiddelden rond 5 mg NO₃⁻-N/l (van Dijk et al. 2019, een gebied in Nederland met nitraatconcentraties die heel sterk variëren in de ruimte en in de diepte).

De hoogste concentraties nitraat in open veengebieden uit ons assortiment zijn meer variabel dan de medianen/gemiddelden: in sommige studies heel laag (rond 0,05 mg NO₃⁻-N/l), in de meerderheid van de studies tussen 0,5 en 4 mg NO₃⁻-N/l. De maximale waarde is 12,6 mg NO₃⁻-N/l (opnieuw van Dijk et al. 2019).

Voor de **alluviale bossen** en broekbossen hebben we minder gegevens gevonden en zijn ze vooral afkomstig uit Vlaanderen en Nederland (tabel 12). De nitraatconcentraties lijken wat hoger te zijn dan in de open veengebieden, wat ook verbonden kan zijn met het feit dat de meeste studies betrekking hebben op onze dichtbevolkte contreien. De medianen/gemiddelden kunnen laag zijn (bijv. 0,08 mg NO₃⁻-N/l in een mesotroof alluviaal bos in Polen, Jablonska et al. 2011) maar bedragen in andere gebieden 0,5 tot meer dan 2 mg NO₃⁻-N/l. De hoogste waarden bereiken in veel gevallen 0,6 tot 2 mg NO₃⁻-N/l.

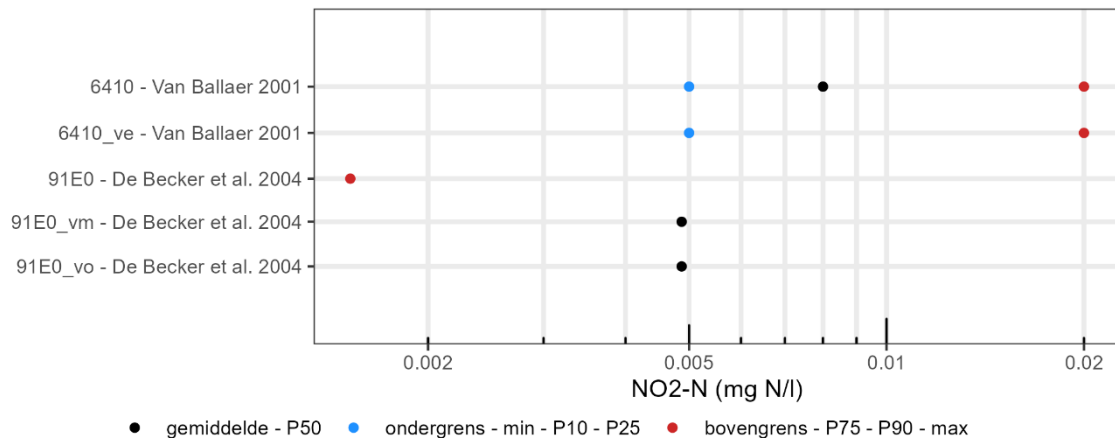




Figuur 8 Concentraties nitraat-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 11). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.

3.4.1.2 Nitriet

Er zijn heel weinig metingen van de nitrietconcentraties in de literatuur gevonden (figuur 9 en tabel 14). Het is niet onverwacht gezien de relatieve instabiliteit van deze verbinding. Alle gemeten concentraties zijn extreem laag: **nitrieten zijn zo goed als afwezig**.



Figuur 9 Concentraties nitriet-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 14). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.

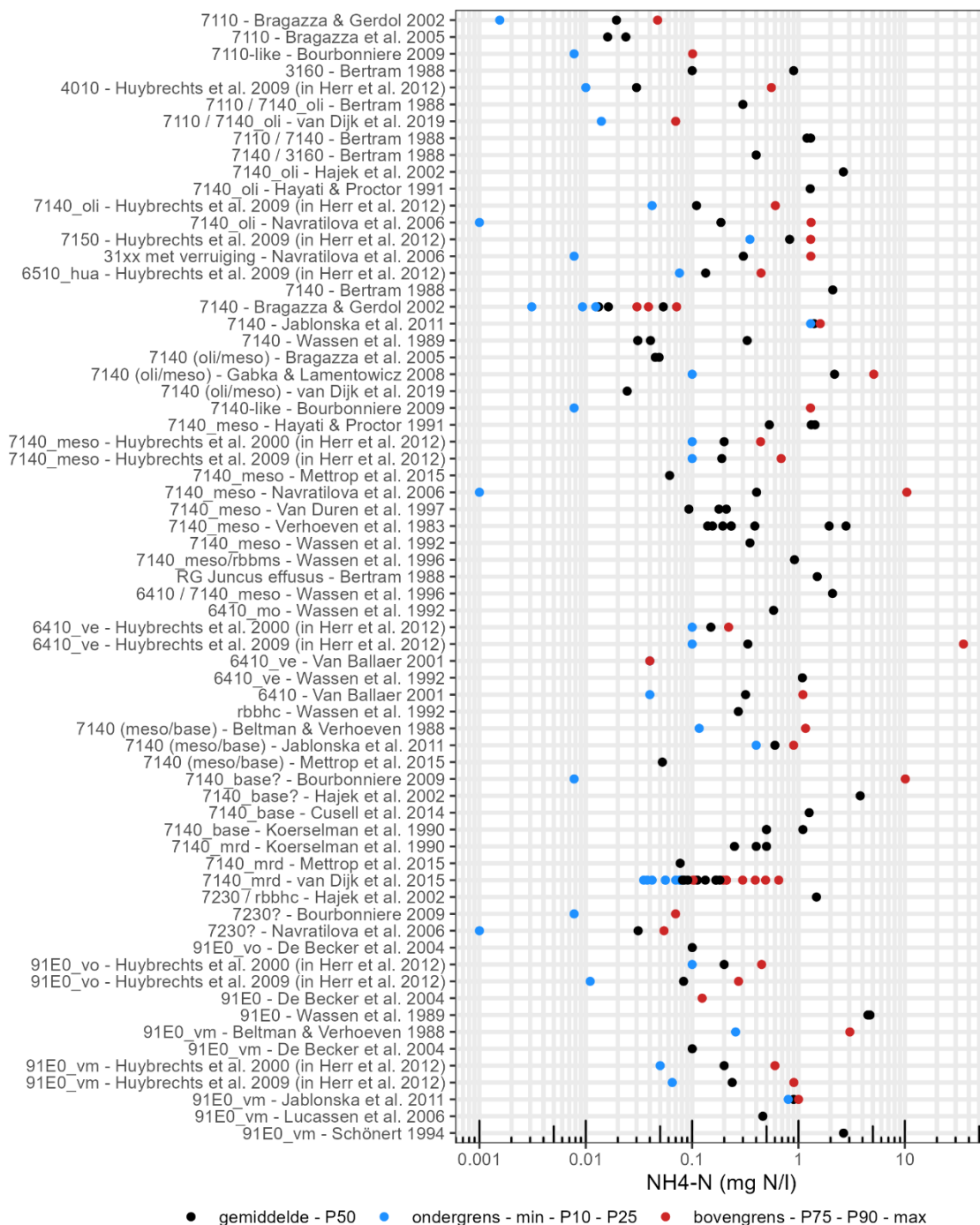
3.4.1.3 Ammonium

Figuur 10 geeft een overzicht van de concentraties ammonium-stikstof gevonden in de literatuur (voor meer details: zie tabel 15).

Van de beschikbare mediane/gemiddelde concentraties **ammonium in open veengebieden** en andere grondwaterafhankelijke graslanden (tabel 15), blijkt een derde van de studies concentraties van minder dan 0,1 mg NH₄⁺-N/l te vermelden en een andere derde waarden van 0,1 tot 0,5 mg NH₄⁺-N/l. Studies met gemiddelde/mediane concentraties tussen 1 en 4 mg NH₄⁺-N/l zijn in de minderheid: ze vertegenwoordigen ongeveer 1/10 van gevonden cijfers. De gebieden met verhoogde ammoniumconcentraties zijn opnieuw niet beperkt tot Vlaanderen/Nederland, maar omvatten sites in Polen, Duitsland, Engeland, Slowakije en Tsjechië (Bertram 1988, Gabka & Lamentowicz 2008, Hajek et al. 2002, Hayati & Proctor 1991, Jablonska et al. 2011).

De hoogste maximale concentraties ammonium blijven in de meeste studies onder de 0,5 mg NH₄⁺-N/l, maar de hoogste waarden lopen op tot 5 - 10 mg NH₄⁺-N/l (Gabka & Lamentowicz 2008, Navratilova et al. 2006).

Het aantal metingen voor de **concentraties ammonium in grondwaterafhankelijke bossen** is beperkt (tabel 16). De medianen/gemiddelden bedragen tot 0,9 mg NH₄⁺-N/l met uitschieters tot 4 mg NH₄⁺-N/l. De gerapporteerde hoogste waarden zijn heel variabel, gaande van concentraties rond 0,1 mg NH₄⁺-N/l tot meer dan 4 mg NH₄⁺-N/l.



Figuur 10 Concentraties ammonium-stikstof (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur, met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie tabel 15). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.

3.4.1.4 Orthofosfaat

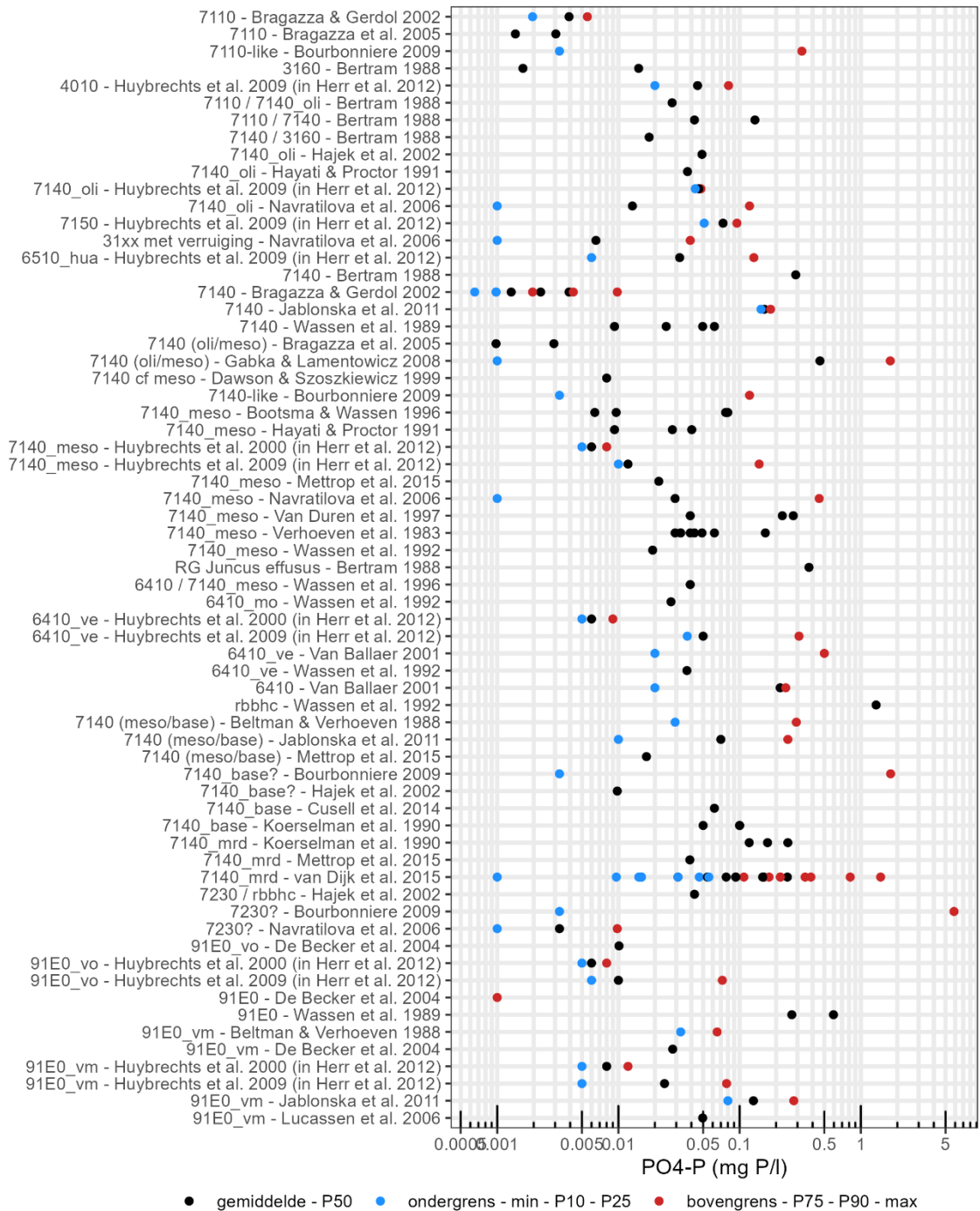
Figuur 11 geeft een overzicht van de concentraties orthofosfaat-fosfor gevonden in de literatuur (voor meer details: zie tabel 17).

De helft van de mediane/gemiddelde **concentraties orthofosfaat** gerapporteerd in open **veengebieden** en andere grondwaterafhankelijke graslanden is lager dan ca 0,04 mg o-PO₄-P/l (tabel 17) en de meeste cijfers zijn lager dan ca 0,1 mg o-PO₄-P/l. Er zijn echter uitschieters met mediane/gemiddelde concentraties tot 1,3 mg o-PO₄-P/l (Wassen et al. 1992 in dotterbloemgrasland).

De hoogste concentraties zijn variabel: in sommige studies is er zo goed als geen orthofosfaat in het grondwater gedetecteerd en in de meeste studies blijven de concentraties onder de 0,35 mg o-PO₄-P/l. Er zijn echter uitschieters met concentraties boven de 1,4-1,7 mg PO₄-P/l (Gabka & Lamentowicz 2008, Van Dijk et al. 2015).

Ook in de **alluviale bossen** (tabel 18) zijn er gebieden waar er vrijwel geen orthofosfaat in het grondwater aanwezig is. De hoogste gerapporteerde waarden bereiken 0,59 mg o-PO₄-P/l.





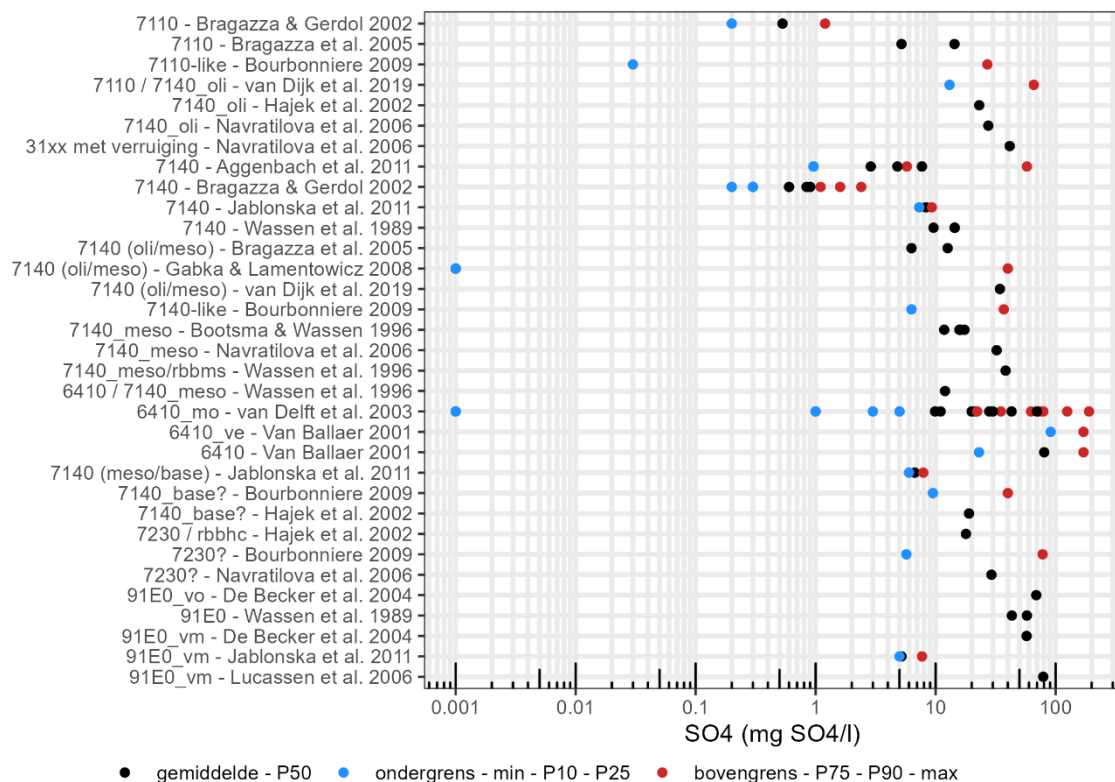
Figuur 11 Concentraties orthofosfaat-fosfor (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie Tabel 17). Opgelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.

3.4.1.5 Sulfaat

Figuur 12 geeft een overzicht van de concentraties sulfaat gevonden in de literatuur (voor meer details: zie tabel 19).

De meeste gerapporteerde mediane/gemiddelde **concentraties voor sulfaat** in grondwater van open **veengebieden** en andere graslanden zijn laag (tabel 19): onder de ca 27 mg SO₄/l. De hoogste gemeten waarden blijven onder de 80 mg/l met enkele uitschieters tot meer dan 170 mg/l: voorbeelden met sterk verhoogde concentraties sulfaat komen uit Vlaanderen. Sulfaatconcentraties gemeten in Polen, Zweden en Italië zijn aanzienlijk lager dan die gemeten in Vlaanderen en Nederland waar ze tot waarden boven de 70 mg/l kunnen oplopen.

In de **bossfeer** hebben we slechts enkele studies gevonden (tabel 20): ook hier blijven alle gerapporteerde concentraties sulfaat onder de 80 mg SO₄/l. Concentraties sulfaat in de Poolse alluviale bossen zijn opmerkelijk laag: minder dan 8 mg/l (Jablonska et al. 2011).



Figuur 12 Concentraties sulfaat (volgens een logaritmische schaal) gevonden in de literatuur met een indicatieve melding van het habitatsubtype. Een rij = data voor een bepaald type vegetatie/groep vermeld in een bepaalde bron; er kunnen meerdere rijen zijn als de bron meerdere vegetatietypen/groepen binnen eenzelfde habitatsubtype beschouwt. Voor meer info (exacte betekenis kleurcode, aantal metingen, land, eventuele milieudrukken: zie Tabel 19. Opelet: niet alle studies zijn gebaseerd op een even groot aantal metingen/gebieden.

Tabel 11 Concentraties nitraat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110	Sphagnum-dominated peatlands: Hummocks	Poriënwater	< 50 cm	NO ₃ -N	min: 0.0158	gem: 0.0271	max: 0.0361		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 17 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.0142			mg N/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wöfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00542			mg N/l	1 gebied, 8 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Variabel (review)		NO ₃ -N	ondergrens van range: 0.00452		bovengrens van range: 0.542		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
4010	Ericetum tetralicis (M16)	Oppervlakte water		NO ₃ -N			nauwelijks detecteerbaar		mg N/l	3 gebieden, 12 metingen	Zuid-West Engeland (Bovey Heath)	Hayati & Proctor 1991
4010	Noordatlantische vochtige heide	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.019	P50: 0.05	P90: 2.03		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7110 / 7140 / 3160	7110 / 7140 / 3160	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NO ₃ -N	gemiddelde range: 0.1		gemiddelde range: 0.2		mg N/l	13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140_oli	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	NO ₃ -N	min gem.: 0.07		max gem: 12		mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110 / 7140_oli / 4010	Hellingveen onder invloed van landbouw en N depositie	Poriënwater	Toplaag	NO ₃ -N	min gem.: 0.7		max gem: 12.6		mg N/l	1 gebied, 5 proefvlakken	Nederland	van Dijk et al. 2012
7140 oli	Poor fens (Carici echinatae-Sphagnetum)	Oppervlakte water		NO ₃ -N		gem: 0.226		s.d.: 0.167	mg N/l	17 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7140 oli	Voedselarme en zure overgangsvennen incl. venige heide	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.02	P50: 0.02	P90: 1.38		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140 oli	Poor fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NO ₃ -N	min: 0	gem: 0.0181	max: 0.201	s.d.: 0.16	mg N/l	10 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7150	Slenken in veengronden (Rhynchosporion)	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.092	P50: 0.385	P90: 0.677		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
31xx met verzuiging	Flooded fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NO ₃ -N	min: 0	gem: 0.0407	max: 0.544	s.d.: 0.226	mg N/l	5 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
6510 hua	Weidekerveltorkuid	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.006	P50: 0.05	P90: 0.393		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140	7140 Overgangs- en trilveen, niet gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	NO ₃ -N	P25: 0.0112	P50: 0.014	P75: 1.4		mg N/l	5 gebieden	Polen	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, sterk gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	NO ₃ -N	P25: 0.0098	P50: 0.014	P75: 0.028		mg N/l	13 gebieden	Vlaanderen, Nederland	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, zwak gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	NO ₃ -N	P25: 0.0126	P50: 0.042	P75: 0.042		mg N/l	4 gebieden	Vlaanderen, Polen	Aggenbach et al. 2011



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Hollows	Poriënwater	< 50 cm	NO ₃ -N	min: 0.0226	gem: 0.0294	max: 0.0339		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 2 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland lawns	Poriënwater	< 50 cm	NO ₃ -N	min: 0.0158	gem: 0.0203	max: 0.0316		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 10 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland margins	Poriënwater	< 50 cm	NO ₃ -N	min: 0.0294	gem: 0.0294	max: 0.0316		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 4 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-small sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	min: 0.07	P50: 0.08	max: 0.09		mg N/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140	Eutrophic Thelypteris reedland	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.0658			mg N/l	1 gebied, 10 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Mesotrophic Thelypteris-reeds with calciphilous species	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.0392			mg N/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.0266			mg N/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.042			mg N/l	1 gebied, 14 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.0183			mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wöfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00565			mg N/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 (oli/meso)	Sphagnum fallax dominated peatlands, surrounded by pine forests and not disturbed by humans	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NO ₃ -N	min: 0	gem: 0.5	max: 2.1		mg N/l	26 gebieden, 65 metingen	Polen (Wielkopolska region)	Gabka & Lamentowicz 2008
7140 (oli/meso)	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	NO ₃ -N		gem: 5.19			mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140	Poor fen	Variabel (review)		NO ₃ -N	ondergrens van range: 0.00452		bovengrens van range: 0.542		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 meso	Overgangs- en trilveen, mesotroof subtype	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.1	P50: 0.4	P90: 0.62		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
7140 meso	Kleine zeggenvegetatie	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.05	P50: 0.06	P90: 1.15		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140 meso	Rich fens with Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske dominating the moss layer (Caricion nigrae–Carex nigra-Agrostis canina type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NO ₃ -N		gem: 0.0319		s.d.: 0.0219	mg N/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 meso	Medium rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NO ₃ -N	min: 0	gem: 0.0271	max: 0.219	s.d.: 0.145	mg N/l	12 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebieden	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	NO ₃ -N		gem: 0.00226			mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex lasiocarpa litter fen	Grondwater	50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.0565		s.d.: 0.108	mg N/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 26 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
7140 meso/rbbms	Caricetum nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	NO ₃ -N		gem: 0.149		s.d.: 0.185	mg N/l	1 gebied, 3 proefvlakken	Nederland (Gorecht river plain)	Wassen et al. 1996
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₃ -N	min: 0.025	gem: 0.132	max: 0.56	s.d.: 0.24	mg N/l	5 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
6410 / 7140 meso	Junco Molinion/Caricion curto nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	NO ₃ -N		gem: 0.151		s.d.: 0.102	mg N/l	1 gebied, 11 proefvlakken	Nederland (Vecht river plain)	Wassen et al. 1996
6410 mo	Succisa pratensis (verzuurd)	Grondwater	50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.136		s.d.: 0.166	mg N/l	1 gebieden, 8 tijdstippen, 11 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
6410 ve	Grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu- Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.1	P50: 0.5	P90: 1.3		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
6410 ve	Grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu- Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.037	P50: 0.05	P90: 0.309		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₃ -N	min: 0.025		max: 0.56		mg N/l	2 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410	Juncus acutifloris litter fen	Grondwater	50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.102		s.d.: 0.0791	mg N/l	1 gebieden, 8 tijdstippen, 8 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
rbbhc	Carex disticha fen	Grondwater	50 cm	NO ₃ -N		gem: 0.429		s.d.: 0.658	mg N/l	1 gebieden, 8 tijdstippen, 5 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
7140 (meso/ base)	Fens	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₃ -N	min gem.: 0.0226		max gem: 0.0384		mg N/l	1 gebieden, min 5? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NO ₃ -N		gem: 0.05		s.d.: 0.15	mg N/l	1 gebieden, om de 14 d/maandelijks, 235 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	NO ₃ -N		gem: 0.01		s.d.: 0.05	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 253 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NO ₃ -N		gem: 0.033		s.d.: 0.03	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 190 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NO ₃ -N		gem: 0.04		s.d.: 0.1	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 205 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	NO ₃ -N		gem: 0.033		s.d.: 0.1	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 184 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 mrd	Poor fens with Sphagnum palustre L. and Sphagnum fallax (H.) Klinggr. dominating the moss layer (Caricion nigrae-Pallavicinio-Sphagnetum typicum type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NO ₃ -N		gem: 0.0396		s.d.: 0.0263	mg N/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	0 - 5 cm	NO ₃ -N	min: 0.007, P25: 0.0084	P50: 0.014, gem: 0.0154	max: 0.0406, P75: 0.0147		mg N/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	5 - 10 cm	NO ₃ -N	min: 0.0014, P25: 0.007	P50: 0.0133, gem: 0.014	max: 0.0392, P75: 0.0182		mg N/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	10 cm	NO ₃ -N	min: 0.014, P25: 0.0168	P50: 0.0266, gem: 0.042	max: 0.181, P75: 0.042		mg N/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	25 cm	NO ₃ -N	min: 0.0028, P25: 0.014	P50: 0.0196, gem: 0.0252	max: 0.0672, P75: 0.035		mg N/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7230 / rbbhc	Peat forming rich fens (Valeriano-Caricetum flavae) and fens with meadow species (Cirsietum rivularis) pro parte	Oppervlakte water		NO ₃ -N		gem: 0.0949		s.d.: 0.169	mg N/l	21 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7230	Extreme rich fen	Variabel (review)		NO ₃ -N	ondergrens van range: 0.00226		bovengrens van range: 5.2		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7230	Rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NO ₃ -N	min: 0.00226	gem: 1.22	max: 5.29	s.d.: 0.291	mg N/l	3 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006

Tabel 12 Concentraties nitraat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0 vo	Berkenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		P50: 0.0499			mg N/l	8 gebieden, 22 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vo	Oligotroof elzenberkenbroek	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.05	P50: 0.25	P90: 0.66		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
91E0 vo	Oligotroof elzenberkenbroek	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.02	P50: 0.042	P90: 0.237		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
91E0	Beekbegeleidende bossen (91E0)	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N			bovengrens : 0.0113		mg N/l	30 gebieden	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.251			mg N/l	1 gebieden, 6 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		gem: 0.021			mg N/l	1 gebieden, 2 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0 vm	Alder woods (Carici elongatae Alnetum)	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₃ -N	min gem.: 0.0226		max gem: 0.0904		mg N/l	1 gebieden, min 4? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988
91E0 vm	Mesotroof Elzenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N		P50: 0.0499			mg N/l	10 gebieden, 46 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Mesotroof elzenbroek	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.05	P50: 0.52	P90: 0.91		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0 vm	Mesotroof elzenbroek	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	P10: 0.01	P50: 0.071	P90: 7.7		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
91E0 vm	Inundated alder woodlands	Grondwater	Ondiep	NO ₃ -N	min: 0.08	P50: 0.08	max: 0.08		mg N/l	1 gebieden, 3 proefvlakken	Polen	Jablonska et al. 2011
91E0 vm	Seepage fed A. glutinosa carr dominated by Caltha palustris, Equisetum fluviatile, Carex pseudocyperus, Ranunculus lingua and Carex acuta.	Poriënwater	5 - 15 cm	NO ₃ -N		gem: 2.34		SE: 1.13	mg N/l	17 gebieden, 107 proefvlakken	Nederland (ZO, langs de Maas)	Lucassen et al. 2006
91E0 vm	Carici elongatae-Alnetum typicum	Grondwater	NA	NO ₃ -N		gem: 0.051			mg N/l		Duitsland	Schönert 1994

Tabel 13 Concentraties stikstof (anders gemeten dan nitraat, nitriet, ammonium) in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek. Habitat louter indicatief. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110 / 7140 / 7230	Bogs to extremely rich fens, pristine sites	Grondwater	20 cm	N totaal	min: 0.38	gem: 2.18	max: 6.23	s.d.: 1.1	mg N/l	29 (tot 36) tijdstippen	Finland (East, Kainuu Province)	Tahvanainen 2004
7140	7140 Overgangs- en trilveen, niet gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	(NO ₃ + NH ₄)-N	P25: 0.154	P50: 1.26	P75: 4.2		mg N/l	5 gebieden	Polen	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, sterk gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	(NO ₃ + NH ₄)-N	P25: 0.042	P50: 0.154	P75: 0.56		mg N/l	13 gebieden	Vlaanderen, Nederland	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, zwak gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	(NO ₃ + NH ₄)-N	P25: 0.14	P50: 0.56	P75: 0.84		mg N/l	4 gebieden	Vlaanderen, Polen	Aggenbach et al. 2011



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex curta fen	Grondwater	Ondiep	(NO ₃ + NH ₄)-N		P50: 0.78			mg N/l	2 gebieden, 6 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Carex echinata fen	Grondwater	Ondiep	(NO ₃ + NH ₄)-N		P50: 0.49			mg N/l	2 gebieden, 16 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Carex lasiocarpa fen	Grondwater	Ondiep	(NO ₃ + NH ₄)-N		P50: 0.65			mg N/l	1 gebied, 25 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Polytrichum poor fen	Grondwater	Ondiep	(NO ₃ + NH ₄)-N		P50: 0.37			mg N/l	1 gebied, 8 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
91E0 vm	Carici elongatae-Alnetum (optimum)			(NO ₃ + NH ₄)-N	min: 0.51		max: 0.75		mg N/l		Duitsland	Wey 1988

Tabel 14 Concentraties nitriet in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₂ -N	min: 0.005	gem: 0.008	max: 0.02	s.d.: 0.0067	mg N/l	5 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410 ve	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NO ₂ -N	min: 0.005	max: 0.02		min: 0.005	mg N/l	2 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
91E0 vo	Berkenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NO ₂ -N		P50: 0.00487			mg N/l	8 gebieden, 22 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0	Beekbegeleidende bossen (91E0)	Grondwater	Ondiep	NO ₂ -N			bovengrens : 0.00152		mg N/l	30 gebieden	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Mesotroof Elzenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NO ₂ -N		P50: 0.00487			mg N/l	10 gebieden, 46 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*



Tabel 15 Concentraties ammonium in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110	Sphagnum-dominated peatlands: Hummocks	Poriënwater	< 50 cm	NH ₄ -N	min: 0.00155	gem: 0.0194	max: 0.0474		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 17 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.016			mg N/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wöfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0238			mg N/l	1 gebied, 8 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Variabel (review)	NA	NH ₄ -N	ondergrens van range: 0.00776		bovengrens van range: 0.101		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
3160	Reine Sphagnum cuspidatum-Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.1		s.d.: 0.3	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 32 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
3160	Scorpidio-Utricularietum minoris s.l.	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.9		s.d.: 1.1	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 24 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
4010	Noordatlantische vochtige heide	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.01	P50: 0.03	P90: 0.556		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110 / 7140	Eriophoro angustifolii-Sphagnetum fallacis eriophoretosum vaginati	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 1.3		s.d.: 2	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 64 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140	Eriophoro angustifolii-Sphagnetum fallacis typicum	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 1.2		s.d.: 1.7	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140_oli	Erico-Sphagnetum papillosum und Narthecio-Sphagnetum magellanici	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.3		s.d.: 0.7	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140_oli	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N	min gem.: 0.014		max gem: 0.07		mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140 / 3160	Eriophorum angustifolium-Sphagnum cuspidatum- -Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.4		s.d.: 0.8	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7140_oli	Poor fens (Carici echinatae-Sphagnetum)	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 2.64		s.d.: 1.09	mg N/l	17 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7140_oli	Valley bog (M21) with S. papillosum, E. tetralix, N. ossifragum	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 1.29		s.d.: 0.182	mg N/l	1 gebieden, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Bovey Heath)	Hayati & Proctor 1991

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140_oli	Voedselarme en zure overgangsvennen incl. venige heide	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.042	P50: 0.11	P90: 0.606		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140_oli	Poor fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NH ₄ -N	min: 0	gem: 0.186	max: 1.31	s.d.: 0.132	mg N/l	10 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7150	Slenken in veengronden (Rhynchosporion)	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.349	P50: 0.825	P90: 1.3		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
31xx met ver-ruiging	Flooded fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NH ₄ -N	min: 0.00776	gem: 0.303	max: 1.3	s.d.: 0.194	mg N/l	5 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
6510 hua	Weidekerveltorkuid	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.076	P50: 0.134	P90: 0.444		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140	Sphagnum fimbriatum-Gesellschaft (indicator voor hoge Nh4 en PO4)	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 2.1		s.d.: 2	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijke metingen tussen april en nov 1982, 40 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Hollows	Poriënwater	< 50 cm	NH ₄ -N	min: 0.00932	gem: 0.0163	max: 0.0303		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 2 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland lawns	Poriënwater	< 50 cm	NH ₄ -N	min: 0.00311	gem: 0.0132	max: 0.0388		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 10 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland margins	Poriënwater	< 50 cm	NH ₄ -N	min: 0.0124	gem: 0.0536	max: 0.0714		mg N/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 4 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140	Sphagnum-small sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	min: 1.3	P50: 1.4	max: 1.6		mg N/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140	Eutrophic Thelypteris reedland	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 0.329			mg N/l	1 gebied, 10 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Mesotrophic Thelypteris-reeds with calciphilous species	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 0.0308			mg N/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 0.0308			mg N/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 0.0406			mg N/l	1 gebied, 14 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140 (oli/ meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.045			mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wölfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/ meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0489			mg N/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/ meso)	Sphagnum fallax dominated peatlands, surrounded by pine forests and not disturbed by humans	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NH ₄ -N	min: 0.1	gem: 2.18	max: 5.1		mg N/l	26 gebieden, 65 metingen	Polen (Wielkopolska region)	Gabka & Lamentowicz 2008
7140 (oli/ meso)	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0245			mg N/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140-like	Poor fen	Variabel (review)		NH ₄ -N	ondergrens van range: 0.00776		bovengrens van range: 1.3		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) acid variant of Carex echinata-Sphagnum recurvum/auriculatum mire	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 1.32		s.d.: 0.392	mg N/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Lower Cherrybrook)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) with S. recurvum, S. auriculatum	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 0.532		s.d.: 0.126	mg N/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Wistmans Wood)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) with S. recurvum, S. auriculatum	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 1.43		s.d.: 0.448	mg N/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Haytor)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Overgangs- en trilveen, mesotroof subtype	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.1	P50: 0.2	P90: 0.44		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
7140 meso	Kleine zeggenvegetatie	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.1	P50: 0.19	P90: 0.686		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140 meso	Rich fens with Calliergonella cuspidata dominating the moss layer (Caricion nigrae-Carex nigra-Agrostis canina type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0614		s.d.: 0.0347	mg N/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 meso	Medium rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	NH ₄ -N	min: 0	gem: 0.404	max: 10.4	s.d.: 0.124	mg N/l	12 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Caricion curto-nigrae	Grondwater	1,36 - 1,66 m	NH ₄ -N		gem: 0.179		s.d. (?): 0.0544	mg N/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	Caricion curto-nigrae	Grondwater	3,56 - 3,86 m	NH ₄ -N		gem: 0.21		s.d. (?): 0.0388	mg N/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	Caricion curto-nigrae	Poriënwater	toplaag	NH ₄ -N		gem: 0.0932		s.d. (?): 0.14	mg N/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NH ₄ -N		gem: 0.388		s.d.: 0.388	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NH ₄ -N		gem: 0.155		s.d.: 0.155	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	NH ₄ -N		gem: 0.194		s.d.: 0.194	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	NH ₄ -N		gem: 1.94		s.d.: 0.388	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NH ₄ -N		gem: 0.14		s.d.: 0.116	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NH ₄ -N		gem: 0.233		s.d.: 0.155	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	NH ₄ -N		gem: 0.233		s.d.: 0.155	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	NH ₄ -N		gem: 2.8		s.d.: 0.388	mg N/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex lasiocarpa litter fen	Grondwater	50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.349		s.d.: 0.39	mg N/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 26 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
7140 meso/rbbms	Caricetum nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	NH ₄ -N		gem: 0.916		s.d.: 0.559	mg N/l	1 gebied, 3 proefvlakken	Nederland (Gorecht river plain)	Wassen et al. 1996
RG Juncus effusus	Juncus effusus-Gesellschaft (indicator voor hoge PO4)	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	NH ₄ -N		gem: 1.5		s.d.: 1.7	mg N/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 24 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
6410	Cirsium dissectum (hydrocultuur)	Hydrocultuur		NH ₄ -N			NH ₄ -toxiciteit bij 3,5 mg/l enkel bij lage pH (4)		mg N/l		n.v.t.	Lucassen et al. 2002
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NH ₄ -N	min: 0.04	gem: 0.318	max: 1.1	s.d.: 0.46	mg N/l	5 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410 / 7140 meso	Junco Molinion/Caricion curto nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	NH ₄ -N		gem: 2.09		s.d.: 1.29	mg N/l	1 gebied, 29 proefvlakken	Nederland (Vecht river plain)	Wassen et al. 1996
6410 mo	Succisa pratensis (verzuurd)	Grondwater	50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.582		s.d.: 0.819	mg N/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 11 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
6410_ve	Grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu-Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.1	P50: 0.15	P90: 0.22		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
6410_ve	Grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu-Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	P10: 0.1	P50: 0.334	P90: 35.5		mg N/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
6410_ve	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	NH ₄ -N	min: 0.04		max: 0.04		mg N/l	2 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410_ve	Juncus acutifloris litter fen	Grondwater	50 cm	NH ₄ -N		gem: 1.09		s.d.: 0.945	mg N/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 8 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
rbbhc	Carex disticha fen	Grondwater	50 cm	NH ₄ -N		gem: 0.272		s.d.: 0.178	mg N/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 5 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
7140 (meso/base)	Fens	Grondwater	Ondiep < 2 m	NH ₄ -N	min gem.: 0.116		max gem: 1.16		mg N/l	1 gebied, min 5? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988
7140 (meso/base)	Rich fens with Hamatocaulis vernicosus (Mitt.) Hedenäs (Caricion nigrae–Carex nigra-Agrostis canina type) and rich fens with Scirpidium cossonii (Schimp.) Hedenäs (Caricion davallianae–Scirpidium-Carex diandra type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0525		s.d.: 0.0265	mg N/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 (meso/ base)	Brown moss-small and slender sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	min: 0.4	P50: 0.6	max: 0.9		mg N/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140 base	Rich fen Caricion davallianae (Scorpidium-Carex diandra type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N		gem: 1.26			mg N/l	1 gebied, 2 tijdstippen, 10 proefvlakken	Nederland	Cusell et al. 2014
7140 base?	Moderate rich fen	Variabel (review)	NA	NH ₄ -N	ondergrens van range: 0.00776		bovengrens van range: 10.1		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 base?	Rich fens with Sphagnum warnstorffii and S. teres	Oppervlakte water	NA	NH ₄ -N		gem: 3.8		s.d.: 3.49	mg N/l	6 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NH ₄ -N		gem: 0.5		s.d.: 0.6	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 312 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NH ₄ -N		gem: 1.1		s.d.: 1.1	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 353 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scirpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	NH ₄ -N		gem: 0.5		s.d.: 0.7	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 389 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	NH ₄ -N		gem: 0.4		s.d.: 0.25	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 276 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	NH ₄ -N		gem: 0.5		s.d.: 0.7	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 312 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	NH ₄ -N		gem: 0.25		s.d.: 0.2	mg N/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 298 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Poor fens with Sphagnum palustre L. and Sphagnum fallax (H.) Klinggr. dominating the moss layer (Caricion nigrae-Pallavicinio-Sphagnetum typicum type)	Poriënwater	0 - 10 cm	NH ₄ -N		gem: 0.0772		s.d.: 0.0401	mg N/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	0 - 5 cm	NH ₄ -N	min: 0.0378, P25: 0.077	P50: 0.084, gem: 0.133	max: 0.49, P75: 0.105		mg N/l	7 gebieden, 12 proefvlakken	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	10 cm	NH ₄ -N	min: 0.056, P10: 0.07, P25: 0.0805	gem: 0.167, P50: 0.168	max: 0.392, P90: 0.298, P75: 0.21	s.d.: 0.104	mg N/l	7 gebieden, 12 proefvlakken	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	25 cm	NH ₄ -N	min: 0.042, P25: 0.077	P50: 0.112, gem: 0.182	max: 0.651, P75: 0.196		mg N/l	7 gebieden, 12 proefvlakken	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	5 - 10 cm	NH ₄ -N	min: 0.035, P25: 0.056	P50: 0.0812, gem: 0.091	max: 0.21, P75: 0.102		mg N/l	7 gebieden, 12 proefvlakken	Nederland	van Dijk et al. 2015
7230 / rbbhc	Peat forming rich fens (Valeriano- Caricetum flavae) and fens with meadow species (Cirsietum rivularis) pro parte	Oppervlakte water		NH ₄ -N		gem: 1.48		s.d.: 0.854	mg N/l	21 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7230?	Extreme rich fen	Variabel (review)		NH ₄ -N	ondergrens van range: 0.00776		bovengrens van range: 0.0699		mg N/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7230?	Rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbep aald)	NH ₄ -N	min: 0	gem: 0.0311	max: 0.0544	s.d.: 0.248	mg N/l	3 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006



Tabel 16 Concentraties ammonium in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 4.7			mg N/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		gem: 4.49			mg N/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0	Beek begeleidende bossen (91E0)	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N			boven grens: 0.124		mg N/l	30 gebieden	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vo	Berkenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		P50: 0.1			mg N/l	8 gebieden, 22 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Mesotroof Elzenbroekbos	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N		P50: 0.1			mg N/l	10 gebieden, 46 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Alder woods (Carici elongatae Alnetum)	Grondwater	Ondiep (< 2 m)	NH ₄ -N	min gem.: 0.256		max gem: 3.04		mg N/l	1 gebied, min 4? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988
91E0 vm	Inundated alder woodlands	Grondwater	Ondiep	NH ₄ -N	min: 0.8	P50: 0.9	max: 1		mg N/l	1 gebied, 3 proefvlakken	Polen	Jablonska et al. 2011
91E0 vm	Seepage fed A. glutinosa carr dominated by Caltha palustris, Equisetum fluviatile, Carex pseudocyperus, Ranunculus lingua and Carex acuta.	Poriënwater		NH ₄ -N		gem: 0.462		SE: 0.07	mg N/l	17 gebieden	Nederland	Lucassen et al. 2006
91E0 vm	Carici elongatae-Alnetum typicum	Grondwater		NH ₄ -N		gem: 2.65			mg N/l		Duitsland	Schönert 1994



Tabel 17 Concentraties orthofosfaat en fosfor in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110	Sphagnum-dominated peatlands: Hummocks	Poriënwater	< 50 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.00196	gem: 0.00391	max: 0.00554		mg P/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 17 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.00304			mg P/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wöfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.00141			mg P/l	1 gebied, 8 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7110-like	Bog	Variabel (review)		o-PO ₄ -P	ondergrens van range: 0.00326		bovengrens van range: 0.326		mg P/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
3160	Reine Sphagnum cuspidatum-Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.00163		s.d.: 0.00489	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 32 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
3160	Scorpidio-Utricularietum minoris s.l.	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0147		s.d.: 0.0424	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 24 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
4010	Noordatlantische vochtige heide	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.02	P50: 0.045	P90: 0.081		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110 / 7140	Eriophoro angustifolii-Sphagnetum fallacis eriophoretosum vaginati	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.134		s.d.: 0.22	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 56 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140	Eriophoro angustifolii-Sphagnetum fallacis typicum	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0424		s.d.: 0.121	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140_oli	Erico-Sphagnetum papillosum und Narthecio-Sphagnetum magellanici	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0277		s.d.: 0.0587	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7110 / 7140_oli	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	P totaal	min gem.: 0.0186		max gem: 0.0774		mg P/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140 / 3160	Eriophorum angustifolium-Sphagnum cuspidatum- -Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0179		s.d.: 0.0359	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 48 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7140_oli	Poor fens (Carici echinatae-Sphagnetum)	Oppervlakte water		o-PO ₄ -P		gem: 0.0489		s.d.: 0.0554	mg P/l	17 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7140_oli	Valley bog (M21) with S. papillosum, E. tetralix, N. ossifragum	Oppervlakte water	NA	o-PO ₄ -P		gem: 0.0372		s.d.: 0.0217	mg P/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Bovey Heath)	Hayati & Proctor 1991



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140_oli	Voedselarme en zure overgangsvennen incl. venige heide	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.043	P50: 0.046	P90: 0.048		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7140_oli	Poor fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	P totaal	min: 0.04	gem: 0.11	max: 0.92	s.d.: 0.19	mg P/l	10 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7140_oli	Poor fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	o-PO ₄ -P	min: 0	gem: 0.013	max: 0.121	s.d.: 0.013	mg P/l	10 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7150	Slenken in veengronden (Rhynchosporion)	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.051	P50: 0.073	P90: 0.095		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
31xx met ver-ruiging	Flooded fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	P totaal	min: 0.03	gem: 0.07	max: 0.31	s.d.: 0.12	mg P/l	5 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
31xx met ver-ruiging	Flooded fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	o-PO ₄ -P	min: 0	gem: 0.00652	max: 0.0391	s.d.: 0.0196	mg P/l	5 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
6510 hua	Weidekerveltorkuid	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.006	P50: 0.032	P90: 0.131		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
7110 / 7140 / 7230	Bogs to extremely rich fens, pristine sites	Grondwater	20 cm	P	min: 0.016	gem: 0.051	max: 0.178	s.d.: 0.047	mg P/l	29 (tot 36) tijdstippen	Finland (East, Kainuu Province)	Tahvanainen 2004
7140	7140 Overgangs- en trilveen, niet gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	P opgelost	P25: 0.0619	P50: 0.186	P75: 0.527		mg P/l	5 gebieden	Polen	Aggenbach et al. 2011



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140	7140 Overgangs- en trilveen, sterk gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	P opgelost	P25: 0.031	P50: 0.0619	P75: 0.465		mg P/l	13 gebieden	Vlaanderen, Nederland	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, zwak gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	P opgelost	P25: 0.031	P50: 0.0619	P75: 0.681		mg P/l	4 gebieden	Vlaanderen, Polen	Aggenbach et al. 2011
7140	Sphagnum fimbriatum-Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.29		s.d.: 0.362	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijks metingen tussen april en nov 1982, 32 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Hollows	Poriënwater	< 50 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.000978	gem: 0.00391	max: 0.00978		mg P/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 2 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland lawns	Poriënwater	< 50 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.000978	gem: 0.00228	max: 0.00424		mg P/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 10 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland margins	Poriënwater	< 50 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.000652	gem: 0.0013	max: 0.00196		mg P/l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 4 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-small sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	min: 0.15	P50: 0.16	max: 0.18		mg P/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140	Eutrophic Thelypteris reedland	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.0619			mg P/l	1 gebied, 10 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Mesotrophic Thelypteris-reeds with calciphilous species	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.00929			mg P/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.0248			mg P/l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.0496			mg P/l	1 gebied, 14 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.00294			mg P/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wölfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.000978			mg P/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/meso)	Sphagnum fallax dominated peatlands, surrounded by pine forests and not disturbed by humans	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	o-PO ₄ -P	min: 0	gem: 0.46	max: 1.75		mg P/l	26 gebieden, 65 metingen	Polen (Wielkopolska region)	Gabka & Lamentowicz 2008
7140 (oli/meso)	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	P totaal		gem: 0.0317			mg P/l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140 cf meso	Carex-Sphagnum Mire	Oppervlakte water	NA	P totaal		P50: 0.116			mg P/l		Groot-Brittanië	Dawson & Szoszkiewicz 1999
7140 cf meso	Carex-Sphagnum Mire	Oppervlakte water	NA	o-PO ₄ -P		P50: 0.008			mg P/l		Groot-Brittanië	Dawson & Szoszkiewicz 1999
7140-like	Poor fen	Variabel (review)	NA	o-PO ₄ -P	ondergrens van range: 0.00326		bovengrens van range: 0.121		mg P/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreading	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex curta fen	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.00958			mg P/l	2 gebieden, 6 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Carex echinata fen	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.0766			mg P/l	2 gebieden, 16 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Carex lasiocarpa fen	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.0798			mg P/l	1 gebied, 25 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Polytrichum poor fen	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.00639			mg P/l	1 gebied, 8 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) acid variant of Carex echinata-Sphagnum recurvum/auriculatum mire	Oppervlakte water	NA	o-PO ₄ -P		gem: 0.0403		s.d.: 0.0248	mg P/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Lower Cherrybrook)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) with S. recurvum, S. auriculatum	Oppervlakte water	NA	o-PO ₄ -P		gem: 0.00929		s.d.: 0.00619	mg P/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Wistmans Wood)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Caricetum nigrae (M6) with S. recurvum, S. auriculatum	Oppervlakte water	NA	o-PO ₄ -P		gem: 0.0279		s.d.: 0.0155	mg P/l	1 gebied, 4 metingen	Zuid-West Engeland (Haytor)	Hayati & Proctor 1991
7140 meso	Overgangs- en trilveen, mesotroof subtype	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.005	P50: 0.006	P90: 0.008		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
7140 meso	Kleine zeggenvegetatie	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.01	P50: 0.012	P90: 0.145		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*

//

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Rich fens with <i>Calliergonella cuspidata</i> (Hedw.) Loeske dominating the moss layer (<i>Caricion nigrae</i> – <i>Carex nigra</i> - <i>Agrostis canina</i> type)	Poriënwater	0 - 10 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0215		s.d.: 0.0132	mg P/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 meso	Medium rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	P totaal	min: 0.03	gem: 0.21	max: 4.83	s.d.: 0.08	mg P/l	12 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7140 meso	Medium rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	o-PO ₄ -P	min: 0	gem: 0.0294	max: 0.453	s.d.: 0.013	mg P/l	12 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7140 meso	<i>Caricion curto-nigrae</i>	Grondwater	1,36 - 1,66 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.277		s.d. (?): 0.0489	mg P/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen, 1 proefvlakken	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	<i>Caricion curto-nigrae</i>	Grondwater	3,56 - 3,86 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.225		s.d. (?): 0.0978	mg P/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen, 1 proefvlakken	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	<i>Caricion curto-nigrae</i>	Poriënwater	toplaag	o-PO ₄ -P		gem: 0.0391		s.d. (?): 0.134	mg P/l	1 gebied, om de 14 d gedurende 2 seizoenen, 1 proefvlakken	Vlaanderen (Zwarte Beek)	Van Duren et al. 1997
7140 meso	<i>Carex rostrata</i> fen in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.062			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	<i>Carex rostrata</i> fen in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0424			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.163			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex rostrata fen in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.0391			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.0326			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0294			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Poriënwater	60 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0489			mg P/l	1 gebied	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Juncus subnodulosus stand in agricultural landscape	Grondwater	1,5 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.0326			mg P/l	1 gebieden	Nederland	Verhoeven et al. 1983
7140 meso	Carex lasiocarpa litter fen	Grondwater	50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0192		s.d.: 0.0197	mg P/l	1 gebieden, 8 tijdstippen, 26 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
RG Juncus effusus	Juncus effusus-Gesellschaft	Oppervlakte water en ondiep grondwater	0 - 40/50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.373		s.d.: 0.572	mg P/l	max 13 gebieden, 8 maandelijkse metingen tussen april en nov 1982, 24 metingen	Duitsland (Niedersachsen)	Bertram 1988
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	o-PO ₄ -P	min: 0.02	gem: 0.216	max: 0.24	s.d.: 0.18	mg P/l	5 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410 / 7140 meso	Junco Molinion/Caricion curto nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.0391		s.d.: 0.0261	mg P/l	1 gebied, 16 proefvlakken	Nederland (Vecht river plain)	Wassen et al. 1996

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
6410 mo	<i>Succisa pratensis</i> (verzuurd)	Grondwater	50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0271		s.d.: 0.0431	mg P/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 11 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
6410_ve	Grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu-Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.005	P50: 0.006	P90: 0.009		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
6410_ve	Grasland met <i>Molinia</i> op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu-Molinion), Veldrusassociatie	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.037	P50: 0.05	P90: 0.309		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
6410_ve	<i>Cirsio-dissecti</i> - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	o-PO ₄ -P	min: 0.02		max: 0.5		mg P/l	2 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410_ve	<i>Juncus acutifloris</i> litter fen	Grondwater	50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0367		s.d.: 0.0434	mg P/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 8 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
rbbhc	<i>Carex disticha</i> fen	Grondwater	50 cm	o-PO ₄ -P		gem: 1.34		s.d.: 0.779	mg P/l	1 gebied, 8 tijdstippen, 5 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1992
7140 (meso/base)	Fens	Grondwater	Ondiep < 2 m	o-PO ₄ -P	min gem.: 0.0294		max gem: 0.294		mg P/l	1 gebied, min 5? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 (meso/ base)	Rich fens with Hamatocaulis vernicosus (Mitt.) Hedenäs (Caricion nigrae–Carex nigra-Agrostis canina type) and rich fens with Scorpidium cossonii (Schimp.) Hedenäs (Caricion davalliana–Scorpidium-Carex diandra type)	Poriënwater	0 - 10 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.017		s.d.: 0.00843	mg P/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 (meso/ base)	Brown moss-small and slender sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	min: 0.01	P50: 0.07	max: 0.25		mg P/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140 base	Rich fen Caricion davalliana (Scorpidium–Carex diandra type)	Poriënwater	0 - 10 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0619			mg P/l	1 gebied, 2 tijdstippen, 10 proefvlakken	Nederland	Cusell et al. 2014
7140 base?	Moderate rich fen	Variabel (review)		o-PO ₄ -P	ondergrens van range: 0.00326		bovengrens van range: 1.76		mg P/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 base?	Rich fens with Sphagnum warnstorffii and S. teres	Oppervlakte water		o-PO ₄ -P		gem: 0.00978		s.d.: 0.00978	mg P/l	6 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.1		s.d.: 0.12	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 330 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.1		s.d.: 0.06	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 354 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 base	Transitional rich (discharge) fen Scorpidio-Caricetum diandrae in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.05		s.d.: 0.005	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 352 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Oppervlakte water	0 m	o-PO ₄ -P		gem: 0.25		s.d.: 0.5	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 299 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Poriënwater	20 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.12		s.d.: 0.1	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 296 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 mrd	Thelypterido-Phragmitetum & Pallavicinio-Sphagnetum in agricultural landscape	Grondwater	60 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.17		s.d.: 0.09	mg P/l	1 gebied, om de 14 d/maandelijks, 297 metingen	Nederland	Koerselman et al. 1990
7140 mrd	Poor fens with Sphagnum palustre L. and Sphagnum fallax (H.) Klinggr. dominating the moss layer (Caricion nigrae-Pallavicinio-Sphagnetum typicum type)	Poriënwater	0 - 10 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0389		s.d.: 0.0225	mg P/l	2 gebieden, 10 proefvlakken	Nederland	Mettrop et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	0 - 5 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.0155, P25: 0.0465	P50: 0.0774, gem: 0.248	max: 1.46, P75: 0.217		mg P/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	10 cm	o-PO ₄ -P	min: 0, P10: 0.0096, P25: 0.0147	gem: 0.159, P50: 0.0542	max: 0.818, P90: 0.347, P75: 0.175	s.d.: 0.237	mg P/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	25 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.0155, P25: 0.0155	P50: 0.031, gem: 0.155	max: 0.387, P75: 0.108		mg P/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015
7140 mrd	Veenmosorchis (Hammarbya paludosa)	Poriënwater	5 - 10 cm	o-PO ₄ -P	min: 0.031, P25: 0.0558	P50: 0.0929, gem: 0.0929	max: 0.217, P75: 0.0929		mg P/l	7 gebieden	Nederland	van Dijk et al. 2015



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7230 / rbbhc	Peat forming rich fens (Valeriano-Caricetum flavae) and fens with meadow species (Cirsietum rivularis) pro parte	Oppervlakte water		o-PO ₄ -P		gem: 0.0424		s.d.: 0.0522	mg P/l	21 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7230?	Extreme rich fen	Variabel (review)		o-PO ₄ -P	ondergrens van range: 0.00326		bovengrens van range: 5.87		mg P/l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7230?	Rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	P totaal	min: 0.03	gem: 0.05	max: 0.07	s.d.: 0.16	mg P/l	3 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7230?	Rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	o-PO ₄ -P	min: 0	gem: 0.00326	max: 0.00978	s.d.: 0.0261	mg P/l	3 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006

Tabel 18 Concentraties orthofosfaat en fosfor in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0_vo	Berkenbroekbos	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.0101			mg P/l	8 gebieden, 22 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0_vo	Oligotroof elzenberkenbroek	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.005	P50: 0.006	P90: 0.008		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
91E0_vo	Oligotroof elzenberkenbroek	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.006	P50: 0.01	P90: 0.072		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0	Beekbegeleidende bossen (91E0, alle typen samen)	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P			bovengrens : quasi nul		mg P/l	30 gebieden	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.269			mg P/l	1 gebied, 6 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		gem: 0.595			mg P/l	1 gebied, 2 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0 vm	Alder woods (<i>Carici elongatae</i> Alnetum)	Grondwater	Ondiep < 2 m	o-PO ₄ -P	min gem.: 0.0326		max gem: 0.0652		mg P/l	1 gebied, min 4? proefvlakken	Nederland	Beltman & Verhoeven 1988
91E0 vm	Mesotroof Elzenbroekbos	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P		P50: 0.028			mg P/l	10 gebieden, 46 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Mesotroof elzenbroek	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.005	P50: 0.008	P90: 0.012		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2000 (in Herr et al. 2012)
91E0 vm	Mesotroof elzenbroek	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	P10: 0.005	P50: 0.024	P90: 0.078		mg P/l		Vlaanderen	Huybrechts et al. 2009 (in Herr et al. 2012)*
91E0 vm	Inundated alder woodlands	Grondwater	Ondiep	o-PO ₄ -P	min: 0.08	P50: 0.13	max: 0.28		mg P/l	1 gebied, 3 proefvlakken	Polen	Jablonska et al. 2011
91E0 vm	Seepage fed A. glutinosa carr dominated by <i>Caltha palustris</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Carex pseudocyperus</i> , <i>Ranunculus lingua</i> and <i>Carex acuta</i> .	Poriënwater	5 - 15 cm	o-PO ₄ -P		gem: 0.0496		SE: 0.00929	mg P/l	17 gebieden, 107 proefvlakken	Nederland (ZO, langs de Maas)	Lucassen et al. 2006



Tabel 19 Concentraties sulfaat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: open habitats. Habitat louter indicatief. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7110	Sphagnum-dominated peatlands: Hummocks	Poriënwater	< 50 cm	SO ₄	min: 0.2	gem: 0.53	max: 1.2		mg SO ₄ /l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 17 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	SO ₄		gem: 5.2			mg SO ₄ /l	1 gebied, 6 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wölfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7110	Bog	Poriënwater	0 - 50 cm	SO ₄		gem: 14.4			mg SO ₄ /l	1 gebied, 8 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7110-like	Bog	Variabel (review)	NA	SO ₄	ondergrens van range: 0.03		bovengrens van range: 27		mg SO ₄ /l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7110 / 7140_oli	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	SO ₄		min gem.: 13.1	max gem: 65.8		mg SO ₄ /l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140_oli	Poor fens (Carici echinatae-Sphagnetum)	Oppervlakte water	NA	SO ₄		gem: 23.1		s.d.: 13.6	mg SO ₄ /l	17 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7140_oli	Poor fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	SO ₄		gem: 27.5		s.d.: 5.03	mg SO ₄ /l	10 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
31xx met ver-ruiging	Flooded fen in intensively	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	SO ₄		gem: 41.5		s.d.: 7.11	mg SO ₄ /l	5 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
	managed/limed environment											
7110 / 7140 / 7230	Bogs to extremely rich fens, pristine sites	Grondwater	20 cm	S	min: 0.22	gem: 0.7	max: 1.99	s.d.: 0.36	mg S/l	29 (tot 36) tijdstippen	Finland (East, Kainuu Province)	Tahvanainen 2004
7140	7140 Overgangs- en trilveen, niet gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	SO ₄	P25: 0.961	P50: 2.88	P75: 5.76		mg SO ₄ /l	5 gebieden	Polen	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, sterk gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	SO ₄	P25: 0.961	P50: 4.8	P75: 7.68		mg SO ₄ /l	13 gebieden	Vlaanderen, Nederland	Aggenbach et al. 2011
7140	7140 Overgangs- en trilveen, zwak gedegradeerd	Poriënwater	0,4 - 1,5 m	SO ₄	P25: 0.961	P50: 7.68	P75: 57.6		mg SO ₄ /l	4 gebieden	Vlaanderen, Polen	Aggenbach et al. 2011
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Hollows	Poriënwater	< 50 cm	SO ₄	min: 0.2	gem: 0.9	max: 1.6		mg SO ₄ /l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 2 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland lawns	Poriënwater	< 50 cm	SO ₄	min: 0.3	gem: 0.6	max: 1.1		mg SO ₄ /l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 10 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-dominated peatlands: Peatland margins	Poriënwater	< 50 cm	SO ₄	min: 0.3	gem: 0.84	max: 2.4		mg SO ₄ /l	2 gebieden, 12 tijdstippen, 4 proefvlakken	Italië (southeastern Italian Alps)	Bragazza & Gerdol 2002
7140	Sphagnum-small sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	SO ₄	min: 7.3	P50: 8.3	max: 9.3		mg SO ₄ /l	1 gebied, 2 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140	Eutrophic Thelypteris reedland	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 14.4			mg SO ₄ /l	1 gebied, 10 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140	Mesotrophic Thelypteris-reeds with calciphilous species	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 9.61			mg SO ₄ /l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 14.4			mg SO ₄ /l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140	Sphagnum reeds	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 14.4			mg SO ₄ /l	1 gebied, 14 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	SO ₄		gem: 6.3			mg SO ₄ /l	1 gebied, 4 proefvlakken	Italië (South Tyrol: Wöfl Moor)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/meso)	Minerotrophic lawn in mire	Poriënwater	0 - 50 cm	SO ₄		gem: 12.6			mg SO ₄ /l	1 gebied, 2 proefvlakken	Zweden (province of Uppland: Ryggmossen)	Bragazza et al. 2005
7140 (oli/meso)	Sphagnum fallax dominated peatlands, surrounded by pine forests and not disturbed by humans	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	SO ₄	min: 0	gem: 0	max: 40		mg SO ₄ /l	26 gebieden, 65 metingen	Polen (Wielkopolska region)	Gabka & Lamentowicz 2008
7140 (oli/meso)	A base-poor percolating mire with poor fen vegetation and some aspects of bog vegetation.	Poriënwater	0 - 10 cm	SO ₄		gem: 34.3			mg SO ₄ /l	1 gebied, 4 proefvlakken	Nederland (Brunssummerheide)	van Dijk et al. 2019
7140-like	Poor fen	Variabel (review)		SO ₄	ondergrens van range: 6.3		bovengrens van range: 37		mg SO ₄ /l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 meso	Carex curta fen	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 17.4			mg SO ₄ /l	2 gebieden, 6 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
7140 meso	Carex echinata fen	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 16.1			mg SO ₄ /l	2 gebieden, 16 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Carex lasiocarpa fen	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 11.8			mg SO ₄ /l	1 gebied, 25 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Polytrichum poor fen	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 15.8			mg SO ₄ /l	1 gebied, 8 proefvlakken	Nederland	Bootsma & Wassen 1996
7140 meso	Medium rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	SO ₄		gem: 32.3		s.d.: 4.59	mg SO ₄ /l	12 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006
7140 meso/rbbms	Caricetum nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	SO ₄		gem: 38.3		s.d.: 30.5	mg SO ₄ /l	1 gebied, 7 proefvlakken	Nederland (Gorecht river plain)	Wassen et al. 1996
6410	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	SO ₄	min: 23	gem: 80.4	max: 171	s.d.: 59.6	mg SO ₄ /l	5 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
6410 / 7140 meso	Junco Molinion/Caricion curto nigrae in reclaimed and drained river plain	Grondwater	1 m	SO ₄		gem: 12		s.d.: 6.73	mg SO ₄ /l	1 gebied, 37 proefvlakken	Nederland (Vecht river plain)	Wassen et al. 1996
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	1 m	SO ₄	min: 1	gem: 21.5	max: 62.4	s.d.: 35.4	mg SO ₄ /l	3 metingen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	1 m	SO ₄	min: 0	P50: 30	max: 79		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	20 cm	SO ₄	min: 5	P50: 28	max: 72		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	1 m	SO ₄	min: 20	P50: 70	max: 125		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003

////////////////////////////////////

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	20 cm	SO ₄	min: 22	P50: 43	max: 190		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	1 m	SO ₄	min: 0	P50: 11	max: 35		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	20 cm	SO ₄	min: 1	P50: 20	max: 76		mg SO ₄ /l	20 tijdstippen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410 mo	Schraalgrasland (verdroogd)	Grondwater	20 cm	SO ₄	min: 3	gem: 9.9	max: 22.2	s.d.: 10.7	mg SO ₄ /l	3 metingen	Nederland (Groot zandbrink)	van Delft et al. 2003
6410_ve	Cirsio-dissecti - Molinietum	Grondwater	Ondiep < 2 m	SO ₄	min: 91		max: 171		mg SO ₄ /l	2 metingen	Vlaanderen (provincie Antwerpen)	Van Ballaer 2001
7140 (meso/base)	Brown moss-small and slender sedge fens surrounded by forest but catchment with agriculture	Grondwater	Ondiep	SO ₄	min: 6	P50: 6.7	max: 7.9		mg SO ₄ /l	1 gebied, 6 proefvlakken	Polen (Lithuanian Lake District, Rospuda valley)	Jablonska et al. 2011
7140 base?	Moderate rich fen	Variabel (review)	NA	SO ₄	ondergrens van range: 9.5		bovengrens van range: 40		mg SO ₄ /l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7140 base?	Rich fens with Sphagnum warnstorffii and S. teres	Oppervlakte water	NA	SO ₄		gem: 19		s.d.: 12.2	mg SO ₄ /l	6 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002
7230 / rbbhc	Peat forming rich fens (Valeriano-Caricetum flavae) and fens with meadow species	Oppervlakte water	NA	SO ₄		gem: 17.9		s.d.: 12.2	mg SO ₄ /l	21 gebieden	Slowakije, Tsjechië	Hajek et al. 2002



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
	(Cirsietum rivularis) pro parte											
7230?	Extreme rich fen	Variabel (review)	NA	SO ₄	ondergrens van range: 5.7		bovengrens van range: 78		mg SO ₄ /l	Meerdere gebieden (review) gebieden	Review: Noord en Centraal Europa	Bourbonniere 2009
7230?	Rich fen in intensively managed/limed environment	Grondwater	Ondiep (onbepaald)	SO ₄		gem: 29.2		s.d.: 9.18	mg SO ₄ /l	3 proefvlakken	Tsjechië	Navratilova et al. 2006

Tabel 20 Concentraties sulfaat in grondwater/poriënwater verzameld in ons literatuuronderzoek: bossen. Habitat louter indicatief. Bronnen aangeduid met een sterretje (*) bevatten meetpunten die ook in de INBO dataset werden gebruikt. Ondergrens: laagste waarden van de dataset (vaak minimum of 10e percentiel), middelpunt: gemiddelde of mediaan (50e percentiel), bovengrens: hoogste waarden (vaak maximum of 90e percentiel).

Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0 vo	Berkenbroekbos	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 69			mg SO ₄ /l	8 gebieden, 22 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 43.2			mg SO ₄ /l	1 gebied, 6 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0	Alnus woodland	Grondwater	Ondiep	SO ₄		gem: 57.6			mg SO ₄ /l	1 gebied, 2 proefvlakken	Nederland	Wassen et al. 1989
91E0 vm	Mesotroof Elzenbroekbos	Grondwater	Ondiep	SO ₄		P50: 57.3			mg SO ₄ /l	10 gebieden, 46 proefvlakken	Vlaanderen	De Becker et al. 2004*
91E0 vm	Inundated alder woodlands	Grondwater	Ondiep	SO ₄	min: 5	P50: 5.2	max: 7.7		mg SO ₄ /l	1 gebied, 3 proefvlakken	Polen	Jablonska et al. 2011



Habitat	Natuurtype	Type water	Diepte	Variabele	Ondergrens	Middelpunt	Bovengrens	Spreiding	Eenheid	Gebaseerd op	Gebied	Bron
91E0 vm	Seepage fed A. glutinosa carr dominated by Caltha palustris, Equisetum fluviatile, Carex pseudocyperus, Ranunculus lingua and Carex acuta.	Poriënwater	5 - 15 cm	SO ₄		gem: 78.9		SE: 7.3	mg SO ₄ /l	17 gebieden, 107 proefvlakken	Nederland (ZO, langs de Maas)	Lucassen et al. 2006



3.4.2 Fluxen

In plaats van de concentraties te bepalen is het ook mogelijk om een **maximaal toegelaten aanvoer** van nutriënten te berekenen, m.a.w. een maximale belasting.

Maten voor belasting, m.a.w. een maximale aangevoerde hoeveelheid per tijdsinterval en oppervlakte- of volume-eenheid, geven een meer correcte weergave van de druk op een ecosysteem. Het nadeel is dat stoffluxen via grondwater niet direct meetbaar zijn. Deze benadering vergt dus naast de concentraties ook een kwantificering van de kwelflux (wat niet evident is).

In dit hoofdstuk beschrijven we in grote lijn de benadering en resultaten van Aggenbach et al. (2020). In hun studie hebben ze vier criteria gedefinieerd die tot **indicatieve grenswaarden voor stofbelasting voor grondwater gevoede ecosystemen** kunnen leiden:

- Belasting met minerale stikstof door toevoer van nitraat;
- Anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van nitraat en sulfaat;
- Extra N-mineralisatie a.g.v. anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van nitraat en sulfaat;
- Opbouw verzuringscapaciteit door aanvoer van sulfaat.

Per criterium berekenen ze dan een (theoretische) maximale toelaatbare belasting. We vatten in de alinea's hieronder het principe en de resultaten samen (uitleg naar Aggenbach et al. 2020).

3.4.2.1 Belasting met minerale stikstof door toevoer van nitraat

Criterium: de belasting met minerale stikstof moet lager zijn dan de kritische depositiewaarde voor atmosferische stikstofdepositie.

Aggenbach et al. (2020) volgen de redenering dat een extra toevoer van minerale stikstof een groot effect kan hebben op het functioneren van het ecosysteem en dat deze dus vermeden moet worden. Voor een inschatting van wat een tolereerbare aanvoer kan zijn, vertrekken ze van de kritische depositiewaarden voor stikstof. Het resultaat van hun berekeningen wordt in tabel 21 weergegeven.

Tabel 21 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van een aanname voor een maximaal belasting met stikstof die overeenkomt met de kritische waarde voor N-depositie. Op basis van maximale stoffluxen zijn door de auteurs voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.

Habitatype / natuurtype	Kritische waarden voor atm. N depositie kg N/ha/j	Maximale NO ₃ -N concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
		0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vochtige heiden, hogere zandgronden (4010)	17	46.59	4.66	2.33	0.94	0.46	0.15
Heischrale graslanden (6230), vochtige kalkarme variant	10	28.43	2.84	1.43	0.57	0.28	0.098
Blauwgraslanden (6410)	15	41.10	4.10	2.06	0.83	0.41	0.14
Overgangs- en trilvenen, trilvenen (7140)	17	46.59	4.66	2.33	0.94	0.46	0.15



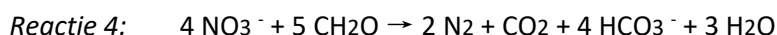
Habitattype / natuurtype	Kritische waarden voor atm. N depositie	Maximale NO ₃ -N concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
		0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	kg N/ha/j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vochtige alluviale bossen, beekbegeleidende bossen (91E0)	26	71.27	7.13	3.56	1.43	0.71	0.24
Dotterbloemgrasland van beekdalen (rbbhc)	20	54.84	5.49	2.75	1.09	0.55	0.18

3.4.2.2 Anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van nitraat en sulfaat

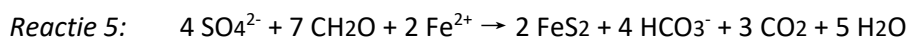
Aggenbach et al. (2020) redeneren dat een nat ecosysteem organisch stof moet kunnen accumuleren en dat veenvorming mogelijk moet blijven. Daarvoor is het nodig dat de afbraak van organisch stof aanzienlijk lager blijft dan de primaire productie.

Bij aanvoer van nitraat of sulfaat in een anaerobe organische grond kan organische stof echter als volgt afgebroken worden:

- Reductie van nitraat door anaerobe afbraak van organische stof:



- Reductie van sulfaat door anaerobe afbraak van organische stof:



Om rekening te houden met het risico op afbraak van organische stof door toevoer van nitraat/sulfaat introduceren ze dus een tweede criterium:

Criterium: de anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van nitraat en sulfaat moet lager zijn dan 5 % van de primaire productie van het ecosysteem.

Tabel 22 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat en sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van maximaal 5% extra afbraak door deze stoffen t.o.v. de 'normale' netto primaire productie. De bovenste tabel betreft berekeningen met afbraak door alleen nitraat en de onderste tabel met afbraak door alleen sulfaat en geen nitraat. Op basis van de maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.

Productiviteit	Maximale afbraak door vermist grondwater	Maximale flux NO ₃ -N	Maximale NO ₃ -N concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
			0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	g/m ² /j	mg/m ² .j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
laag	10	5826.79	159.68	15.97	7.98	3.22	1.54	0.56
matig	25	14580.97	399.33	39.92	20.03	7.98	4.06	1.40
sterk	75	43728.92	1198.13	119.76	59.95	23.95	12.05	4.06
Productiviteit	Maximale afbraak door vermist grondwater	Maximale flux SO ₄	Maximale SO ₄ concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
			0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	g/m ² /j	mg/m ² .j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
laag	10	22861.71	626.30	62.44	31.70	12.49	6.72	1.92
matig	25	57154.27	1564.78	156.57	77.81	31.70	15.37	4.80
sterk	75	171366.76	4695.30	469.72	234.38	94.14	47.07	15.37

3.4.2.3 Extra N-mineralisatie door anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van NO₃ en SO₄

Aggenbach et al. (2020) stellen dat de netto stikstofmineralisatie vaak een grote flux betekent voor de N-balans en dat de impact van mineralisatie op stikstofbeschikbaarheid dus groot kan zijn.

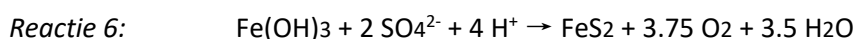
Criterium: de extra N-mineralisatie door anaerobe afbraak van organische stof door toevoer van nitraat en sulfaat moet lager zijn dan 20 % van de netto N mineralisatie van het ecosysteem.

Tabel 23 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van nitraat en sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis na maximaal 20% extra netto N-mineralisatie door deze stoffen t.o.v. de 'normale' N-mineralisatie. De bovenste tabel is voor wanneer alleen gerekend wordt met afbraak door nitraat en de onderste tabel voor wanneer alleen sulfaat en geen nitraat bijdraagt aan afbraak van organisch materiaal. Op basis van maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.

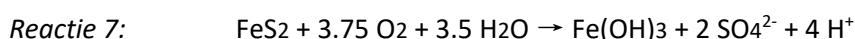
Nutriënten-rijkdom bodem	Maximale flux NO ₃ -N	Maximale NO ₃ -N concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
		0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	mg/m ² .j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
laag	7843.75	214.86	21.43	10.79	4.34	2.10	0.70
matig	19595.37	537.02	53.65	26.89	10.79	5.32	1.82
sterk	39204.75	1074.03	107.43	53.65	21.43	10.79	3.64
Nutriënten-rijkdom bodem	Maximale flux SO ₄	Maximale SO ₄ concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
		0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	mg/m ² .j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
laag	38423.04	1051.83	105.66	52.83	21.13	10.57	3.84
matig	96057.60	2631.02	263.20	131.60	52.83	25.94	8.65
sterk	192019.14	5261.07	526.40	263.20	105.66	52.83	17.29

3.4.2.4 Opbouw verzuringscapaciteit door aanvoer van sulfaat

Aanvoer van sulfaat en de accumulatie van zwavelhoudende verbindingen kan in sommige omstandigheden leiden tot verzuring. Sulfaat in anaerobe condities kan worden gereduceerd tot sulfide in combinatie met omzetting van ijzerhydroxiden:



Ophoping van ijzersulfide in zuurstofloze condities komt neer op de opbouw van een zekere verzuringscapaciteit. Bij droogval kan immers de ijzersulfide terug geoxideerd worden, een reactie waarbij zuur (H⁺) wordt gevormd:



Om dit risico te beperken introduceren Aggenbach et al. (2020) een vierde criterium, met als vuistregel dat de verzuringscapaciteit door aanvoer van sulfaat veel lager moet zijn dan de zuurbuftercapaciteit van de bodem.



Criterium: de toename van verzuringscapaciteit in 30 jaar moet lager zijn dan 20 % van de zuurbuffercapaciteit.

Tabel 24 (naar Aggenbach et al. 2020): Maximale fluxen en concentraties van sulfaat van het toestromende grondwater naar de kwelzone op basis van de opbouw van verzuringscapaciteit in 30 jaar die maximaal 20% van de zuurbuffercapaciteit bedraagt. Op basis van maximale stoffluxen zijn voor verschillende waarden van de kwelflux stofconcentraties berekend.

Bodemtype	Maximale flux SO4 per jaar	Maximale SO4 concentratie toestromende grondwater bij kwelflux:					
		0.1 mm/d	1 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	10 mm/d	30 mm/d
	mg/m ² .j	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
humusarme minerale bodem	960.58	26.32	2.59	1.34	0.48	0.29	0.10
humusrijke minerale bodem	9605.76	263.20	26.32	13.16	5.28	2.59	0.86
veraaarde veenbodem van 50 cm dikte	52831.68	1447.40	144.76	72.33	28.91	14.50	4.80

3.4.2.5 Toepassing in Vlaanderen

Kwelfluxen van meer dan 10 mm/dag zijn courant in Vlaanderen, zeker in zones met grotere topografische niveauverschillen in het zuiden en oosten van Vlaanderen. De Liereman, de vallei van Zwarte Beek, het Walenbos, ...: dit zijn maar enkele voorbeelden van gebieden waar grote hoeveelheden kwel optreden. De meest relevante concentratieranges voor Vlaanderen zullen - afhankelijk van het gebied - bij kwelfluxen tussen 2 en 30 mm/dag liggen.

Voor een kwelgebied met hoge kwelflux (10 - 30 mm/dag) leidt deze benadering dus tot een **bovengrens voor de concentraties nitraat** van ca 0,1 tot 0,7 mg NO₃⁻-N/l. Daarbij is vooral het eerste criterium (vermesting via stikstof vermijden) beslissend. Voor een kwelgebied met een lagere kwelflux (bijvoorbeeld 2-5 mm/dag zoals in Torfbroek of in de Dijlevallei) zou de bovengrens eerder bij 0,5 - 3,5 mg NO₃⁻-N/l liggen.

Voor de **bovengrens voor sulfaatconcentraties** lijkt vooral het risico op verzuring bij ophoping van ijzersulfide bepalend te zijn. In zones met veel kwel leidt dit tot een heel lage bovengrens van ca 0,1 - 15 mg SO₄/l. In zones met minder kwel leidt dat tot lage tot middelmatige maximale concentraties van ca 0,5 tot 72 mg SO₄/l. Dit geldt natuurlijk enkel voor kalkarme systemen. De andere criteria voor sulfaat leiden tot hogere bovengrenzen (afhankelijk van het type bodem/vegetatie van 2 - 47 mg SO₄/l voor zones met veel kwel, en 12 - 230 mg SO₄/l in gebieden met lagere kwelfluxen).

3.4.2.6 Kanttekeningen bij deze aanpak

De studie van Aggenbach et al. (2020) is een uitsluitend **theoretische oefening** die gebaseerd is op eenvoudige stofbalansberekeningen en reeds bekende omzettingsprocessen die in de bodem van kwelgebieden optreden. De gebruikte rekentool is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, gestoeld op een reeks aannames. De bekomen grenswaarden voor stoffluxen zijn niet onderbouwd met empirisch onderzoek.

Volgens hun analyse zouden hoge concentraties nitraat en sulfaat in het grondwater geen bedreiging vormen voor de beschouwde biotopen zolang de kwelflux beperkt blijft. Voor een

////////////////////////////////////

groot deel van de grondwatergevoede vegetaties zullen deze **geringe kwelfluxen** echter niet volstaan om een geschikte waterhuishouding doorheen het jaar te behouden en perioden met veel verdamping en weinig neerslag te overbruggen. Daarnaast kan ook de toevoer van mineralen te laag worden voor vegetaties zoals blauwgraslanden, die afhankelijk zijn van meer basenrijke condities.

3.5 SYNTHESE VAN DE BESCHIKBARE DATA

3.5.1 Nitraat

De berekeningen van de maximale belasting door Aggenbach et al. (2020) leiden voor nitraat tot maximale concentraties van ca 0,1 tot 0,7 mg NO₃⁻-N/l voor gebieden met veel kwel (zoals de Zwarte Beek) en ca 0,5 - 3,5 mg NO₃⁻-N/l voor gebieden met minder kwel. De bovengrenzen van die studie komen vrij goed overeen met de bovengrenzen van onze INBO dataset: voor de meeste vegetatietypen leunen de 90e percentielen van de INBO dataset eerder aan bij de berekeningen van Aggenbach et al. voor hoge kwelfluxen (INBO dataset: 90e percentiel alle typen samengenomen: 0,53 mg NO₃⁻-N/l en slechts 3 vegetatietypen met een 90e percentiel groter dan 1 mg NO₃⁻-N/l). Het is aannemelijk dat de INBO dataset inderdaad vrij veel referentielocaties bevat waar er hoge hoeveelheden kwel aan de oppervlakte komen, maar dit werd nog niet in detail onderzocht. Het 90e percentiel voor mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm) op basis van de INBO dataset is daarentegen aan de hoge kant vergeleken met de studie van Aggenbach et al.: ca 5,5 mg NO₃⁻-N/l.

Wanneer we de INBO gegevens met de literatuur vergelijken stellen we vast dat de **mediane concentraties** van onze Vlaamse dataset goed overeenkomen met wat elders wordt waargenomen: op de helft van de bemonsterde INBO locaties is de nitraatconcentratie bijna nihil (0,04 - 0,06 mg NO₃⁻-N/l) en dit geldt voor alle onderzochte vegetatietypen.

Als we het **90e percentiel** van de INBO dataset bekijken, zien we meer variatie: vegetatietypen zoals vochtig heischraal grasland (6230_hmo), mineraalarm overgangsveen (7140_meso) en kleine zeggenvetatie (rbbms) vertonen lage waarden (0,10 - 0,15 mg NO₃⁻-N/l), vergelijkbaar met de laagste concentraties gerapporteerd in de literatuur. Vochtige heide (4010), oligotroof zuur overgangsveen (7140_oli) en dotterbloemgrasland (rbbhc) vertonen middelmatige concentraties, die in de range vallen van de meeste andere studies. Voor oligotroof berkenbroekbos (91E0_vo) en vooral blauwgrasland (6410) en mesotroof elzenbroekbos (91E0_meso) is het 90e percentiel in de INBO dataset opmerkelijk hoog (0,94 tot zelfs 5,52 mg NO₃⁻-N/l voor 91E0_vm) en zijn er slechts enkele studies die gelijkaardige cijfers rapporteren. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat de Vlaamse referentielocaties voor die vegetatietypen niet volstaan om een goed beeld te geven van een referentiesituatie.

Op deze uitzonderingen na zijn de cijfers van het INBO onderzoek veel lager dan de actuele milieukwaliteitsnorm voor grondwater (VLAREM) die 11,3 mg NO₃⁻-N/l bedraagt (50 mg NO₃⁻ /l). Dit geldt ook voor de cijfers uit de literatuur.

3.5.2 Nitriet

Op basis van de INBO dataset blijkt dat **nitriet zo goed als afwezig** in het grondwater van de beschouwde vegetatietypen (onder de bepaalbaarheidsgrens, t.t.z. kleiner dan 0,02 mg NO₂⁻-N/l). Deze conclusie komt goed overeen met de (weinig) literatuurgegevens die we hebben gevonden: nitriet komt in verwaarloosbare concentraties voor (wat te verwachten valt omdat nitriet snel in andere verbindingen wordt omgezet).



De huidige milieukwaliteitsnorm in VLAREM bedraagt 0,03 mg NO₂⁻-N/l (0,1 mg NO₂/l) en is dus van dezelfde orde van grootte dan de cijfers uit het INBO onderzoek en uit de literatuur.

3.5.3 Ammonium

Voor vochtig heischraal grasland (6230_hmo), blauwgrasland (6410_mo), mineraalarm overgangsvveen (7140_meso) en zuur laagveen/kleine zeggenvegetatie (rbbms) zijn de **mediane concentraties** ammonium van de INBO dataset vergelijkbaar met de laagste referentiewaarden gevonden in de literatuur (INBO dataset: rond 0,04 mg NH₄⁺-N/l). Voor de andere typen zijn ze vergelijkbaar met de 'middenmoot' van de studies (INBO dataset: 0,05 tot 0,1 mg NH₄⁺-N/l voor alle typen behalve de broekbossen 91E0 die mediane concentraties van 0,27-0,34 mg NH₄⁺-N/l vertonen. Literatuurdata: in 2/3 van de bronnen < 0,5 mg NH₄⁺-N/l).

Als we de **90e percentielen** bekijken, komen de berekeningen voor de INBO dataset vrij goed overeen met de concentraties ammonium gerapporteerd in de literatuur die in de meeste studies onder de 0,5 mg NH₄⁺-N/l blijven (INBO dataset: 0,19 - 0,75 op 2 uitzonderingen na). De literatuur bevat voorbeelden van gebieden met veel hogere concentraties dan de hoogste 90e percentielen van de INBO dataset die we in dotterbloemgrasland (rbbhc met 1,04 mg NH₄⁺-N/l) en in mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm met 1,72 mg NH₄⁺-N/l) hebben vastgesteld.

De gebieden met verhoogde ammoniumconcentraties zijn niet beperkt tot Vlaanderen/Nederland, maar omvatten sites in Polen, Duitsland, Engeland, Slowakije en Tsjechië in verschillende landschappen. Er zijn voor ammonium dus niet direct aanwijzingen dat de Vlaamse situatie niet bruikbaar zou zijn om referentiewaarden/normen te bepalen.

De huidige milieukwaliteitsnorm in VLAREM bedraagt 0,388 mg NH₄⁺-N/l (0,5 mg NH₄⁺/l), dat is dus dezelfde orde van grootte als de meeste waarnemingen uit INBO onderzoek en uit de literatuur. De huidige milieukwaliteitsnorm is kleiner dan de maximale waarden vastgesteld in sommige gebieden van de INBO dataset en van onze literatuurstudie.

3.5.4 Orthofosfaat

De **mediane concentraties** orthofosfaat in de INBO dataset zijn voor bijna alle vegetaties extreem laag of onder de bepaalbaarheidsgrens (INBO dataset: voor alle vegetatietypen < 0,04 mg PO₄-P/l). Ze zijn vergelijkbaar of lager dan wat gerapporteerd wordt in de literatuur (literatuurdata: meestal < 0,1 mg o-PO₄-P/l maar uitschieters tot 1,3 mg o-PO₄-P/l).

Het **90e percentiel** voor de concentraties orthofosfaat in de INBO dataset komt vrij goed overeen met wat elders wordt beschreven: concentraties blijven meestal onder de 0,1 mg PO₄-P/l. Voor vochtige heide (4010) en oligotroof zuur overgangsvveen (7140_oli) bedraagt het 90e percentiel zelfs 0,05 mg PO₄-P/l, wat overeenkomt met de laagste concentraties vermeld in de literatuur. De hoogste 90e percentielen voor de INBO dataset gelden voor dotterbloemgrasland (rbbhc), mineraalarm overgangsvveen (7140_meso), oligotroof berkenbroekbos (91E0_vo) en mesotroof elzenbroekbos (91E0_vm): in alle gevallen blijven ze onder 0,16 mg PO₄-P/l, wat nog lager is dan sommige studies uit de literatuur. Er zijn op basis van deze analyse dus geen aanwijzingen dat de Vlaamse situatie niet bruikbaar zou zijn om referentiewaarden/normen te bepalen.

Met een waarde van 0,437 mg PO₄-P/l (1,34 mg PO₄/l) is de huidige milieukwaliteitsnorm in VLAREM groter dan de meeste bovengrenzen uit de literatuur en dan alle 90e percentielen uit



de INBO dataset (meer bepaald: 3-4 keer groter dan de hoogste 90e percentielen). De hoogste concentraties gerapporteerd in de literatuur zijn echter nog groter: ze lopen op tot 1,7 mg PO4-P/l.

3.5.5 Sulfaat

De berekeningen van de maximale belasting door Aggenbach et al. (2020) leiden voor sulfaat tot maximale concentraties die heel variabel zijn afhankelijk van het type criterium dat we beschouwen. In zones met veel kwel ligt de bovengrens afhankelijk van het type bodem/vegetatie rond ca 0,1 - 15 mg SO4/l (criterium verzuring) en 2 - 47 mg SO4/l (criterium beperkte afbraak organisch materiaal). Voor zones met minder kwel rond ca 0,5 tot 72 mg SO4/l (criterium verzuring) en 12 - 230 mg SO4/l (criterium beperkte afbraak organisch materiaal).

De bovengrenzen die we op basis van de INBO dataset berekenen zijn eerder aan de hoge kant vergeleken met Aggenbach: de laagste 90e percentielen worden voor vochtige heide (4010), mineraalarm overgangsvveen (7140_meso), zuur laagveen/kleine zeggenvegetatie (rbbms) en oligotroof zuur overgangsvveen (7140_oli) berekend en bedragen 58 - 70 mg SO4/l. Voor de andere vegetatietypen komen we nog tot hogere waarden. Vooral voor de alluviale bossen kan de sulfaatconcentratie sterk oplopen: het 90e percentiel bereikt 179 - 197 mg SO4/l. Onze metingen voor sulfaatconcentraties zijn dus aanzienlijk hoger dan de berekeningen van Aggenbach. Ze zijn ook een stuk hoger dan de gerapporteerde concentraties in de literatuur.

Het valt hier op dat de **Vlaamse sulfaatconcentraties** in het algemeen veel **hoger** zijn **dan** cijfers gerapporteerd in **andere Europese landen** met minder bevolkte en minder intensief gebruikte landschappen. Voor sulfaat rijst de vraag of een referentiedataset die volledig gebaseerd is op Vlaanderen nog bruikbaar is.

De huidige milieukwaliteitsnorm in VLAREM bedraagt 250 mg SO4/l en is veel hoger dan de hoogste concentraties gerapporteerd in grondwaterafhankelijke vegetaties buiten Vlaanderen en Nederland (die in alle geraadpleegde studies onder de 80 mg SO4/l blijven, maar op veel plaatsen nog veel lagere concentraties vertonen)

3.5.6 Naar ecologische richt- en grenswaarden voor nutriëntenconcentraties in grondwater

Uit deze analyse proberen we indicatieve richtwaarden en grenswaarden te destilleren (tabel 25). De grenswaarden zijn de waarden waaronder de concentraties zouden moeten blijven om het behoud van grondwaterafhankelijke vegetaties typisch voor een Kempens landschap op lange termijn te garanderen: ze zijn te beschouwen als een maximaal aanvaardbaar niveau. De richtwaarden zijn de concentraties waarnaar gestreefd zou moeten worden (bijvoorbeeld in natuurherstelprojecten) als we de best mogelijke ontwikkelingscondities voor de beoogde vegetaties willen bieden (wenselijk niveau). De richtwaarden liggen dus lager dan de grenswaarden.

De keuze voor deze richt-/grenswaarden is gebaseerd op expertbeoordeling geïnformeerd door eigen ervaring en literatuuronderzoek.

Richtwaarden: algemeen genomen zijn de medianen uit de INBO dataset vergelijkbaar met de literatuur. We stellen voor om deze waarden als richtwaarden te gebruiken.

////////////////////////////////////

Grenswaarden: als bovengrens (waaronder de concentratie in Kempense natuurgebieden zou moeten blijven) lijkt het 90e percentiel van de INBO dataset bruikbaar. Het 95e percentiel hanteren leidt tot concentraties die hoger zijn dan wat we in de literatuur vinden, terwijl een lager percentiel dan snel tot heel lage concentraties als bovengrens leidt, wat waarschijnlijk te streng is.

Voor sulfaat blijken de mediaan en het 90e percentiel van de INBO dataset merkelijk hoger dan wat we in de literatuur voor gelijkaardige vegetatietypen in Europa vinden. We stellen dus alternatieve richt- en grenswaarden voor op basis van het literatuuronderzoek (3.4.1). Voor de richtwaarden vertrekken we van het gewogen gemiddelde van alle mediane en gemiddelde concentraties sulfaat buiten Vlaanderen, Nederland en excl. gedegradeerde sites. Voor de grenswaarden nemen we het gewogen gemiddelde van de maximale waarden, opnieuw excl. Vlaanderen, Nederland en gedegradeerde sites. In beide gevallen laten we de studies met meer bemonsterde gebieden zwaarder wegen in het resultaat.

Tabel 25 Voorstel van ecologische referentiewaarden voor grondwaterafhankelijke vegetatietypen van een Kempens landschap. Nitriet moet zo goed als afwezig zijn (de waarden in de tabel hieronder weerspiegelen vooral de bepaalbaarheidsgrens van het labo). Ter vergelijking toont de laatste kolom de actuele milieukwaliteitsnormen voor grondwater (VLAREM, zie ook hoofdstuk 3.1).

Parameter	Ecologische richtwaarde	Ecologische (boven)grenswaarde	Milieukwaliteitsnorm VLAREM
NH ₄ -N	0,1 mg NH ₄ ⁺ -N/l	0,55 mg NH ₄ ⁺ -N/l	~ 0,388 mg NH ₄ ⁺ -N/l
NO ₂ -N	0,015 mg NO ₂ ⁻ -N/l	0,015 mg NO ₂ ⁻ -N/l	~ 0,03 mg NO ₂ ⁻ -N/l
NO ₃ -N	0,05 mg NO ₃ ⁻ -N/l	0,53 mg NO ₃ ⁻ -N/l	~ 11,3 mg NO ₃ ⁻ -N/l
o-PO ₄ -P	0,016 mg o-PO ₄ ³⁻ -P/l	0,095 mg o-PO ₄ ³⁻ -P/l	~ 0,437 mg o-PO ₄ ³⁻ -P/l
SO ₄	ca 15 mg SO ₄ ²⁻ /l	ca 27 mg SO ₄ ²⁻ /l	250 mg SO ₄ ²⁻ /l

Wanneer we deze ecologische richt-/grenswaarden gebruiken, moeten we de beperkingen vermeld in hoofdstuk 3.3.3 in het achterhoofd houden, o.a.

- dat de aanvoer van nutriënten via grondwater slechts één van de mogelijke aanvoerwegen is,
- dat deze waarden univariaat afgeleid zijn, zonder de mogelijke interacties tussen nutriënten en andere variabelen in ogenschouw te nemen. Het is hierbij mogelijk dat de afgeleide bovengrenzen niet op alle plaatsen en onder alle omstandigheden van toepassing zijn. Dit werd in de mate van het mogelijke opgevangen door een kritische vergelijking met cijfermateriaal uit de literatuur, voor zover beschikbaar, maar het blijft van belang om hiermee rekening te houden als de waarden worden gebruikt. Herr et al. (2021) formuleerden suggesties om dit te doen.

3.5.7 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Tabel 25 geeft een voorstel van richt- en grenswaarden gebaseerd op expertenbeoordeling geïnformeerd door eigen ervaring en literatuuronderzoek. De grenswaarden zouden idealiter nog gevalideerd/bijgestuurd moeten worden met een statistische analyse.

Zo'n statische analyse brengt meerdere uitdagingen met zich mee, o.a.:



- is het mogelijk om (meer) rekening te houden met interacties tussen nutriënten of met andere variabelen? Is het überhaupt wenselijk? (in een statistisch model met meerdere variabelen moet ook elke variabele gemeten worden om de bekomen grenswaarden te kunnen gebruiken),
- hoe bakenen we de populatie af van locaties die bemonsterd moeten worden? Locaties die aan de definitie van habitats en/of regionaal belangrijke biotopen voldoen zijn evidente kandidaten, maar hoe selecteren we daarnaast voldoende locaties waar een habitat/regionaal belangrijke biotoop 'net niet' aanwezig is? Dat zijn de locaties die nodig zijn om het onderscheid te kunnen maken tussen habitatwaardige en niet habitatwaardige vegetaties (voor grenswaarden tussen habitats in gunstige en ongunstige staat van instandhouding verwijzen we naar de methodiek in Van Calster et al., 2020).

Indien het aantal waarnemingen per vegetatietypen het toelaat zouden de referentiewaarden eventueel per vegetatietype of groep van typen bepaald kunnen worden.

De INBO dataset zou zeker nog kunnen worden uitgebreid met nieuwe referentielocaties voor de typen die nog ontbreken of onvoldoende vertegenwoordigd zijn: rbbsm (gagelstruweel), 6410_ve (veldrusgrasland), 7150 (slenken en plagplekken op vochtige bodems in de heide) en rbbso (wilgenstruweel op venige en zure grond). Op referentielocaties waar outliers zijn gedetecteerd, of waar de metingen sterk afwijken van de literatuurdata zou minstens één extra bemonsteringsronde nuttig zijn.

Tenslotte zou deze studie uitgebreid kunnen worden naar de concentraties kalium in het grondwater. Dit omdat (co)limitatie van de vegetatiegroei door kalium al is vermeld in gedraineerde of vernatte veengebieden (bijv. Van Duren en Petgel, 2000).



4 MODELINSTRUMENTEN

Toon Van Daele

4.1 INLEIDING

Met dit hoofdstuk geven we een aanzet over welke rekeninstrumenten ingezet kunnen worden om het transport van nutriënten via het grondwater in de vallei van de Zwarte Beek in kaart te brengen.

Vermits de aanwezigheid van nutriënten in watersystemen één van de belangrijkste problemen is in het waterbeheer, zijn hier heel wat rekeninstrumenten voor ontwikkeld. De benaderingen zijn heel uiteenlopend. Een belangrijk deel van de instrumenten is gericht op het gebiedsdekkend en regionaal in kaart brengen van risicogevoelige gebieden, een beperkt aantal zijn meer gedetailleerd en lokaal gericht op perceelsniveau. Het modelleren van het transport van nutriënten in grondwater is complex in vergelijking met oppervlaktewater (Bear & Cheng, 2010). Er spelen immers verschillende chemische en biologische processen in de bodem vooraleer de aquifer bereikt wordt. De grondwaterstroming is traag en er zijn chemische reacties en uitwisseling met het moedermateriaal van de aquifer. De exacte condities waarin al deze processen plaatsvinden zijn moeilijk rechtstreeks in de ondergrond te meten.

We kunnen het stoftransport in het grondwater opdelen in het louter **fysische stoftransport** (advectie, dispersie, diffusie, retardatie en afbraak) en het **reactief stoftransport** (redox-reacties, afbraak en adsorptie die afhankelijk zijn van geochemische condities) (Kreuk & Groen, 2009). Er zijn verschillende processen die het transport en de verandering in samenstelling en concentraties van stoffen in het grondwater beïnvloeden:

- **Advectie:** het transport van stoffen die meegevoerd worden met het grondwater.
- **Diffusie:** de verplaatsing van stoffen door de willekeurige beweging van moleculen. Dit leidt tot verplaatsing van hoge naar lage concentraties.
- **Dispersie:** hydrodynamische dispersie is de mechanische vermenging en verspreiding van stoffen door de heterogeniteit van het materiaal waar het grondwater doorstroomt. De spreiding is zowel in de lengte als de dwarsrichting van de grondwaterstroming.
- **Absorptie:** een stof dringt door in de poriën van een materiaal, waarbij ze wordt opgenomen in de structuur van het materiaal zelf.
- **Adsorptie:** het proces waarbij moleculen van een stof zich hechten aan het oppervlak van een ander stof of materiaal in de aquifer.
- **Retardatie:** de vertraging van een stof in de grondwaterstroming omwille van interactie met het moedermateriaal (door absorptie of adsorptie).
- **Oplossing/uitloging:** oplossing van de vaste stoffen in de aquifer in het grondwater.
- **Chemische reacties:** De chemische samenstelling van het grondwater wordt beïnvloed door biologische processen, chemische reacties met stoffen opgelost in het grondwater en chemische reacties met het vast materiaal van de aquifer (bv. denitrificatie).



4.2 MODELBNADERINGEN VOOR NUTRIËNTEN IN GRONDWATER

Er zijn heel uiteenlopende modelbenaderingen om het transport van nutriënten in grondwater in te schatten. De modelbenaderingen kunnen ingedeeld worden op basis van de schaal van de toepassing (perceelsniveau tot stroomgebied) en mate waarin de verschillende processen expliciet gemodelleerd worden of dat er een conceptuele/empirische benadering wordt gevolgd.

4.2.1 **Empirische modellen**

Empirische modellen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op statistische relaties, afgeleid uit metingen. Ze gebruiken statistische regressies om de relatie tussen nutriëntenconcentraties en verschillende factoren zoals landgebruik, bemesting, bodemkenmerken en diepte van de onverzadigde zone te achterhalen. Deze modellen omvatten de globale processen die nutriënten ondergaan, maar worden vereenvoudigd toegepast. Ze worden vaak gericht ontwikkeld om te werken met informatielagen die gebiedsdekkend beschikbaar zijn. De rekentijd blijft meestal beperkt en ze zijn vaak beter inzetbaar in een grotere regio. Door de eenvoud en assumpties zijn ze niet in staat om complexe geochemische processen te simuleren.

4.2.2 **Procesgebaseerde modellen**

Procesgebaseerde modellen simuleren de fysische en chemische processen die nutriëntentransport in grondwater bepalen. Ze houden rekening met factoren zoals grondwaterstroming, nutriëntuitspoeling, denitrificatie en andere chemische of biologische processen. Deze modellen zijn complexer en vereisen gedetailleerde invoergegevens, maar als ze correct worden ingezet en met voldoende meetgegevens worden ondersteund, dan kunnen ze een meer mechanistisch inzicht in de nutriëntendynamiek geven. In principe hebben ze ook meer de potentie om nieuwe situaties te simuleren die nog niet zijn waargenomen. Door de complexiteit vergen ze veel kennis over het studiegebied, de grondwaterstroming en chemische samenstelling van het grondwater en de aquifer (i.e. veel metingen en analyses). Ze zijn moeilijk op een regionale schaal toe te passen omdat de nodige gedetailleerde data niet gebiedsdekkend voorhanden zijn.

4.2.2.1 **Hydrogeologische modellen**

Hydrogeologische modellen simuleren grondwaterstroming en kunnen worden gekoppeld aan transportmodellen om nutriëntentransport te simuleren. Deze modellen houden rekening met de eigenschappen van de watervoerende laag, grondwatervoeding en stroombanen en geven zo een beeld van de nutriëntbeweging in het grondwatersysteem.

4.2.2.2 **Landoppervlaktemodellen**

Landoppervlaktemodellen simuleren de interacties tussen het landoppervlak en de atmosfeer, met inbegrip van water- en voedingsstoffencycli. Ze kunnen worden gebruikt om de nutriëntuitspoeling vanuit de wortelzone naar het grondwater te schatten. Modellen zoals SWAT (Soil and Water Assessment Tool) integreren vaak hydrologische en nutriënten transportcomponenten. De benadering voor de grondwaterstroming is in deze modellen sterk vereenvoudigd.



4.2.2.3 Reactieve transportmodellen

Reactieve transportmodellen simuleren de chemische reacties die optreden tussen water en mineralen. Deze modellen kunnen worden gebruikt om omzettingsprocessen in grondwater te bestuderen, inclusief denitrificatie reacties.

4.2.3 Ruimtelijk verdeelde modellen

Deze modellen houden rekening met de ruimtelijke variatie (2D of 3D) gebiedsdekkend in een studiegebied. Ze houden rekening met gedetailleerde informatie over landgebruik, ondergrond, topografie, waterlopen, etc...

Deze modelbenaderingen worden gecombineerd om tot een instrument te komen dat geschikt is voor een gegeven onderzoeksvraag en studiegebied.

Veldmetingen gericht op modelkalibratie en modelvalidatie zijn cruciaal voor de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten. De keuze voor een bepaalde modelbenadering houdt altijd in dat er beperkingen zijn in schaal, detailgraad, inzetbaarheid, voorspellingskracht, ... Het is daarom belangrijk alle belanghebbenden in een studie te betrekken bij de keuze van de modelbenadering.

Het is ook mogelijk een hiërarchisch modelkader uit te werken waarbij de initiële benadering relatief eenvoudig is en de complexiteit in de loop van de studie in functie van gerichte vragen verder uit te breiden.

4.3 MODELLEERSOFTWARE

Enkele recente reviews Elsayed et al. (2023), Alam & Dutta (2021) en Sinshaw et al. (2019) geven samen een goed overzicht van de rekeninstrumenten die hiervoor bij hydrologische studies worden gebruikt. Ze zijn wel beperkt tot studies die gepubliceerd zijn in de Engelstalige wetenschappelijke literatuur.

Alam & Dutta (2021) stellen vast dat hoewel er heel wat complexe procesgebaseerde modellen zijn ontwikkeld, de toepassing ervan nog vaak beperkt blijft tot de academische wereld. Er is nood aan een betrouwbare modelbenadering die opgepikt kan worden door beleidsvormende projecten.

De reviews behandelen zowel grond- als oppervlaktewatersystemen, stroomgebiedmodellen en geïntegreerde modellen. We beperken ons hier tot enkele van de meest gebruikte numerieke en procesgerichte modellen met een focus op grondwater en met toepassing op een schaal die vergelijkbaar is met het stroomgebied van de Zwarte Beek. Met het oog op open science bevat de onderstaande lijst uitsluitend modelsoftware die vrij beschikbaar is (bij voorkeur open source) en reproduceerbare methodes ondersteunt (scripting). De meeste software maakt deel uit van de 'MODFLOW familie' of is eraan gekoppeld. MODFLOW is een grondwaterstromingsmodel dat werd ontwikkeld door de USGS (United States Geological Survey). De software bestaat al meerdere decennia, wordt geregeld verbeterd en uitgebreid. Het is vrij beschikbaar (<https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>)

4.3.1 MODPATH

MODPATH is een pakket van de MODFLOW familie en wordt gebruikt om het advectief transport van vloeistoffen of verontreinigingen in een grondwatersysteem te simuleren. Het is



ontwikkeld door de USGS en vrij beschikbaar (Pollock, 2016). De laatste versie van MODPATH is compatibel met MODFLOW-6, de meest recente versie van MODFLOW (2017).

MODPATH berekent het pad van virtuele partikels die door het grondwatersysteem stromen. Voor deze berekening wordt de output van een MODFLOW grondwaterstromingsmodel gebruikt. Een grondwaterstromingsmodel geeft inzicht in de ligging van infiltratie en kwelgebieden. MODPATH kan de stroombanen berekenen vanuit de infiltratiezones naar de kwelgebieden en legt zo een rechtstreekse relatie gelegd tussen beide. Het geeft ook aan welke grondwaterlagen die daarbij worden gepasseerd en hoe lang de verblijftijden zijn. Dit kan zowel voor een steady state grondwatermodel (een tijdsafhankelijk model dat een gemiddeld peil geeft voor elke modelcel) als een *transient state* (een tijdsafhankelijk grondwatermodel dat een tijdreeks van grondwaterpeilen geeft voor elke modelcel).

De berekening van de stroombanen kan in twee richtingen verlopen. Forward tracking is met de stromingsrichting mee. Bij backtracking verloopt de berekening van de stroombaan tegen de stromingsrichting in (bijvoorbeeld van een rivier of kwelgebied naar het infiltratiegebied). Bij het forward tracking kunnen de startlocaties van de virtuele deeltjes gelijk verspreid worden over het modelgebied met een automatische *particle generation*. Bij backward tracking is het belangrijk een groot aantal deeltjes in dezelfde modelcel te initiëren, maar met lichtjes andere locatie. Dat heeft te maken met het feit dat stroombanen zich concentreren in de kwelgebieden. Het infiltratiegebied is immers (doorgaans veel) groter in oppervlakte dan het kwelgebied.

Om realistische stroombanen te verkrijgen is het belangrijk dat het modelcellen in het modelgebied voldoende klein zijn, zowel horizontaal (in de xy richting) als in de hoogte (meerdere modellagen).

Een belangrijk kenmerk van MODPATH is dat het beperkt is tot het advectief transport van stoffen in het grondwater, eventueel uitgebreid met retardatie. Het simuleert geen dispersie of diffusie en het bevat ook geen modules voor chemische reacties of interacties met het moedermateriaal.

Voorbeelden: De combinatie MODPATH en MODFLOW werd in de studie over nitraatbronnen in Vlaanderen in drie uiteenlopende sites gebruikt om te bepalen welke stroombanen door de reductiezone gaan (Walraevens et al., 2021). Deze methode is als eerste stap zeer bruikbaar in een ecohydrologische studie. Meer details over de methode en een voorbeeld worden besproken in §4.5.2. Frederiksen et al. (2024) heeft een gelijkaardige aanpak, maar berekent voor elke stroombaan de potentiële denitrificatie in functie van de stroomtijden door de oxidatie en reductiezones.

4.3.2 MODFLOW - Groundwater Transport (GWT)

Het MODFLOW6 Groundwater Transport (GWT) model is een softwarepakket voor het modelleren van transport van opgeloste stoffen en warmtetransport. Het maakt deel uit van de MODFLOW modelfamilie en werd ontwikkeld door de United States Geological Survey USGS (Langevin et al., 2022). De laatste versie (6.5.0) dateert van 2024. De software is vrij verkrijgbaar.

Bij MODFLOW6 is het stromingsmodel en het stoftransport in één rekenmodel geïntegreerd. Het kan advectie, hydrodynamische dispersie, diffusie, retardatie, verval en mengprocessen berekenen. Het is geschikt om het transport en ruimtelijke spreiding van een verontreiniging en warmtetransport te simuleren. De module laat niet toe om chemische reacties te



berekenen. Met de 'decay' functie zou wel denitrificatie vereenvoudigd gesimuleerd kunnen worden. De vereiste invoergegevens zijn de eigenschappen van de watervoerende laag, de beginconcentratie van een opgeloste stof, verontreinigingsbronnen, randvoorwaarden voor de stroming en grondwaterchemie.

Voorbeeld: De software is zeer recent (2022) en in de (beperkte) literatuurstudie werden nog geen studies gevonden waar deze module toegepast wordt voor de berekening van nutriëntentransport.

4.3.3 MT3D

MT3D is een pakket dat past binnen de MODFLOW modelfamilie. MT3D staat voor "Multi-species Transport in 3-Dimensions" en is ontworpen om stoftransport in grondwater te simuleren (Bedekar et al., 2016). De software wordt gratis ter beschikking gesteld.

MT3D maakt gebruik van numerieke oplossingsmethoden om de beweging en verspreiding van opgeloste stoffen in drie dimensies te modelleren. Het maakt gebruik van de grondwaterstromingsinformatie die MODFLOW genereert. MT3D kan de effecten van grondwaterstroming op het transport van opgeloste stoffen simuleren. MT3D heeft een basis transportmodule dat het massatransport van opgeloste stoffen simuleert. Verder zijn er specifieke modules om processen te simuleren, zoals advectie, dispersie en eenvoudige chemische reacties. Er zijn specifieke modules en varianten (MT3DMS / MT3D-USGS / RT3D) voor het modelleren van nutriëntentransport en biologische afbraakprocessen.

Voorbeeld: MT3D in combinatie met MODFLOW werd in Vlaanderen gebruikt voor een hydrologische systeemanalyse in de Visbeek-Kindernouwebeek (Verbeiren et al., 2007). Lee et al. (2006) gebruikt de meer complexe reactieve transportfuncties in RT3D om gebiedsdekkend de nitrificatie en denitrificatie reacties in een aquifer te bestuderen.

4.3.4 SUTRA

SUTRA (Saturated-Unsaturated Transport) werd ontwikkeld door de USGS (Voss en Provost, 2002; Hughes en Sanford, 2005). De meest recente versie is SUTRA 2.2, uitgebracht in 2010. De software en broncode is vrij verkrijgbaar.

SUTRA is ontworpen voor het simuleren van stroming, warmte en stoftransport van meerdere stoffen in de ondergrond. Het ondersteunt het modelleren in zowel de verzadigde als onverzadigde zone.

De belangrijkste inputs die nodig zijn voor SUTRA zijn de eigenschappen van de aquifer, initiële concentratie, stromings- en concentratie randvoorwaarden. De gebruiker moet de verdeling van porositeit, permeabiliteit (of hydraulische geleidbaarheid), dispersie, initiële druk (of initiële stijghoogte), initiële concentratie (of initiële temperatuur) en dikte over het 2D modeldomein definiëren. De grondwaterstroming kan worden gemodelleerd voor een volledig verzadigd of een deel onverzadigd systeem.

4.3.5 PHREEQC

PHREEQC is een programmeeromgeving om reactief stoftransport te modelleren (Parkhurst & Appelo, 1999). Het is eveneens ontwikkeld door USGS, maar maakt geen deel uit van het MODFLOW pakket. De laatste versie is 3.7.3 (2021). De software en de broncode zijn vrij toegankelijk.



De software laat toe allerlei geochemische processen (bv. redoxreacties) langs een stroombaan te simuleren en te laten afhangen van geochemische condities die in plaats en tijd kunnen variëren. Het wordt veel gebruikt en de mogelijkheden zijn zeer uitgebreid, maar het vereist veel technische kennis.

In principe rekent PHREEQC het stoftransport langs één stroombaan, maar in sommige studies wordt de advectie gekoppeld aan MODFLOW of andere grondwaterstromingsmodellen, zodat het stoftransport in 3D kan gesimuleerd worden.

Een modellering met PHREEQC vereist zeer gedetailleerde informatie over de ondergrond. Meestal is er onvoldoende informatie beschikbaar en is er grote onzekerheid over de opbouw van de ondergrond en de concentraties van stoffen in de ondergrond.

Sommige softwarepakketten integreren meerdere modellen tot meer gebruiksvriendelijke interfaces.

- PH3TD integreert PHREEQC en MT3D in een stoftransportmodel dat het voor de gebruiker eenvoudiger maakt om een model uit te werken. Het model is op eenvoudige aanvraag vrij beschikbaar, maar de broncode is niet vrij toegankelijk (<http://www.pht3d.org/>). **Voorbeeld:** Zhang et al. (2013) gebruiken PH3TD om de concentratie aan sulfaat te modelleren in een aquifer rijk aan pyriet en infiltratie met hoge nitraatconcentraties.
- Letermé et al. (2021) ontwikkelt een module voor MT3D die een koppeling met HYDRUS (een model voor de onverzadigde zone) en met PHREEQC maakt. Het project is nog in de onderzoeksfase.

4.4 SIMULATIE VAN DE NUTRIËNTEN IN DE ONVERZADIGDE ZONE

Met uitzondering van SUTRA zijn alle hogervernoemde modellen uitsluitend gericht op de verzadigde zone. Om een realistische inschatting te maken van de recharge en de aanvoer van nutriënten vanuit de bodem is een modellering van de onverzadigde zone en de uitspoeling van nutriënten vereist.

4.4.1 **EUrotate_N**

Voor de uitspoeling van nutriënten gebruikt Walraevens & De Neve (2021) het EUrotate_N model (<https://warwick.ac.uk/fac/sci/lifesci/wcc/research/production/nutrition/eurotaten/>). Het EUrotate_N-model werd ontwikkeld aan de Universiteit van Warwick (Rahn et al., 2007) in opdracht van de EU. Het is een gewas- en bodemmodel dat de stikstofcyclus in de bodem simuleert, met name voor de inschatting van de nitraatuitspoeling in functie van de bemestingspraktijk, de aard en de rotatie van gewassen. De software is vrij beschikbaar (stand-alone of webbased), maar niet de broncode.

Het is een complex model, maar het werd in meerdere studies succesvol gebruikt om de uitspoeling van nitraat naar het grondwater op perceelsniveau te simuleren (Doltra & Munoz 2009, Landmax en Bodemkundige Dienst 2023). De input van het model zijn bemestingsdruk, gewasrotatie, bodemtype, etc... Voor de recharge gebruikt Walraevens & De Neve (2021) de Wetspass kaart.



4.4.2 STONE

In Nederland wordt de modelketen STONE gebruikt om een beeld te krijgen van de uitspoeling van nutriënten naar het grondwater en het oppervlaktewater en de regionale effecten van het mestbeleid in te schatten (STOWA) . Op basis van gedetailleerde informatie over de emissies uit landbouw produceert de modelketen ruimtelijke en temporele patronen voor nitraatconcentraties naar het grondwater. Voor de vochtinhouding in de onverzadigde zone wordt gebruikgemaakt van het model SWAP (Soil Water Atmosphere Plant)⁴. Het model ANIMO berekent de organische stof- en nutriëntenkringlopen (Renaud et al., 2005). STONE is gebiedsdekkend specifiek voor Nederland ontwikkeld en niet zonder meer inzetbaar in een andere regio.

4.4.3 HYDRUS

HYDRUS is een generiek numeriek model dat de waterstroming, warmtetransport en transport van opgeloste stoffen in een variabel verzadigde en onverzadigde bodem simuleert (Simunek et al., 2006). Het is ontwikkeld en onderhouden door de Tsjechische Academie van Wetenschappen. De software is vrij toegankelijk, maar niet de broncode.

HYDRUS modelleert de plantengroei en de opname van water door planten in de bodem in het continuüm bodem-plant-atmosfeer. Het model simuleert ook biogeochemische reacties (bv. nutriëntencyclus) en microbiële activiteit in de bodem. HYDRUS is zeer geschikt om de grondwateraanvulling te simuleren en de uitspoeling van nutriënten naar het grondwatersysteem.

4.5 VOORBEELDEN IN VLAANDEREN EN NEDERLAND

4.5.1 Eenvoudige rekentool (Aggenbach)

Aggenbach et al. (2020) modelleerden het geochemisch buffervermogen van de Nederlandse ondergrond (dat ervoor zorgt dat verontreinigingen zoals nitraat en een hoge zuurlast door natuurlijke reacties worden tegengehouden/ afgebroken). Om de uitloging te kwantificeren, maakten ze gebruik van een eenvoudig model waarin de uitloogsnelheid op basis van combinaties van belasting met stoffen in het intrekgebied, geohydrologische situatie en de geochemische samenstelling van het watervoerende pakket wordt bepaald. Deze rekentool berekent voor een aantal stoffen de concentraties van het grondwater dat de kwelzone bereikt. Dit gebeurt in een aantal stappen:

1. Op basis van metingen of een schatting op basis van landgebruik, bodemtype, en locatie worden **stofconcentraties van het uitspoelingswater** in het infiltratiegebied ingeschat.
2. Op basis van landschapspositie van het beekdalsysteem en van de hydrogeologische situatie wordt de **transporttijd van het grondwater** tussen bovenste grondwater en kwelzone bepaald.
3. De ondergrond wordt gemodelleerd als een drietal lagen en voor elke laag kan de gebruiker gehalten van pyriet, organisch materiaal en kationenuitwisselingscapaciteit opgeven. Daarmee wordt de **buffercapaciteit van de ondergrond** bepaald.

⁴ Website SWAP <https://www.swap.alterra.nl/> (Wageningen University and Research)

4.5.2 Nitraatbronnen

Walraevens et al. (2021) onderzocht de verspreiding van nitraten via het grondwater op 10 verschillende locaties. De klemtoon van de studie ligt op de vraag in welke mate het nitraat uit het grondwater bijdraagt aan de hoge concentraties nitraten in de metingen van het oppervlaktewater.

In de studie wordt gekozen voor een benadering die vrij snel toepasbaar is, beperkte rekentijd vraagt en met een beperkte hoeveelheid gegevens toelaat de nitraatconcentraties in het grondwater te benaderen om zo de sites met hoge nitraatinstroom via grondwater aan te duiden.

Om de uitspoeling van nitraat van de onverzadigde zone naar het freatische pakket te berekenen wordt het model EUrotate_N (Rahn et al., 2007) gebruikt. Op drie sites werd een grondwaterstromingsmodel (MODFLOW) in combinatie met MODPATH gebruikt om stroombanen te berekenen en zo de mediaanwaarde van de verblijftijd te bepalen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen stroombanen die hoofdzakelijk in de oxidatiezone blijven en stroombanen die door de reductiezone gaan.

Inzicht in de stroombanen en de diepte van de reductiezone is cruciaal. Gebieden met een dikke geoxideerde zone zijn gevoeliger voor nitraatinputs uit landbouw via het grondwater. De grens tussen oxidatiezone en reductiezone wordt bepaald door de hydrogeologische opbouw, de doorlatendheid van de afzettingen en het gehalte aan reactief materiaal in de sedimenten (Walraevens et al., 2021). De hydrogeologische zoneringskaart (HHZ) wordt hiervoor als richtinggevend instrument gebruikt alsook metingen van grondwaterstalen.

4.5.3 Hydrologische systeemanalyse - Visbeek/Kindernouwbeek

Verbeiren et al. (2005) maken voor de hydrologische systeemanalyse van de Visbeek/Kindernouwbeek gebruik van een combinatie van een 3D grondwaterstromingsmodel met MODFLOW en berekenen met MODPATH de stroombanen. Om schematisch inzicht te krijgen over de nutriëntentransport werd langs een welgekozen stroombaan met metingen van enkele peilbuizen een 2D profielstromingsmodel uitgewerkt. Het 2D profielstromingsmodel heeft dezelfde hydrogeologische opbouw als het 3D model, maar met een veel fijner modelgrid (kleinere modelcellen). Op basis van dit 2D profielstromingsmodel werden met het transportmodel MT3D simulaties gedaan voor het transport van nutriënten. De simulaties zijn beperkt tot advectie, dispersie, afbraak en adsorptie van nutriënten.

Door een doorsnede te kiezen langs stroombanen waarvoor meerdere peilmetingen en chemische analyses beschikbaar zijn, krijgt men inzicht in de processen die langs deze stroombanen optreden. Uit de modellering bleek dat, rekening houdend met de grote onzekerheden, het nutriëntentransport naar het natuurgebied zeer beperkt bleef, ook bij de verschillende scenario's voor de vernatting.

4.6 CONCLUSIES

Het transport van nutriënten in het grondwater is complex vanwege de verschillende chemische reacties (redoxreacties) die daarbij optreden. Er zijn grote onbekenden i.v.m. de uitspoeling van nutriënten uit de bodem, de reactiekinetiek, de concentraties in het grondwater en de karakteristieken van het materiaal van de aquifer. Metingen en analyses van grondwater en stalen van het aquifer materiaal zijn essentieel maar duur.



De modelinstrumenten om nutriëntentransport in het grondwater te simuleren gaan van eenvoudige empirische benaderingen tot complexe procesmodellen. De meest complexe modellen koppelen de verzadigde en onverzadigde zone en simuleren het geheel aan stoftransportprocessen in de bodem en het grondwater. Deze complete procesbenaderingen zijn echter technisch heel complex en bevatten veel onbekenden. Om deze in te schatten zijn een goed inzicht in het systeem en veel metingen voor kalibratie en validatie vereist. Dergelijk modelopzet is het voorwerp van onderzoeksstudies op beperkte schaal. Globaal genomen worden proces-gebaseerde modelbenaderingen beleidsmatig nog maar beperkt ingezet (Alam & Dutta, 2021).

Het is echter mogelijk een hiërarchische aanpak te volgen: eerst inzicht verwerven met een eenvoudige benadering en in functie van de resultaten met een meer complexe benadering de modellering te verfijnen. Belangrijk is dat voldoende metingen worden verricht die toelaten de hypothese over het functioneren van het systeem (zowel de grondwaterstroming als chemische processen) te toetsen. Een complex model zonder de nodige veldmetingen om de processen te staven heeft geen zin.

1) MODFLOW + MODPATH

De combinatie van een voldoende gedetailleerd grondwaterstromingsmodel (MODFLOW) met een particle tracking berekening (MODPATH) geeft inzicht in de (kwel)fluxen en stroombanen. Dit levert een kijk op de range van verblijftijden van het grondwater en welke watervoerende lagen hierbij worden gepasseerd. In combinatie met een kartering van de grens tussen de oxidatie- en reductiezone laat dit toe om louter op basis van advectief stoftransport o.a. een inschatting te maken van de denitrificatie in het grondwater. De studie van Walraevens et al. (2021) gebruikt in drie sites succesvol deze methode om de nitraatconcentraties bij het uitreden van het grondwater te simuleren.

2) MODFLOW + MT3D

Veel studies m.b.t. het transport van nutriënten in grondwater maken gebruik van een grondwaterstromingsmodel (bv. MODFLOW) in combinatie met een stoftransportmodel (bv. MT3D). Dit laat toe om hydrodynamische dispersie, adsorptie/desorptie en chemische reacties (omzetting) langs de stroombanen te modelleren. MT3D kan het transport van meerdere nutriënten modelleren en bevat een module voor het transport van nitraat in grondwater. In plaats van een volledige 3D modellering met MT3D kan eerst een 2D profiel evenwijdig aan de stromingsrichting worden geselecteerd zodat het MT3D model in 2D in dit profiel toegepast kan worden. Verbeiren et al. (2007) gebruikt deze aanpak voor de hydrologische systeemanalyse van een valleisysteem.

3) MODFLOW + MT3D + PHREEQC

De redoxreacties (o.a. met organisch materiaal en pyriet) zetten op hun beurt een cascade aan chemische reacties in gang (Zhang et al., 2009; Aggenbach et al., 2020). Op termijn kan door uitloging ook het zuurbufferend vermogen van een aquifer veranderen. PHREEQC (Pakhurst & Appelo, 1999) kan deze chemische processen simuleren. Het is geen ruimtelijk model. Er zijn weinig of geen voorbeelden van studies waar op stroomgebiedsniveau deze processen ruimtelijk met een numerieke modellering worden gesimuleerd. Er is ook geen kant en klaar instrument voor beschikbaar.

Er zijn wel verschillende studies waar modellen aan elkaar worden gekoppeld of waar modules worden ontwikkeld om bv. PHREEQC te integreren in een module voor MT3D (Response



project, Leterme et al., 2021). Het gaat steeds over onderzoeksprojecten waar de techniciteit van de modelopzet deel is van het project.

Deze hoge complexiteit betekent dat er ook veel inputparameters zijn, o.a. de reactiekinetiek, massabalans, aanvoer nutriënten en sulfaat, concentraties in het grondwater, samenstelling van de aquifer, enz.... Om de waarden voor deze parameters goed in te schatten en het model te kunnen kalibreren en valideren is een uitgebreide meetcampagne op het terrein vereist. Een dergelijke studie dient hoe dan ook als een onderzoeksproject aangepakt te worden waarbij zowel de modeltechnische als de meetcampagne samen gaan.

Met het oog op een open science praktijk (maximaal reproduceerbaar en vrij beschikbaar) bevelen we aan om modelpakketten te gebruiken die vrij ter beschikking zijn en waarvan ook de broncode publiek beschikbaar is. De modellersoftware die de USGS ontwikkelt volgt traditioneel deze visie. De open source aanpak heeft als groot voordeel dat ze wereldwijd opgepikt wordt en er een grote internationale gebruikersgemeenschap ontstaat. Met name voor de softwarepakketten van de MODFLOW familie is dit het geval. Er wordt software ontwikkeld die de verschillende modelpakketten koppelt. Er zijn gebruikersinterfaces beschikbaar die reproduceerbare modelleerpraktijk faciliteren (o.a. door scripting in python). Bij de keuze van de modelsoftware is het belangrijk rekening te houden met de toegankelijkheid (kostprijs), ondersteuning (of de software nog verder wordt ontwikkeld), of er een actieve gebruikersgemeenschap is en of de software toelaat ze in een eigen procesflow te integreren (scripting).



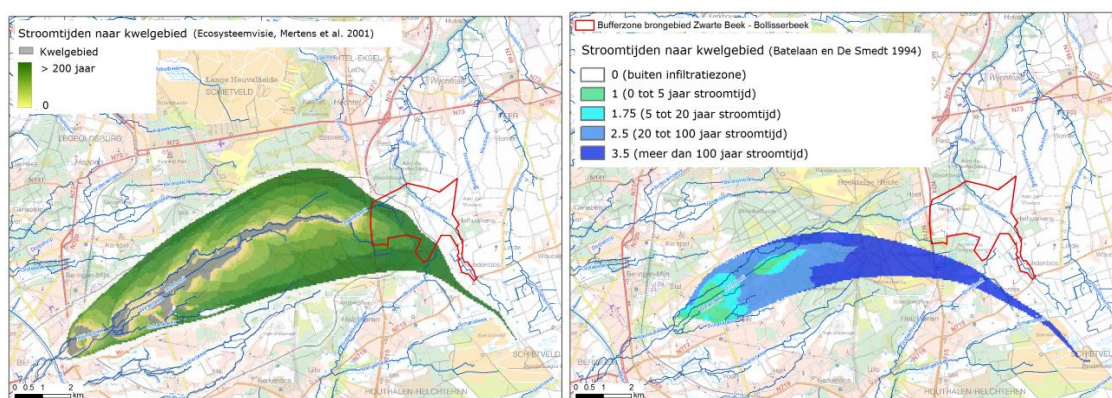
5 VALLEI VAN DE ZWARTE BEEK EN VAN DE BOLISSERBEEK

5.1 GEOHYDROLOGISCHE CONTEXT

De vallei van de Zwarte Beek en van de Bolisserbeek, worden van nature (zonder menselijke inmenging) voorzien van **nutriëntenarm en matig mineraalarm grondwater**. Dat komt doordat de watervoerende lagen hier bestaan uit de zanden van de formatie van Diest (in het zuidelijk deel; HCOV-code 0252) met daarbovenop de zanden van Kasterlee (in het noordelijk deel; HCOV-code 0234). Beide zijn zeer nutriëntenarm, eerder mineraalarm maar sterk ijzerrijk. Bovendien is de formatie van Diest/Kasterlee een belangrijke watervoerende laag met een hoge hydraulische geleidbaarheid, waardoor er een aanzienlijke grondwaterstroming optreedt. Die elementen samen hebben als hydrologische consequentie dat grondwater in dit gebied van nature eerder mineraalarm is. Het is pas na langdurig contact met de zanden van Diest/Kasterlee, dat het grondwater iets mineraalrijker wordt (in dit geval voornamelijk ijzerrijker; Denis 1992). Men mag er in ieder geval van uitgaan dat in natuurlijke omstandigheden in deze systemen bijzonder lage concentraties aan nutriënten (zoals wateroplosbaar fosfaat, nitraat, ammonium) voorkomen.

Hydrologisch gezien maken de bovenloop van de Bolisserbeek en het brongebied van de Zwarte Beek deel uit van het **grondwaterinfiltratiegebied** (Van Daele *et al.* 2001, Packet *et al.* 2010, De Becker *et al.* 2011, Batelaan *et al.* 2012). Ook al zijn er in het brongebied plaatselijk zones die voor een groot gedeelte van het jaar nat zijn, het grondwater heeft vooral een neerwaartse stroomrichting. Ook beekwater kan in deze zone ten dele infiltreren. Bijgevolg is er naast horizontale afstroming via de beek ook infiltratie van een (aanzienlijk) deel van het grond- en beekwater, dat verder stroomafwaarts in de vallei terug aan de oppervlakte komt onder de vorm van kwel. Er bestaat dus een risico dat in de kwelzone de stroomopwaarts geïnfiltreerde nutriënten samen met het kwelwater gaan uittreden.

Voor de valleien van de Zwarte Beek en de Dommel werden in het verleden mathematische grondwatermodellen ontwikkeld (zie o.a. Batelaan en De Smedt 1994, Batelaan *et al.* 2012).



Figuur 13 Grondwaterstroomgebied gemodelleerd voor de volledige vallei van de Zwarte beek (groen, Van Daele in Mertens & Meire 2001) en een kleiner deelgebied (blauw, De Smedt en Batelaan 1996).

Met die modellen is er een beeld verkregen van de **stroomrichting van het grondwater**. Voor de Zwarte Beek loopt die stroomrichting vanuit het zuidoosten via een haakse bocht naar het westzuidwesten (figuur 13).

Voor de vallei van de Bolisserbeek werd tot op heden, voor zover ons bekend, geen grondwatermodel gemaakt. Echter, omdat dit gebied zich in éénzelfde geohydrologische setting bevindt en geprangd ligt tussen de valleien van de Dommel en de Zwarte Beek kan ervan uitgegaan worden dat de stroombanen hier tussen deze van de beide naburige beken in liggen, en dus vanuit het zuiden in noordelijke (noordnoordwestelijke) richting stromen.

5.2 GRONDWATERKWALITEIT

5.2.1 Gebruikte gegevensbronnen

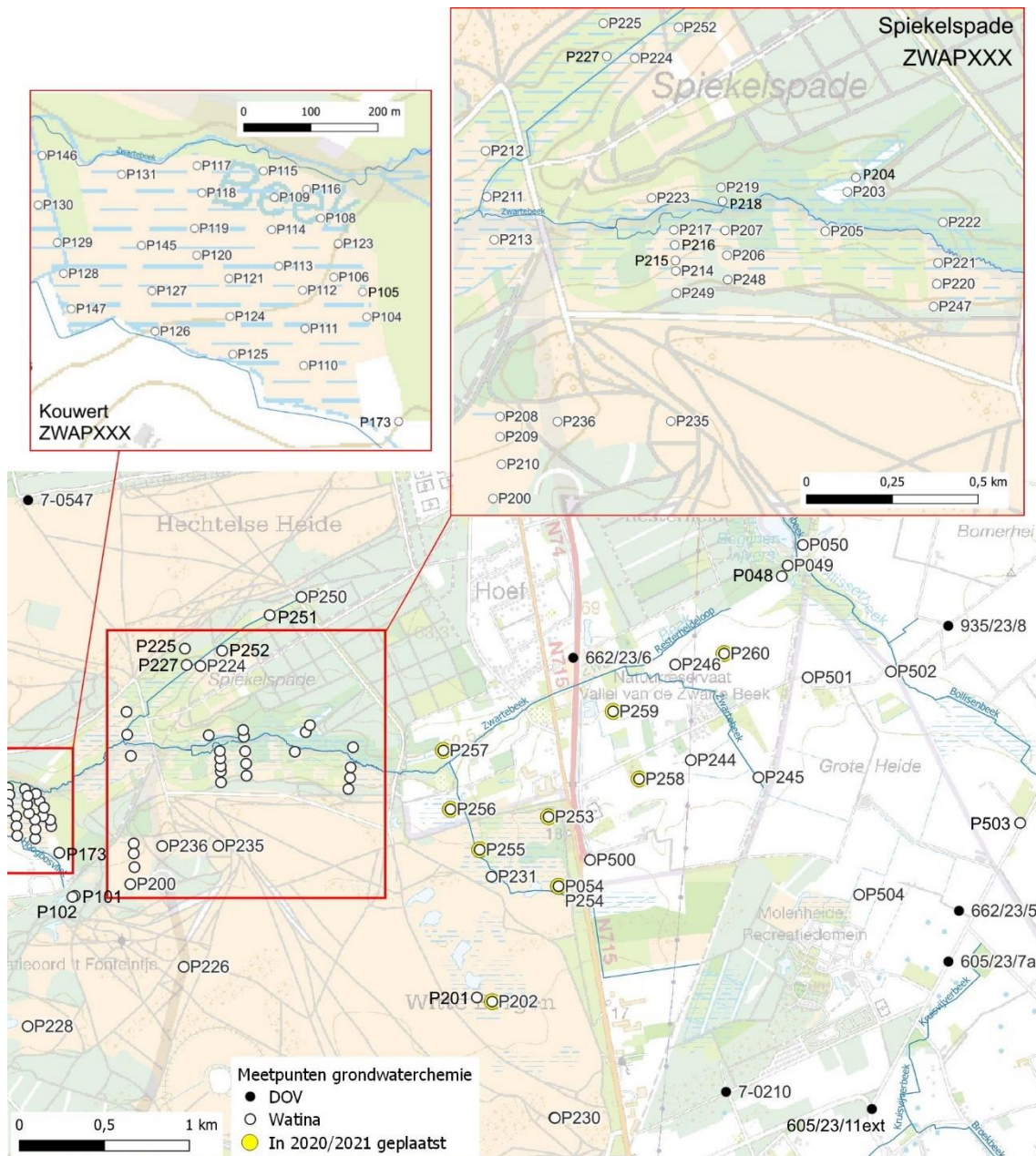
Rekening houdend met de gekende richtingen van grondwaterstroming (figuur 13) werden er voor de beoordeling van de grondwaterkwaliteit verschillende meetpunten geselecteerd uit de **Databank Ondergrond Vlaanderen** (DOV) (<https://dov.vlaanderen.be/themas/grondwater>). Voor de meeste meetlocaties van DOV zijn er per meetpunt drie piëzometers⁵ voorzien, elk met een filter op een andere diepte. Per meetpunt zijn er meestal (2-)maandelijks staalnames en analyses beschikbaar.

Daarnaast werden er ook **meetpunten van WATINA** meegenomen, waaronder de meeste om de 2 tot 5 jaar worden bemonsterd.

Naast de al bestaande meetpunten in de kwelzone werden er in 2020/2021 nog 10 extra ondiepe piëzometers geplaatst om de kwaliteit van het ondiep freatisch grondwater te kunnen opvolgen in de zone tussen het landbouwgebied in het brongebied van de Zwarte Beek en de kwelzone in de vallei van de Zwarte Beek stroomafwaarts. Jammer genoeg kon er geen extra piëzometer in het centrale landbouwgebied geplaatst worden (privé-terreinen). Er zijn dus geen meetpunten ter hoogte van de percelen met de hoogste fosfaatverzadigingsgraad (zie Herr et al. 2015 of Landmax 2023).

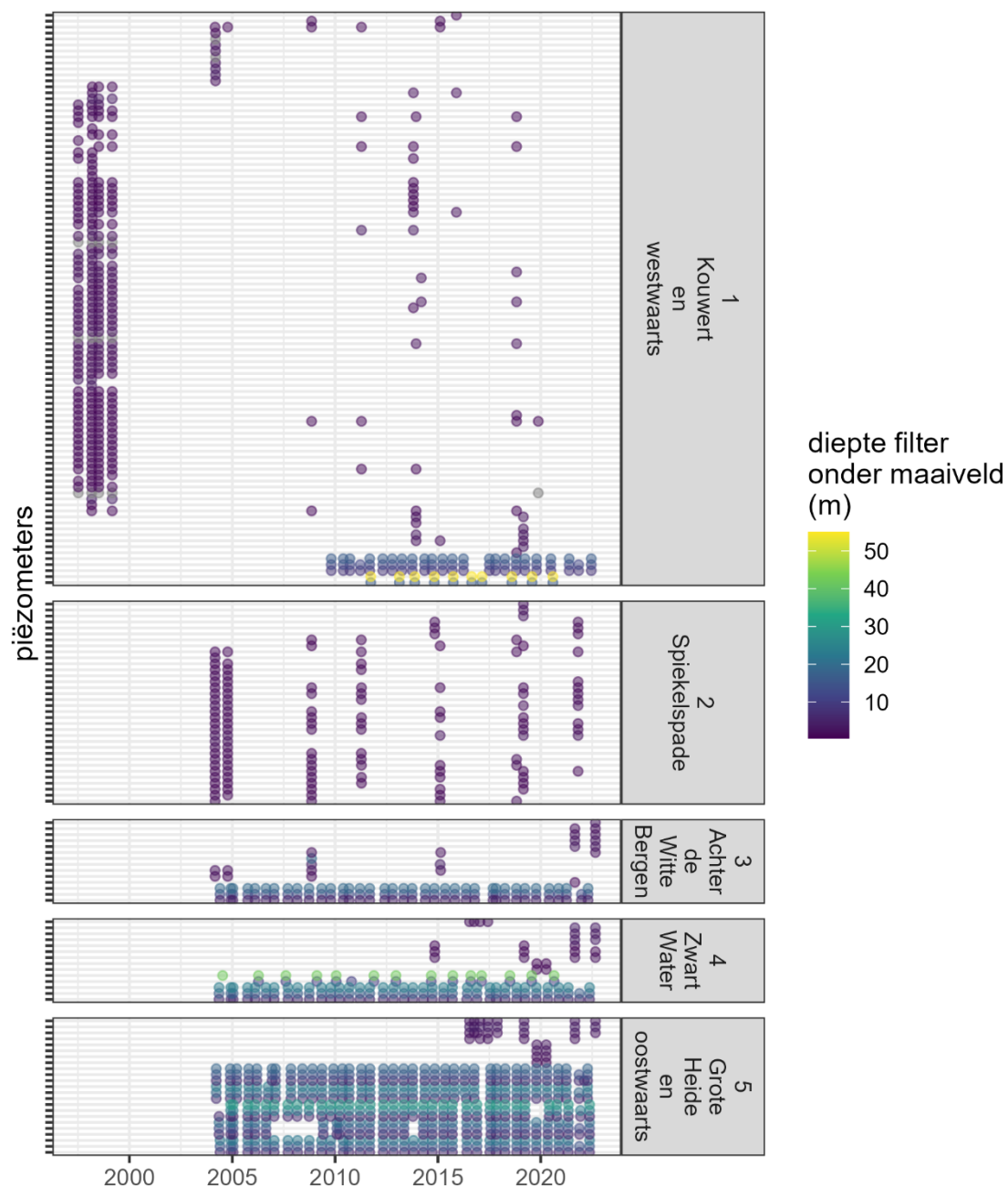
De kaart hieronder geeft een overzicht van de meetlocaties waar analyses van de grondwaterchemie (en meer bepaald van de nutriëntenconcentraties) voorhanden zijn.

⁵ Piëzometers zijn peilbuizen waar ter hoogte van een specifieke diepte perforaties (filter) zijn aangebracht over een beperkte lengte (van 0.5-1m). Het grondwater dat in de buis terecht komt geeft dus de waterkwaliteit weer ter hoogte van deze filter. Het waterpeil in de buis is evenredig met de waterdruk ter hoogte van deze filter.



Figuur 14 Meetlocaties grondwaterkwaliteit. De codes van de Watina-meetpunten werden als volgt afgekort: P000 wordt gebruikt voor ZWAP000.

Niet alle meetlocaties worden even regelmatig bemonsterd voor analyse van de grondwaterchemie. De grafiek hieronder (figuur 15) geeft een overzicht van de beschikbare grondwateranalyses (inclusief bepaling van de nutriëntenconcentraties) sinds midden jaren 1990.



Figuur 15 Beschikbaarheid metingen grondwaterchemie in verschillende zones met aanduiding van de diepte van de onderkant van de filter t.o.v. het maaiveld (hoe lichter/geler, hoe dieper). Elke horizontale lijn staat voor een filter op een bepaalde meetlocatie. De indeling in zones is gebaseerd op de X coördinaten van de meetlocaties en is dus louter indicatief. Gedetailleerde grafieken met de databeschikbaarheid per meetlocatie en filter worden in bijlage 2 weergegeven.

5.2.2 Resultaten sinds 1997

5.2.2.1 Eerste voorlopige bevindingen

De tabel hieronder geeft een heel ruwe eerste indruk van de aanwezigheid van nutriënten en sulfaat in het grondwater van het brongebied en de bovenloop van de Zwarte Beek en Bolisserbeek (alle punten, filters en meetdata samengenomen). De dataset omvat dus zowel locaties in landbouwgebied als in natuurgebied.

De resultaten worden beperkt tot de analyses met een elektroneutraliteitspercentage (EN) in de range [-10 – +10]%, t.t.z. stalen waarvan de som van de ladingen van de kationen en anionen niet te veel afwijkt van nul. Ook stalen met een te hoge EN maar met een hoge verhouding ijzergehalte/elektrisch conductiviteit werden meegenomen in de analyse (dat zijn heel mineraalarme maar ijzerrijke stalen waar een kleine meetfout zich snel kan vertalen in een te hoge EN).

Door deze selectie vallen ongeveer 7 à 8 % van de oorspronkelijke metingen weg. Spijtig genoeg worden sommige meetpunten op deze manier zelfs volledig gediskwalificeerd.

Tabel 26 Samenvattende statistieken van de chemische samenstelling van het grondwater in het brongebied van de Zwarte Beek en omgeving (alle meetpunten, tijdstippen en diepten samen). Periode 1997-2022. N = aantal waarnemingen, gem = gemiddelde, sdev = standaard deviatie, Pxx = x-percentiel. Waarden onder bepaalbaarheidsgrens in het labo worden aangeduid met "<" (nb: de dataset bevat data van VMM en INBO met mogelijks andere bepaalbaarheidsgrenzen. De vermelde waarde is de waarde geldig voor het laboratorium van het INBO en is te beschouwen als louter indicatief). Metingen beperkt tot stalen met elektroneutraliteit < 10 % met een uitzondering voor mineraalarme ijzerrijke stalen.

variabele	N	gem	sdev	min	P05	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max
NH4-N	3007	0,11	0,23	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,05	0,11	0,22	0,35	0,82	5,58
NO2-N	2867	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,02	0,06	1,70
NO3-N	3011	8,45	13,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,45	15,1	29,4	35,5	49,2	69,1
PO4-P	2925	0,04	0,17	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,13	0,49	4,22
SO4	2774	50,97	41,75	0,05	4,00	9,00	22	43	67	92	141	194	306

De belangrijkste eerste bevindingen:

- De concentraties **ammonium** en **nitriet** zijn **veelal niet problematisch**: 95 % van alle analyses voor ammonium en nitriet wijst op lage tot heel lage concentraties en minder dan 1 % van de metingen getuigt van matig tot sterk verhoogde concentraties.
- **Nitraat** vormt daarentegen regelmatig een **knelpunt**: 50 % van de analyses vertoont minstens licht verhoogde concentraties (50e percentiel hoger dan 0,45 mg NO₃-N/l, te vergeleken met de vermoedelijke natuurlijke concentraties van minder dan 0,3 mg NO₃-N/l volgens Bobbink et al. 2013 en met het 90e percentiel van de INBO referentiedataset voor Kempense habitats dat 0,53 mg NO₃-N/l bedraagt). 25 % van de analyses laat zelfs heel sterk verhoogde concentraties zien (75e percentiel > 15,1 mg NO₃-N/l) en 1 % van de metingen loopt op tot extreem hoge concentraties van meer dan 49 mg NO₃-N/l.



- Ook de situatie voor **sulfaat** lijkt tamelijk zorgwekkend: slechts 25 % van de metingen vertoont lage concentraties (in de orde van grootte van de - vermoedelijke - pre-industriële concentraties, 25e percentiel < 22 mg SO₄/l) terwijl 10 % van de metingen op duidelijk verhoogde concentraties wijst (90e percentiel > 92 mg SO₄/l).
- Voor **orthofosfaat** lijkt de situatie op het eerste gezicht beter, ook al niet perfect: 75 % van de analyses vertoont lage concentraties (ongeveer onder de bepaalbaarheidsgrens) en 1 % van de metingen bedraagt meer dan 0,49 mg PO₄-P/l (te beschouwen als duidelijk verhoogde waarden).





5.2.2.2 Hoe brengen we de nutriëntenstromen in beeld?

Om de nutriëntenstromen te begrijpen, moeten we zowel de **concentraties in de ruimte** (x-y-z coördinaten) als in de **tijd** (t) kunnen tonen. Hiervoor gebruiken we 3 typen figuren:

- Tijdreeksen van de concentraties per meetpunt en filter (t, z)
- Kaarten van de minimale-mediane-maximale concentraties per meetpunt en filter (x, y, z)
- Dwarsdoorsneden door het landschap met de minimale-mediane-maximale concentraties per meetpunt en filter (x, y, z)

Daarbij worden de **kleurcodes** uit tabel 27 gebruikt om aan te geven in welke mate er sprake is van verhoogde concentraties vergeleken met de natuurlijke toestand.

Tabel 27 Kleurcodes per variabele met een voorstel van interpretatie per categorie (louter indicatief). Alle waarden in mg/l. Om de waarden gemakkelijk te kunnen toetsen aan de huidige wettelijke normen werd de huidige milieukwaliteitsnorm uit Vlarem steeds genomen als grens tussen 2 categorieën (waarden aangeduid in het paars).

Kleur	Concentratie	PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	SO ₄
	niet/nauwelijks verhoogd	0 - 0,1	0 - 0,388	0 - 0,03	0 - 0,5	0 - 27
	licht verhoogd	0,1 - 0,437	0,388 - 1	0,03 - 0,1	0,5 - 1,5	27 - 90
	matig verhoogd	0,437 - 1	1 - 4	0,1 - 0,5	1,5 - 11,3	90 - 250
	sterk verhoogd	> 1	> 4	> 0,5	> 11,3	> 250

De grenzen tussen deze indicatieve categorieën zijn als volgt bepaald:

- Bovengrens van de categorie 'niet/nauwelijks verhoogd': voorgestelde ecologische bovengrenswaarde uit tabel 25, wat overeenkomt met het 90e percentiel van de gemeten concentraties in de referentiedataset van INBO (hoofdstuk 3.3.2, alle habitattypen samengenomen en waarden afgerond).
- Bovengrens van de categorie 'licht verhoogd': 3 à 4 maal de bovengrens van de categorie 'niet/nauwelijks verhoogd' (waarden bijgestuurd volgens expertbeoordeling),
- Bovengrens van de categorie 'matig verhoogd': 10 maal de bovengrens van de categorie 'niet/nauwelijks verhoogd' (waarden afgerond),
- Uitzonderingen:
 - Waar mogelijk gebruiken we de huidige milieukwaliteitsnormen voor grondwater als grenzen tussen categorieën. Ook al hebben ze geen



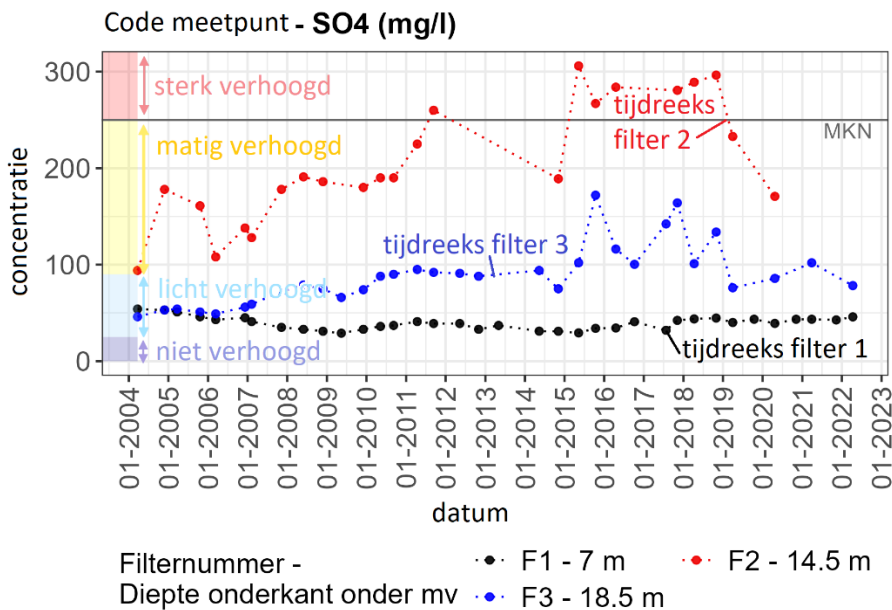
ecologische betekenis, het leek ons handig om in een opslag te kunnen zien hoe de gemeten waarden zich verhouden tot de actueel geldende normen.

- Voor sulfaat bleek het 90e percentiel van de INBO dataset veel hoger te zijn dan wat in de literatuur elders in Europa werd vastgesteld (zie 3.5.5). Voor de bovengrens van de categorie 'niet/nauwelijks verhoogd gebruiken we dus een lagere waarde geïnspireerd door het literatuuronderzoek, nl. 27 mg SO₄/l (3.4.1.5).

5.2.2.3 Tijdreeksen van de concentraties per meetpunt en filter

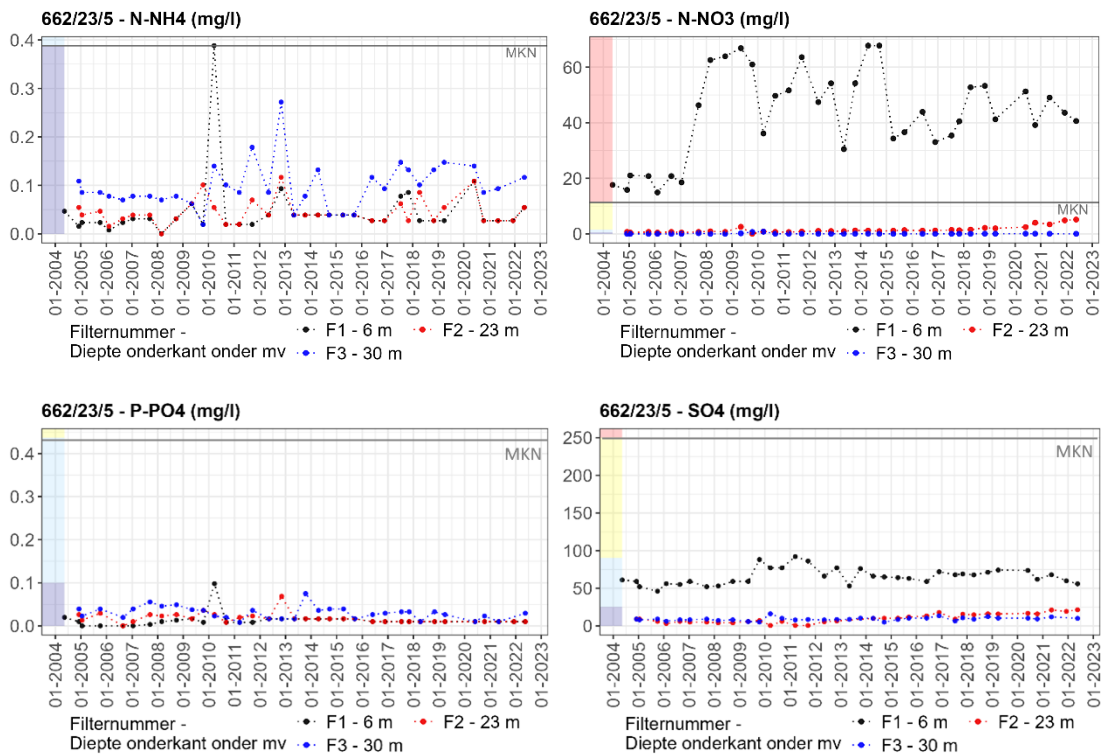
Bijlage 3 (digitale bijlage) bevat alle grafieken van de tijdreeksen van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter (diepte).

De figuur hieronder geeft aan hoe zulke grafieken geïnterpreteerd kunnen worden.



Figuur 16 Fictief voorbeeld van een tijdreeks van de concentraties sulfaat met uitleg. Interpretatie: in oktober 2015 is er een staalname gebeurd: ter hoogte van filter 1 (op 7 m diepte, tijdreeks in het zwart) bedroeg de concentratie sulfaat 34 mg/l, te beschouwen als een licht verhoogde concentratie (lichtblauwe zone - tabel 27), ter hoogte van filter 2 (op 14,5 m diepte, tijdreeks in het rood) was de concentratie sterk verhoogd (267 mg/l) en was de actueel geldende milieukwaliteitsnorm = MKN (250 mg/l) overschreden.

Figuur 17 geeft een voorbeeld van zulke tijdreeksen op meetlocatie 662/23/5, een meetpunt gelegen in het landbouwgebied ten oosten van Molenheide (figuur 18) en uitgerust met 3 filters op verschillende diepten.



Figuur 17 Voorbeeld van tijdreeksen: evolutie van de concentratie ammonium, nitraat, orthofosfaat en sulfaat in het grondwater op meetpunt 662/23/5, gelegen in het landbouwgebied ten oosten van Molenheide. Filters op 6 m, 23 m en 30 m onder maaiveld (resp. zwarte, rode en blauwe punten). MKN = milieukwaliteitsnorm voor grondwater volgens VLAREM. Links: indicatieve kleurcode zoals toegelicht in tabel 27, de donkerblauwe zone kan worden beschouwd als het doelbereik (concentraties niet/nauwelijks verhoogd).

Op basis van dit soort grafieken kan de evolutie van de plaatselijke concentraties doorheen de jaren in relatie worden gebracht met externe factoren zoals beheer, bemesting, aanleg van bufferzones, weersomstandigheden, ...

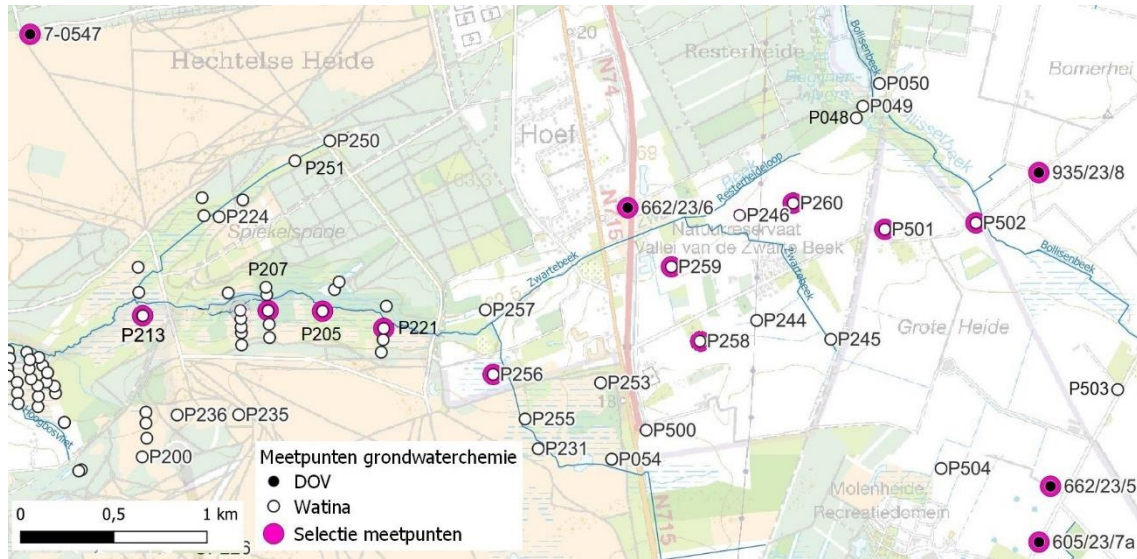
In de rest van dit hoofdstuk gaan we dieper in op een kleine selectie van tijdreeksen voor orthofosfaat, ammonium, nitraat en sulfaat (nitriet wordt achterwege gelaten omdat de concentraties nitriet meestal onder de bepaalbaarheidsgrens van het labo blijven). Figuur 18 toont de ligging van de geselecteerde locaties, gespreid over het landschap en gaande van intensieve akkerbouw naar natuurgebied in het militair domein. Deze meetlocaties worden pas sinds 2004-2005 (of later) opgevolgd.

Waar er voldoende metingen zijn, besteden we aandacht aan de **temporele schommelingen in concentraties**:

- Hoe sterk variëren de concentraties in de tijd⁶?
- Zijn er gelijkaardige temporele variaties in de nutriëntconcentraties op de verschillende meetpunten?

⁶ We bekijken de variabiliteit voor de volledige periode; jammer genoeg is de meetfrequentie op de meeste locaties onvoldoende om de variaties binnen jaren te bespreken.

Voor een gedetailleerde bespreking van de ruimtelijke patronen verwijzen we naar de volgende hoofdstukken die de resultaten op kaarten en dwarsdoorsneden weergeven. Het zal daarbij belangrijk zijn om de temporele schommelingen in het achterhoofd te houden.



Figuur 18 Meetlocaties waarvan de tijdreeks per parameter als voorbeeld wordt getoond in dit rapport. Voor de andere meetpunten verwijzen we naar bijlage 3.

Orthofosfaat

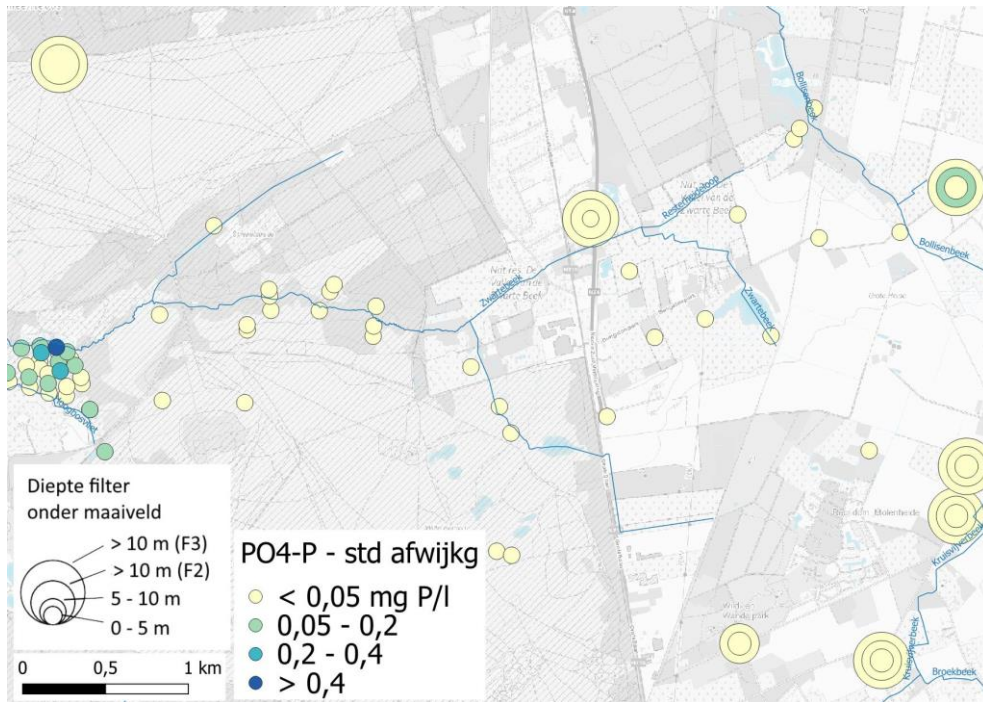
De kaarten hieronder geven een overzicht per meetlocatie van de variabiliteit van de concentraties doorheen de tijd. In figuur 19 tonen we de standaard afwijking per meetlocatie. Figuur 20 geeft aan in welke mate er sprongen zijn in de tijdreeksen tussen de categorieën “concentratie niet verhoogd” - “licht verhoogd” - “matig verhoogd” - “sterk verhoogd”. Figuur 21 toont de tijdreeksen op een selectie van locaties.

De tijdreeksen van de meetpunten in de Kouwert vertonen de grootste schommelingen in orthofosfaatconcentraties. Merk echter op dat de meeste concentratiemetingen in deze zone uit de periode 1997-1999 dateren. Enkele meetpunten in de Kouwert werden recenter bemonsterd en ze vertonen in de laatste jaren vrij stabiele (en lage) concentraties orthofosfaat (op een uitzondering na: ZWAP135 - grafieken van de tijdreeksen : zie digitale bijlage). Ook op meetpunt 935/23/8, gelegen ten noorden van de Bolisserbeek, zijn er af en toe pieken in de orthofosfaatconcentratie geregistreerd. Op de meeste meetpunten in Spiekelspade en van Spiekelspade tot aan de N74 daarentegen, zijn er weinig temporele variaties in concentraties en blijven de concentratie steeds binnen dezelfde concentratie-categorie.

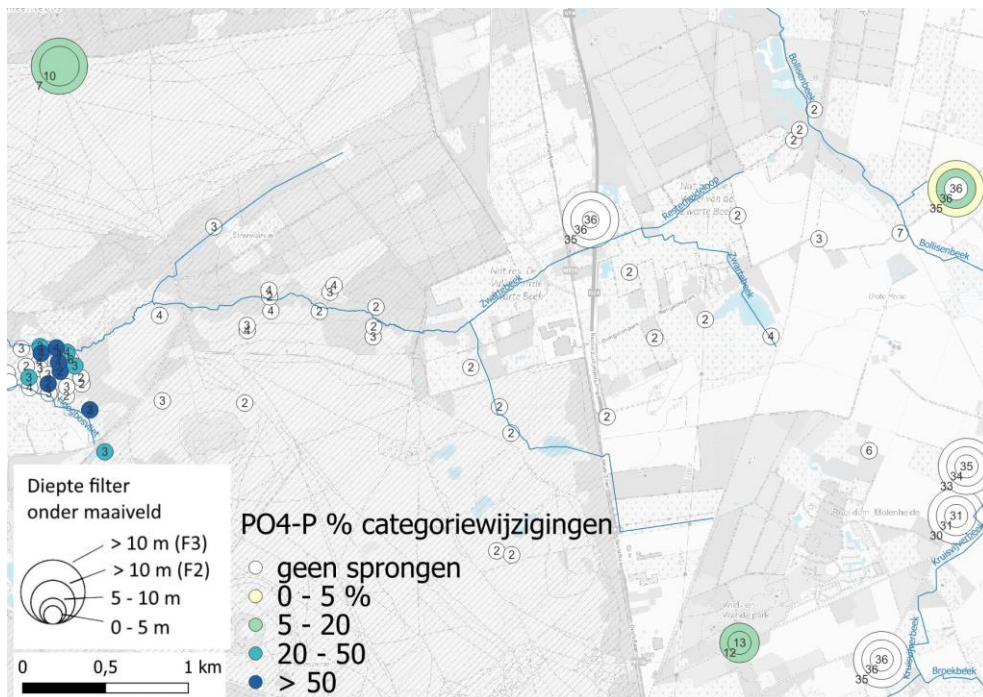
De temporele schommelingen zijn heel variabel tussen meetpunten. Dit kan komen door verschillen in fosforbindend vermogen van de bodem/ondergrond op de verschillende locaties en door verschillen in de blootstelling aan fosforbronnen (bemesting, stortplaatsen, afvalwater). De mate waarin de fosforkringloop met de ijzer- en zwavelkringloop interageert kan ook variëren per meetpunt, afhankelijk van de plaatselijke waterhuishouding en van de minerale samenstelling van de bodem/ondergrond.

Uit de metingen blijkt daarnaast dat het niet altijd de ondiepste filters zijn die de sterkste variaties in concentratie registreren.

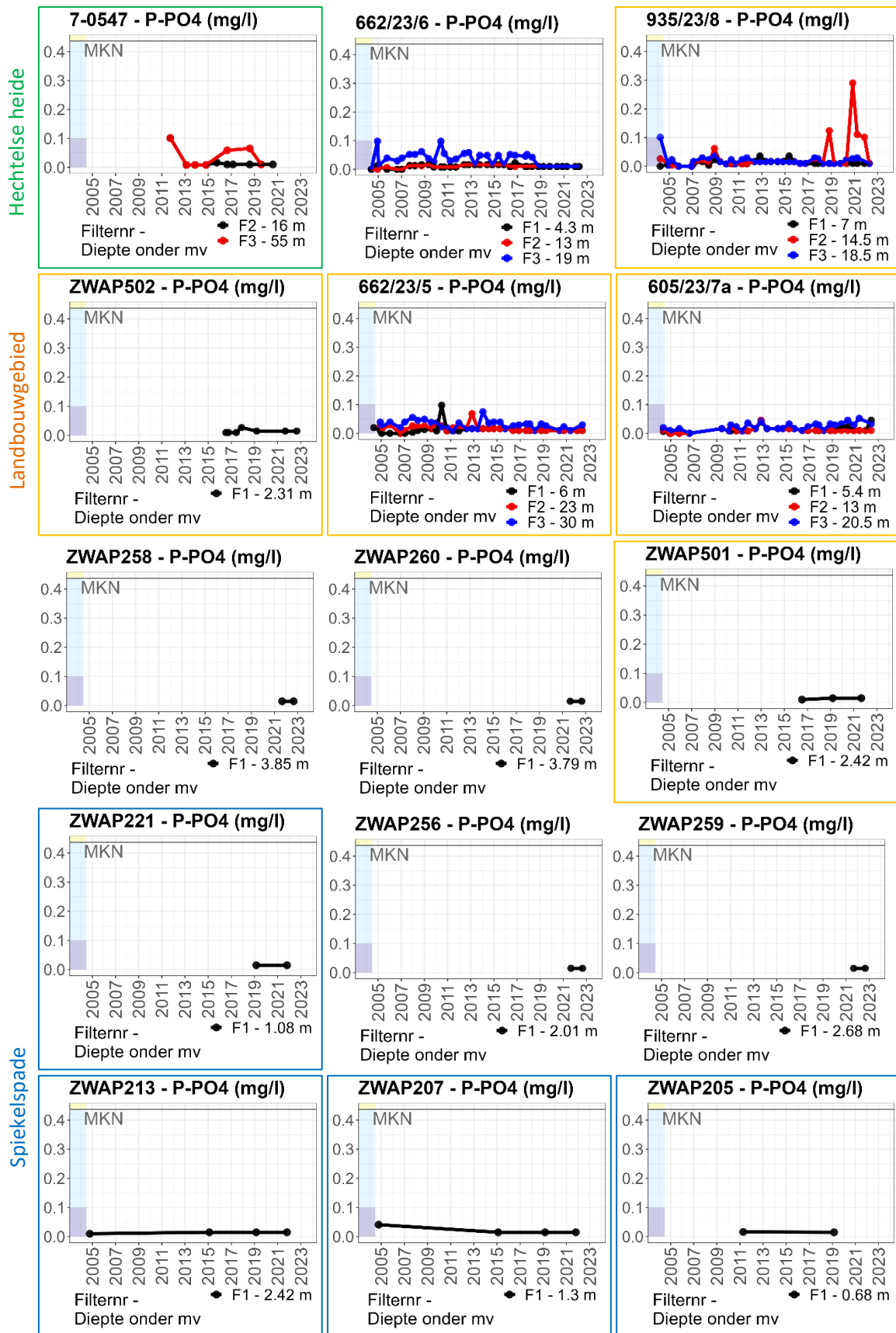




Figuur 19 Variabiliteit van de concentraties orthofosfaat in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie t.t.z. voor een combinatie meetpunt + filter (spreiding van de concentraties rondom de gemiddelde concentratie per meetlocatie).



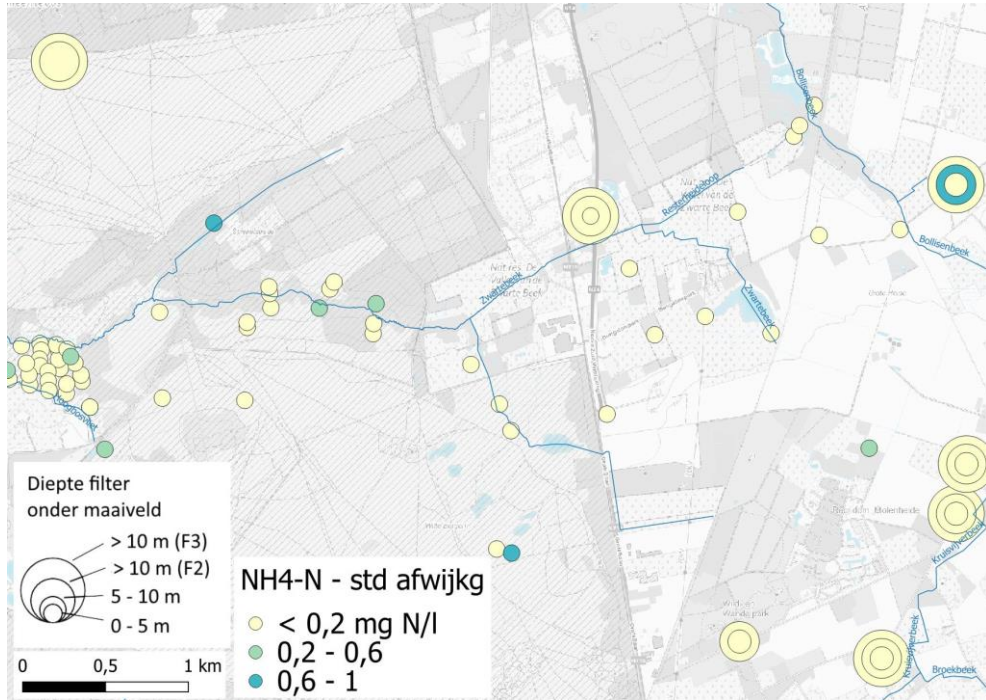
Figuur 20 Frequentie (%) van 'sprongen' in de tijdreeksen tussen de categorieën "concentratie orthofosfaat niet verhoogd" - "licht verhoogd" - "matig verhoogd" - "sterk verhoogd" (tabel 27). Berekend als: aantal categoriewijzigingen/(aantal analyses-1). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.



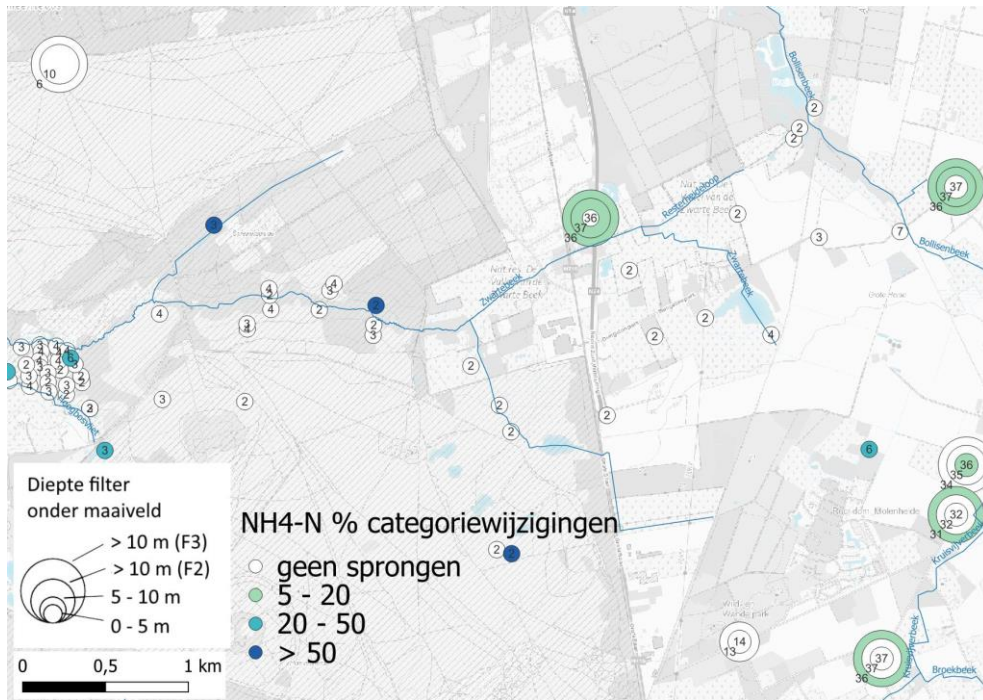
Figuur 21 Evolutie van de concentratie orthofosfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.

Ammonium

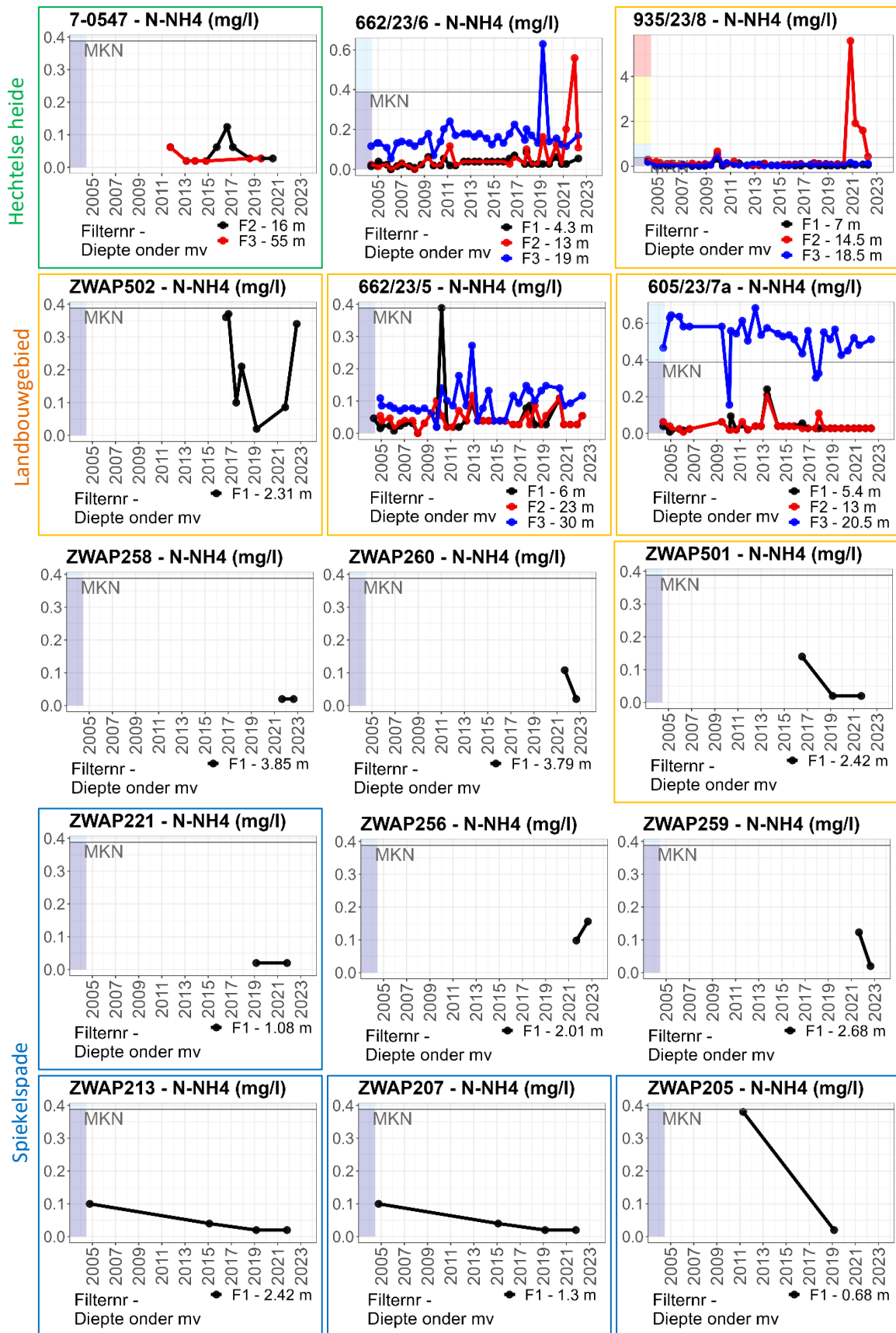
Ook voor ammonium verschillen de temporele schommelingen heel erg afhankelijk van het beschouwde meetpunt en filter. Zowel in landbouwgebied als in natuurgebied zijn er locaties met grotere temporele variaties in ammoniumconcentraties, zoals bijv. 935/23/8 (ten noorden van de Bolisserbeek), ZWAP227 (beboste zone ten noorden van Spiekelspade), ZWAP202 (vochtige heide achter de Witte Bergen) ... Daartegenover zijn er veel meetpunten met consistente lage concentraties ammonium.



Figuur 22 Variabiliteit van de concentraties ammonium-stikstof in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).



Figuur 23 Frequentie (%) van ‘sprongen’ in de tijdreeksen tussen de categorieën “concentratie ammonium niet verhoogd” - “licht verhoogd” - “matig verhoogd” - “sterk verhoogd” (tabel 27). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.

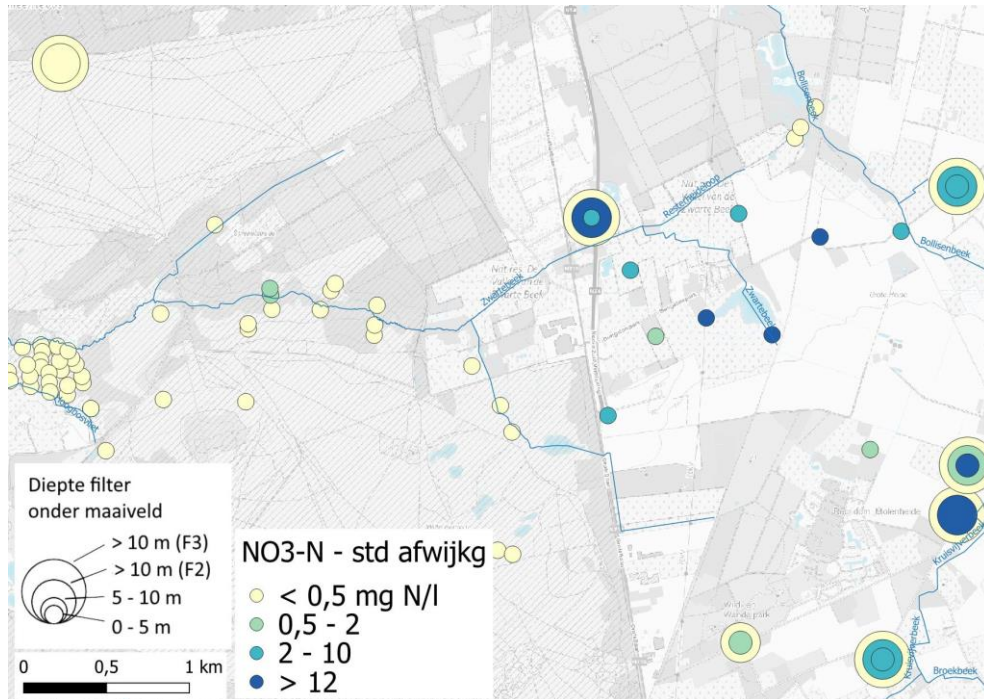


Figuur 24 Evolutie van de concentratie ammonium in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.

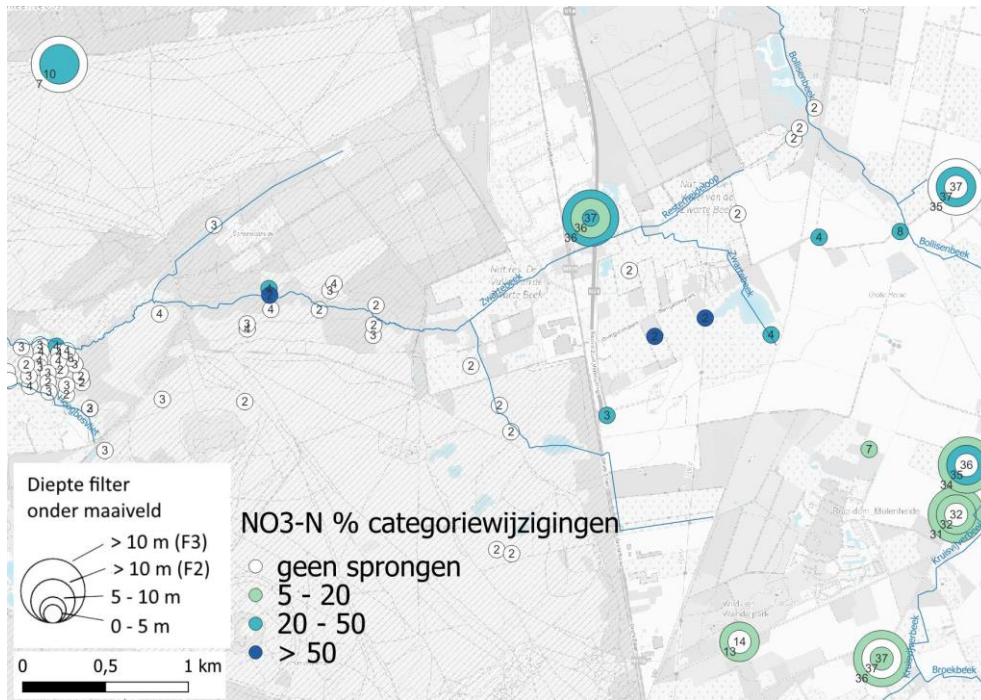
Nitraat

De concentraties nitraat in Spiekelspade blijven consistent laag, terwijl ze in het landbouwgebied en in de tussenzone hoger zijn en veel meer variëren in de tijd.

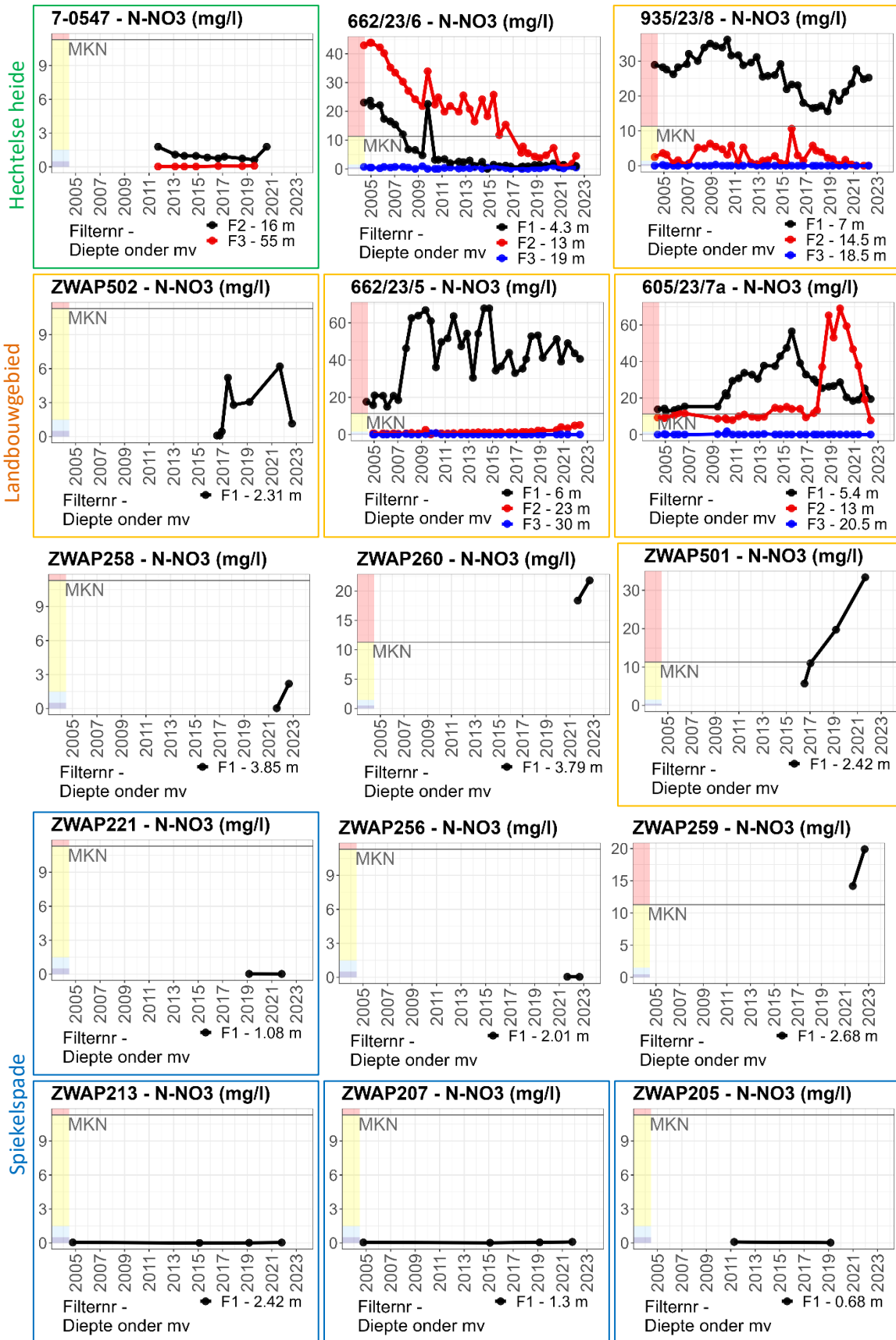
Zoals voor orthofosfaat en ammonium is het opvallend dat de temporele schommelingen heel variabel tussen punten zijn: zelfs meetlocaties gelegen dicht bij elkaar (bijv. 662/23/5 en 605/23/7a) kunnen totaal andere temporele patronen vertonen.



Figuur 25 Variabiliteit van de concentraties nitraat-stikstof in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).



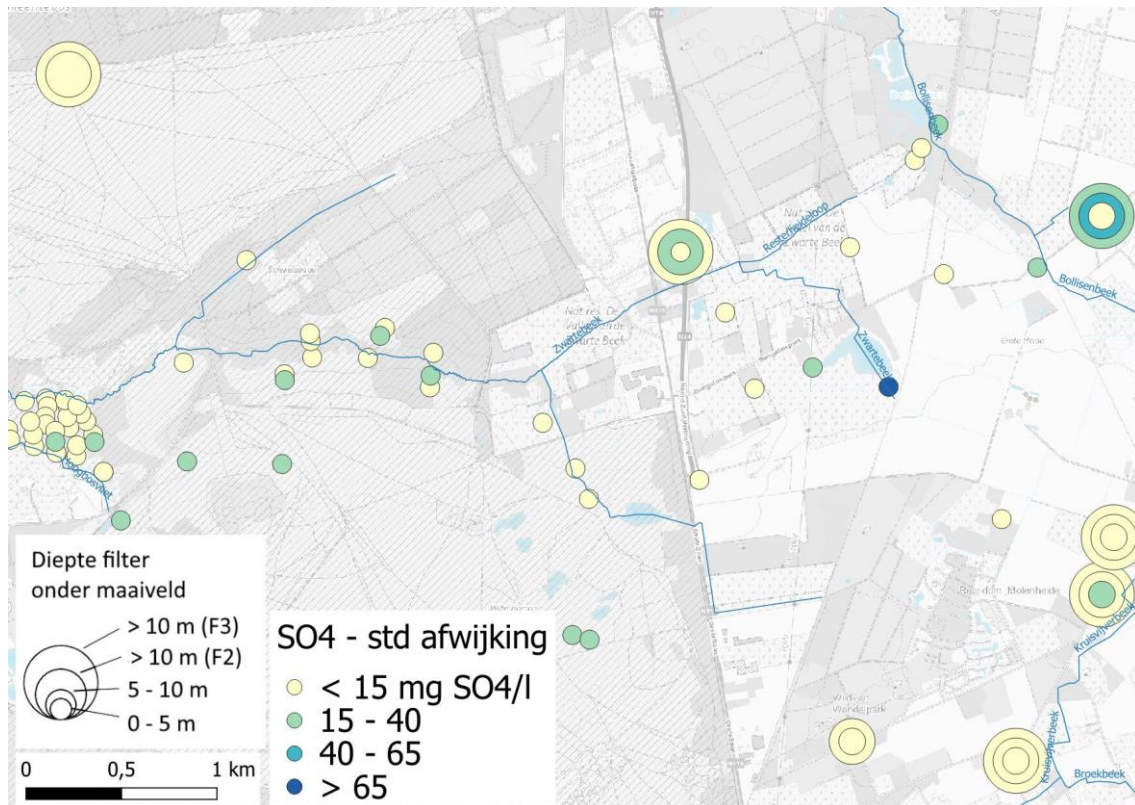
Figuur 26 Frequentie (%) van ‘sprongen’ in de tijdreeksen tussen de categorieën “concentratie nitraat niet verhoogd” - “licht verhoogd” - “matig verhoogd” - “sterk verhoogd” (tabel 27). Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.



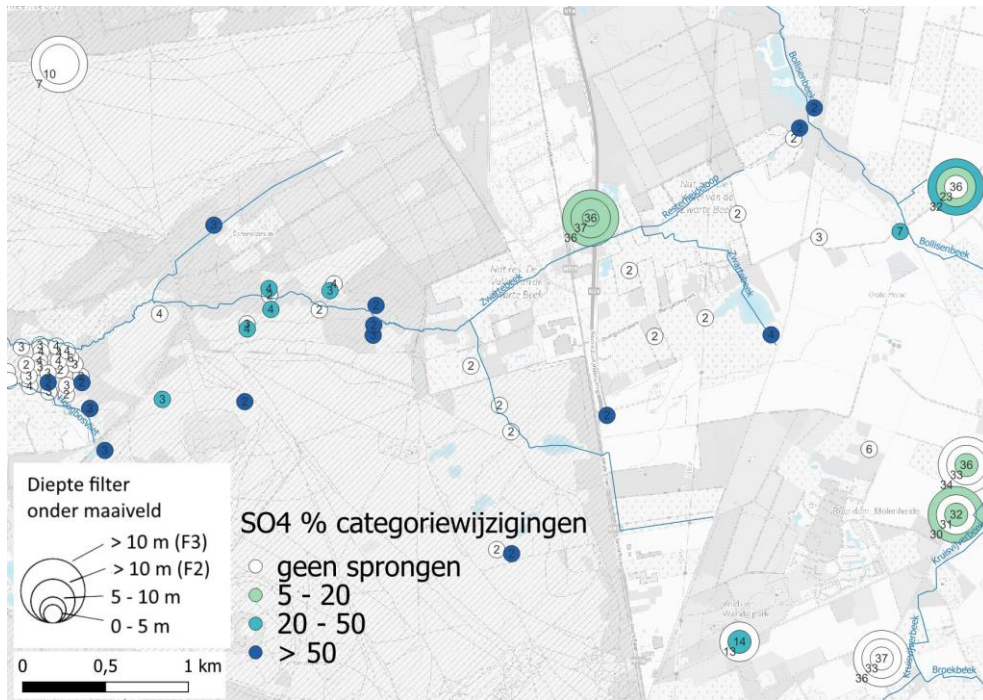
Figuur 27 Evolutie van de concentratie nitraat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.

Sulfaat

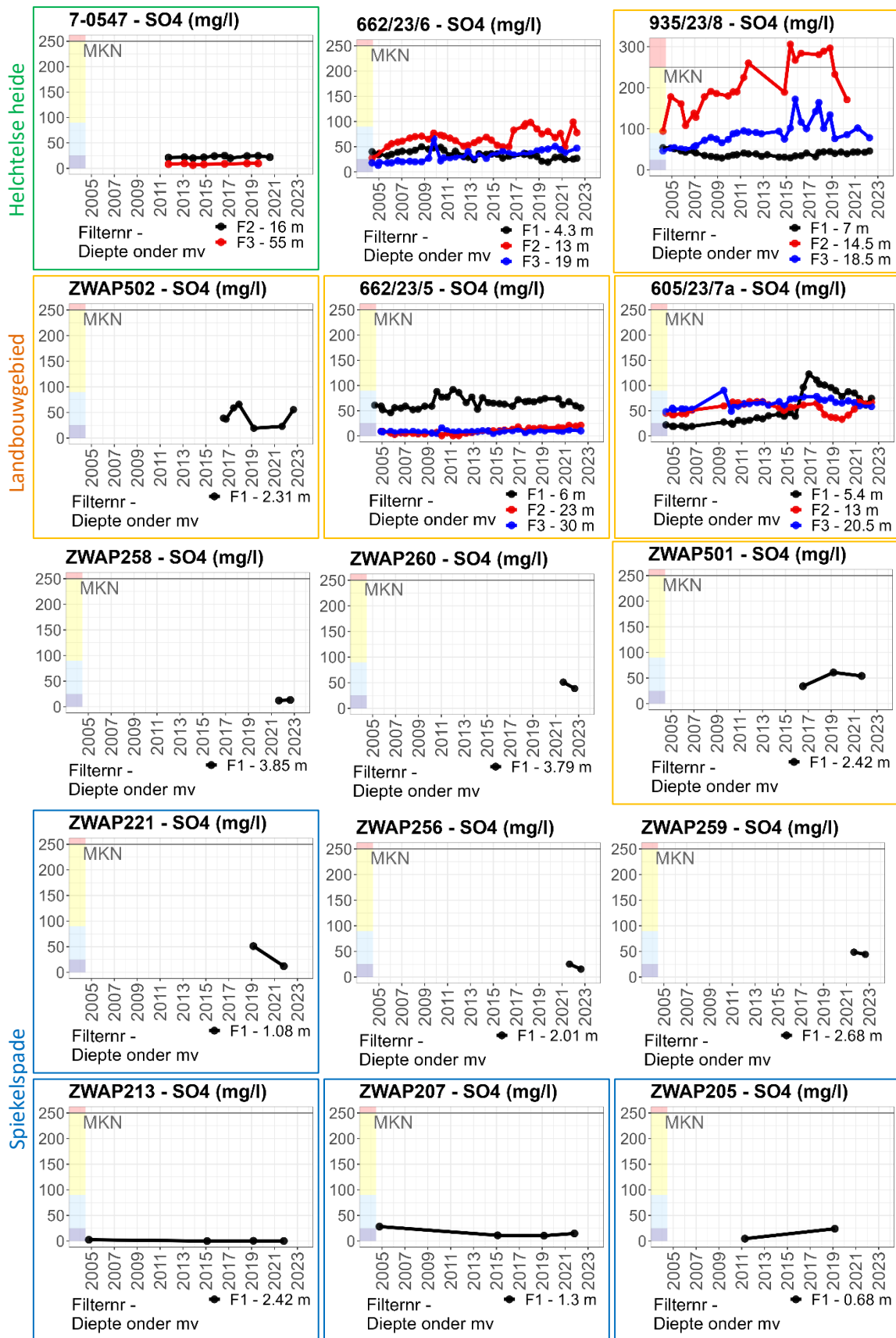
Zowel in landbouwgebied als in natuurgebied zijn er locaties met grotere temporele variaties in sulfaatconcentraties. In Spiekelspade en in de zone tussen Spiekelspade en het landbouwgebied vertonen sommige meetlocaties concentratiesprongen tussen de categorieën “niet verhoogde concentratie” en “licht verhoogde concentratie” (maar merk op dat het hoge percentage categoriewijzigingen in deze zone deels verklaard kan worden door het lage aantal metingen). In de tijdreeksen in het landbouwgebied zijn er plaatselijk ook concentratiesprongen naar de matige verhoogde en sterk verhoogde concentraties. Het verschil in concentraties tussen filters is niet consistent tussen meetpunten: op sommige locaties is de concentratie het hoogst in de toplaag maar op andere zijn de diepere lagen rijker aan sulfaat dan de ondiepe ondergrond. Verhoogde concentraties worden plaatselijk tot 20 m diepte gemeten.



Figuur 28 Variabiliteit van de concentraties sulfaat in de tijd: standaard afwijking per meetlocatie (meetpunt + filter).



Figuur 29 Frequentie (%) van 'sprongen' in de tijdreeksen tussen de categorieën "concentratie sulfaat niet verhoogd" - "licht verhoogd" - "matig verhoogd" - "sterk verhoogd" (tabel 27).
 Betekenis 100%: bij elke nieuwe analyse verandert de concentratie van categorie. De labels tonen het aantal metingen per meetlocatie.



Figuur 30 Evolutie van de concentratie sulfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022 voor een selectie van meetpunten.

Als we de beschikbare analyseresultaten willen samenvatten en op kaarten/dwarsdoorsneden door het landschap weergeven, moeten we volgende punten in het achterhoofd houden:

- de **concentraties** ammonium, nitraat en sulfaat kunnen aanzienlijk **variëren in de tijd**. Voor nitraat is het met name het geval voor de meetpunten in het landbouwgebied (Grote Heide en omgeving) terwijl de concentraties veel stabiel blijven bij de meetpunten binnen het militair domein (meetpunt 7-0547 ten noorden van de Hechtelse heide en Spiekelspade). De concentraties orthofosfaat zijn veelal stabiel dan die van ammonium, nitraat en sulfaat, maar schommelen op sommige meetlocaties toch merkbaar.
- de **evolutie van de concentraties in de tijd** is sterk **variabel**: de eventuele trend verschilt tussen meetpunten, filters (diepte) en variabelen.

Om rekening te houden met de variaties van de concentraties in de tijd hebben we dus zowel de minimale, mediane als de maximale concentraties berekend voor de periode 1997-2022.

5.2.2.4 Kaarten van de concentraties per meetpunt en filter

De reeks kaarten hieronder geeft een overzicht per nutriënt van de minimale, mediane en maximale concentraties gemeten in de periode 1997-2022. Let op: afhankelijk van de meetlocatie is de waarde gebaseerd op een verschillend aantal metingen (meestal zijn er meer herhalingen voor de punten van DOV, te herkennen op de kaart als locaties met filters op meerdere diepten). De grootte van de bol op kaart geeft een indicatie van de diepte: hoe dieper de filter, hoe groter de bol.

De donkerblauwe bollen staan voor concentraties die binnen de verwachte range voor een Kempisch landschap vallen, de andere kleurcategorieën zijn louter indicatief (zie tabel 27).

We vatten de belangrijkste vaststellingen per variabele samen:

Orthofosfaat

De concentraties orthofosfaat zijn op de meeste meetlocaties laag (< 0,1 mg P/l). Verhoogde concentraties worden echter plaatselijk gemeten, en dit zowel binnen het landbouwgebied als in het natuurgebied stroomafwaarts. De heel hoge fosfaatverzadigingsgraad gemeten in de bodem van verschillende percelen in het landbouwgebied (Herr et al. 2015) vertaalt zich tot nu toe niet tot verhoogde concentraties orthofosfaat in het (ondiepe) grondwater. We hebben jammer genoeg geen piëzometer in de meest fosfaatverzadigde percelen kunnen plaatsen om de eventuele uitloging van fosfor bij de bron te controleren. De verhoogde concentraties orthofosfaat die hier en daar in de Kouwert werden gemeten lijken in ieder geval niet gerelateerd met de hoge fosfaatbeschikbaarheid in de bodem van het landbouwgebied.

Welke alternatieve hypothesen zouden deze hoge orthofosfaatconcentraties in natuurgebieden dan wel kunnen verklaren?

Plaatselijk zouden er lokale bronnen kunnen zijn van verontreiniging: het is geweten dat er in Spiekelspade in het verleden akkers waren en sommige militaire activiteiten kunnen ook leiden tot verhoogde fosforconcentraties (zoals bivakplaatsen en tijdelijke latrines). Het is echter opvallend dat veel meetpunten met verhoogde concentraties in het centrale gedeelte van de vallei liggen, op plaatsen die bijna jaarrond waterverzadigd zijn en waar er geen landbouwkundige/militaire activiteiten plaatsvinden. Deze hypothese volstaat dus waarschijnlijk niet om alle waarnemingen te verklaren.



Een alternatief spoor zou de interactie van de fosforcyclus met de cycli van zwavel en ijzer kunnen zijn. In veengebieden kan aanvoer van sulfaat voor versnelde mineralisatie en dus vrijkomen van nutriënten zorgen en/of voor verdringing van de aan ijzer gebonden fosfaten (zie 2.4). Gezien de verhoogde concentraties sulfaat die een beetje overal in het gebied werden vastgesteld, en dit ook in het zuiden van de Kouwert (figuur 35), is het aannemelijk dat deze fenomenen ook in dit gebied een rol kan spelen.

Ammonium

Op de meeste meetpunten blijft de concentratie ammonium laag, onder de milieukwaliteitsnorm voor grondwater ($0,388 \text{ mg NH}_4^+\text{-N/l} = 0,5 \text{ mg NH}_4\text{/l}$). Dat zijn concentraties die ook overeenkomen met de verwachte waarden onder natuurlijke omstandigheden.

Verhoogde concentraties komen op verschillende meetlocaties voor, zowel in het militair domein als in het landbouwgebied. In de kwelzones van Spiekelspade en van de Kouwert zijn er enkele locaties waar licht (tot matig) verhoogde concentraties minstens één keer werden vastgesteld. En in het landbouwgebied werden plaatselijk licht tot sterk verhoogde concentraties ammonium gemeten, maar ook niet op alle meetpunten. De hoogste concentraties zijn niet altijd in de ondiepste laag te vinden, misschien omdat ammonium dicht bij het maaiveld gemakkelijker kan worden opgenomen door organismen of worden omgezet in nitraat dan in de diepere, zuurstofloze, ondergrond. Mineralisatie van sedimentair organisch materiaal (fossiele organische lagen van het Diestiaan) zou ook hogere concentraties van ammonium in de diepere ondergrond kunnen verklaren.

Nitriet

Ook de concentraties nitriet blijven op de meeste locaties heel laag, meestal zelfs onder de bepaalbaarheidsgrens van het labo. Dit is in lijn met wat we verwachten onder natuurlijke omstandigheden.

De meeste locaties met verhoogde concentraties nitriet bevinden zich ten oosten van de grote baan. In het militair domein is er slechts één meetlocatie met (sterk) verhoogde concentratie nitriet, in het valleitje ten zuiden van de Helchtelse Heide (meetpunt ZWAP252). Het gaat om een éénmalige wateranalyse (2019) waarbij verhoogde concentraties nitriet en nitraat werden vastgesteld, in dit geval waarschijnlijk het gevolg van een lokale bron van organische vervuiling.

Nitraat

De concentraties nitraat vertonen een heel ander patroon: er zijn veel meetlocaties met verhoogde en soms heel sterk verhoogde concentraties. De hoogste waarden worden gemeten in het landbouwgebied en in de zone rond het bungalowpark. Op vele plaatsen in het landbouwgebied blijven de concentraties nitraat consistent hoog: ook de minimale waarden gemeten in de toplaag tussen 1997 en 2022 zijn ver boven de gewenste range voor grondwaterafhankelijke habitats. Zoals al bij de analyse van de tijdreeksen gezien, blijven enkel de diepere lagen (18-30 m onder maaiveld) gespaard. Waarschijnlijk wordt nitraat in de diepe ondergrond gereduceerd, er zijn daar sterke aanwijzingen voor (zie Eppinger en Walraevens 2003). We bespreken deze mogelijkheid verder in hoofdstuk 5.2.4.

In de kwelzones van Spiekelspade en van de Kouwert blijven de concentraties nitraat meestal laag, maar worden er op verschillende meetlocaties toch verhoogde waarden geregistreerd.



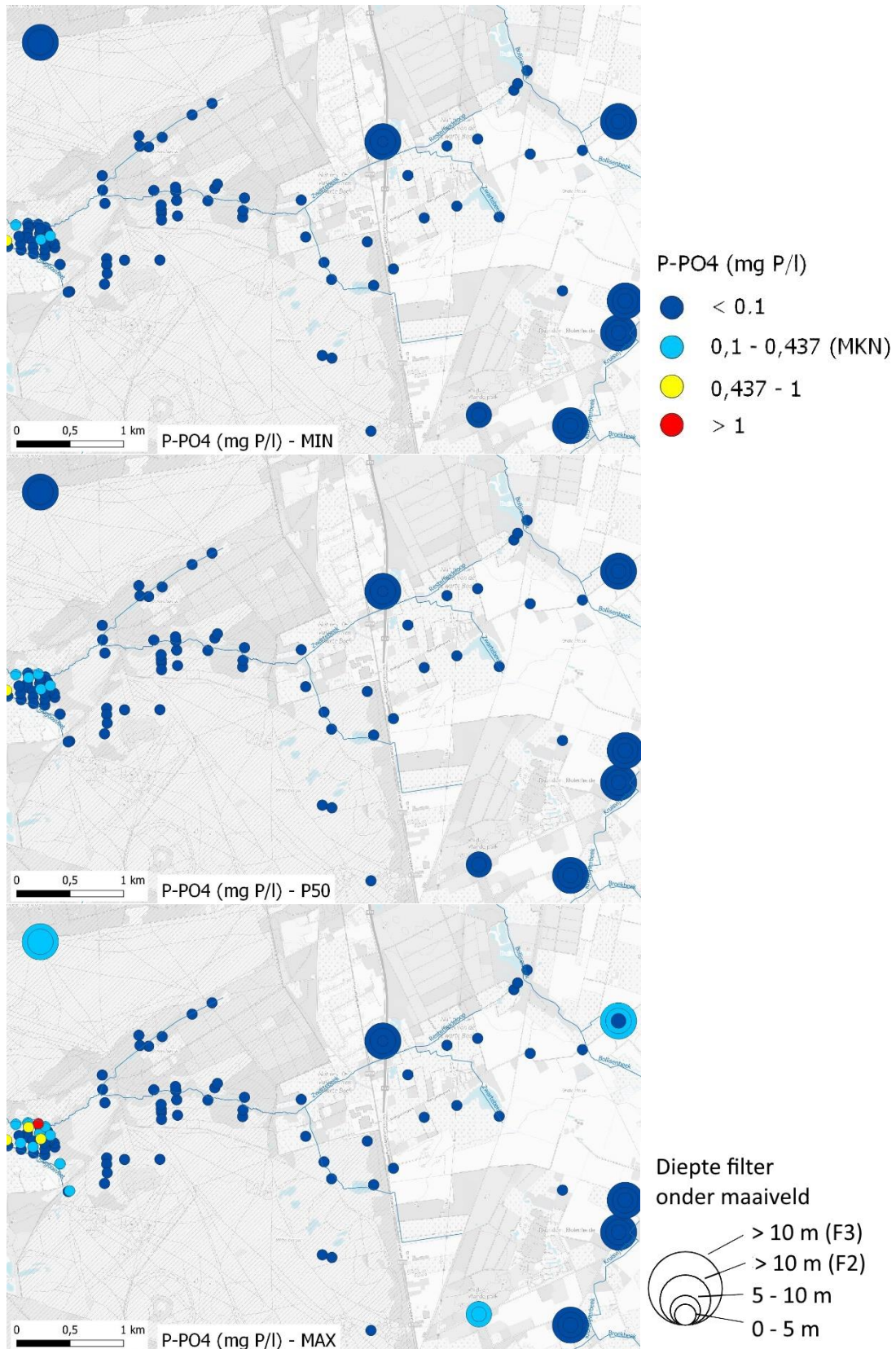
Stikstofdepositie via de lucht zou een rol kunnen spelen in sommige delen van de vallei die bebost zijn of aan de rand van een bos gelegen zijn en waar meer depositie kan optreden dan in een open landschap (bijv. het centrale gedeelte van de vallei in Spiekelspade of DOV meetpunt 7-0547 ten noorden van de Hechtelse Heide). Ook al wordt meer stikstof vanuit de atmosfeer aangevoerd onder de vorm van gereduceerde stikstofverbindingen (NH_x) dan geoxideerde verbindingen (NO_y), het gros van de uitloging van stikstof gebeurt daarna onder de vorm van nitraat (o.a. MacDonald et al. 2002). Stikstofdepositie uit de lucht verklaart echter niet waarom andere meetlocaties in moeras en grasland, open landschappen dus, ook verhoogde concentraties nitraat vertonen.

Daarvoor zal een andere bron een rol moeten spelen, oftewel lokaal (bv. oude akkers in Spiekelspade), oftewel op een grotere schaal door bijvoorbeeld toestromend grondwater.

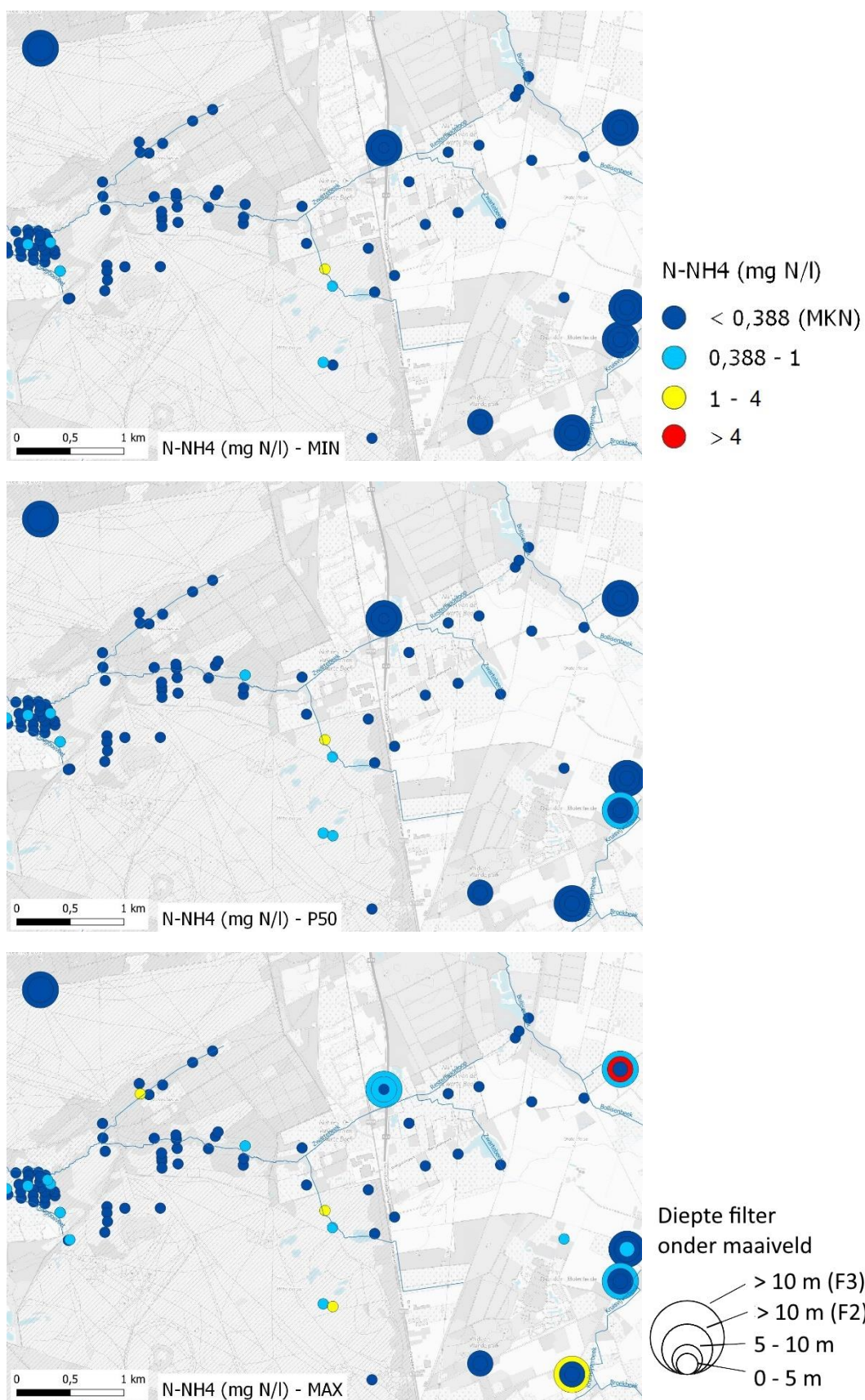
Uit deze kaart blijkt in ieder geval dat er een overduidelijk gradiënt is tussen het landbouwgebied en het Bungalowpark in het westen waar de concentraties extreem hoog kunnen zijn en het militair domein (natuurgebied) waar de concentraties laag zijn anderzijds. In hoofdstuk 5.2.2.5 gaan we dieper in op de relatie tussen het nitraatrijke brongebied en de vallei a.d.h.v. virtuele dwarsdoorsneden door het landschap.

Sulfaat

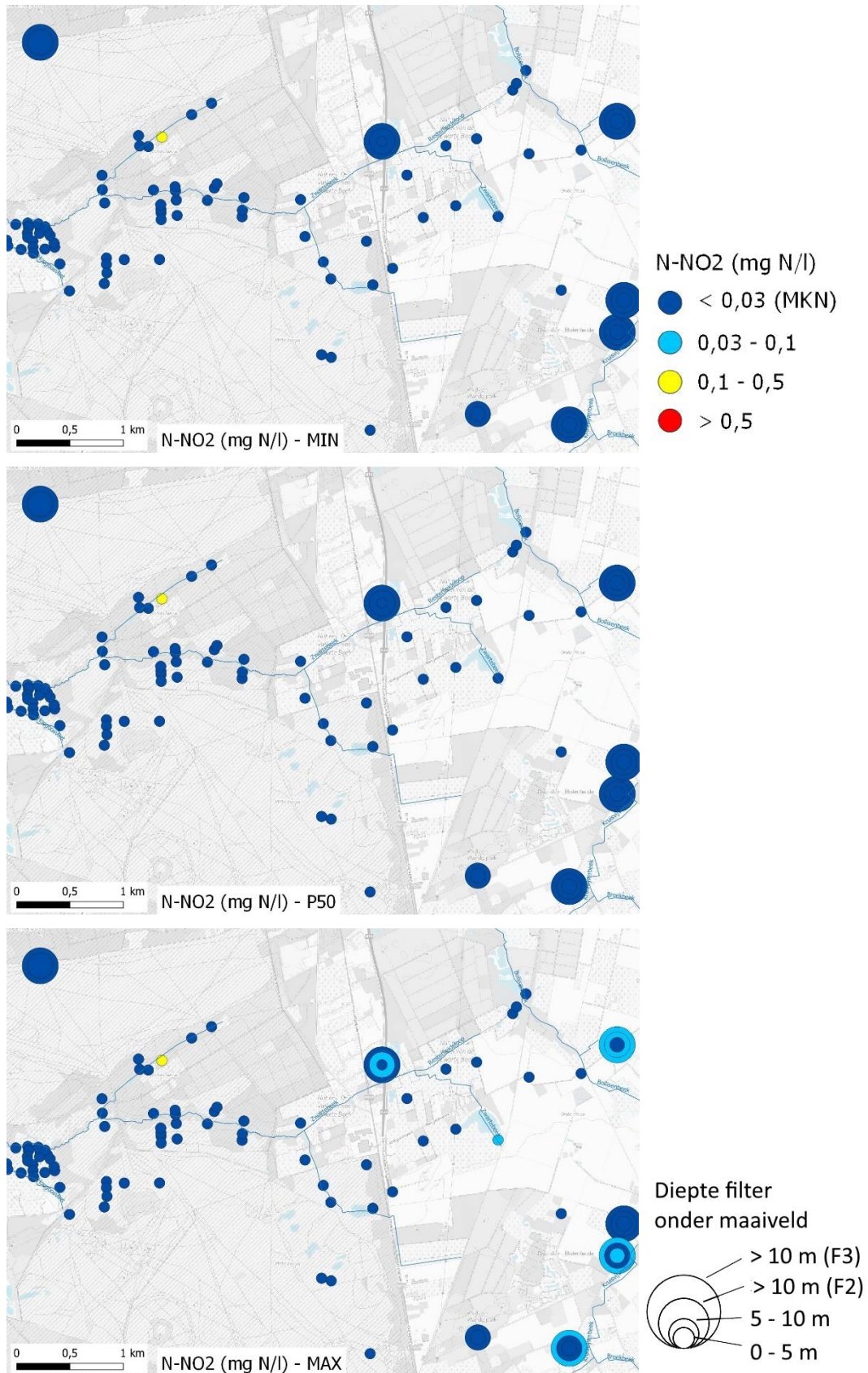
De concentraties sulfaat zijn op veel locaties hoger dan wat verwacht wordt onder natuurlijke (pre-industriële) omstandigheden. Opvallend is dat dit zowel binnen landbouwgebied als binnen natuurgebied geldt. De hoogste concentraties sulfaat worden – in tegenstelling tot die van nitraat - niet systematisch opgetekend in de ondiepste lagen van de ondergrond.



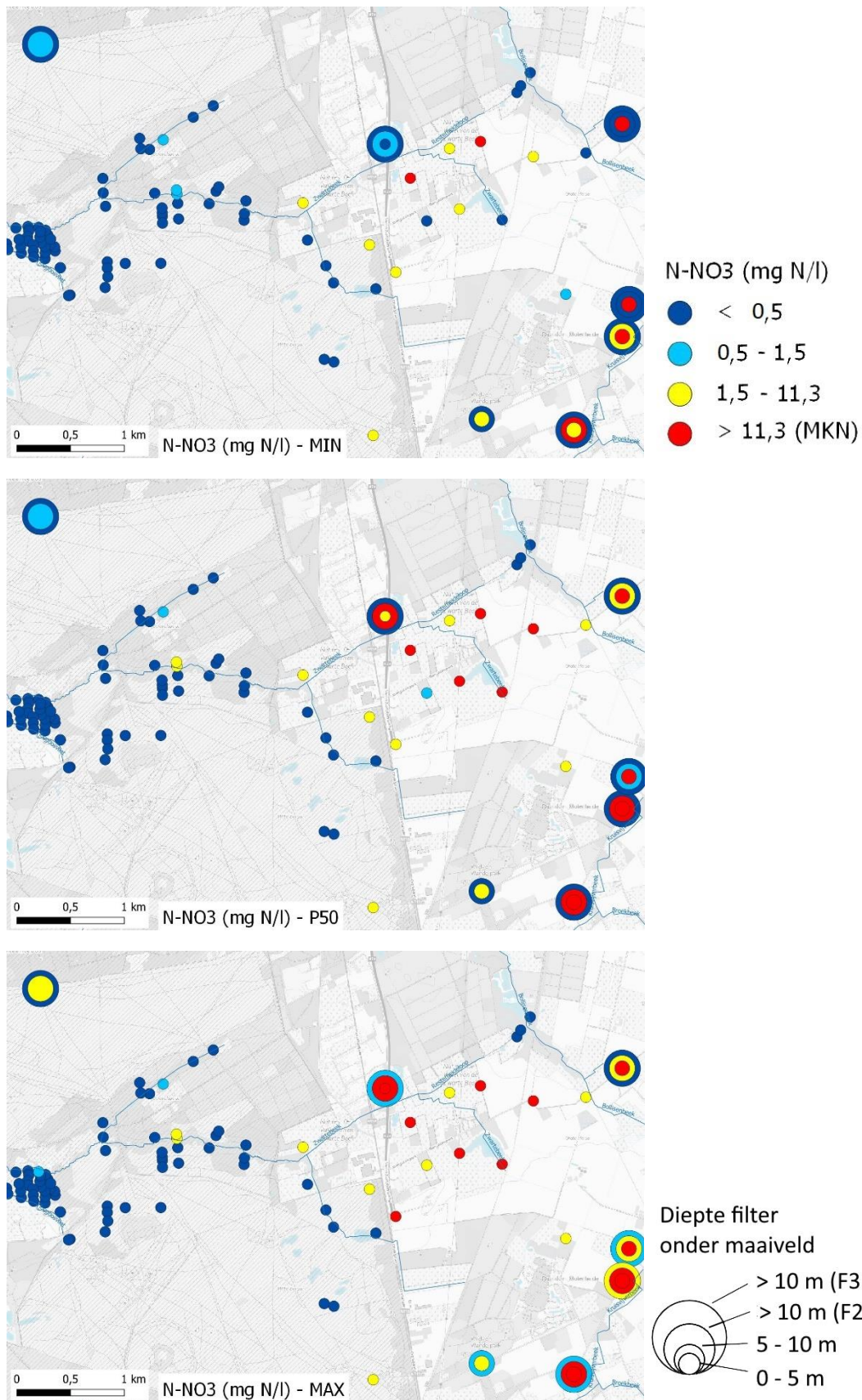
Figuur 31 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.



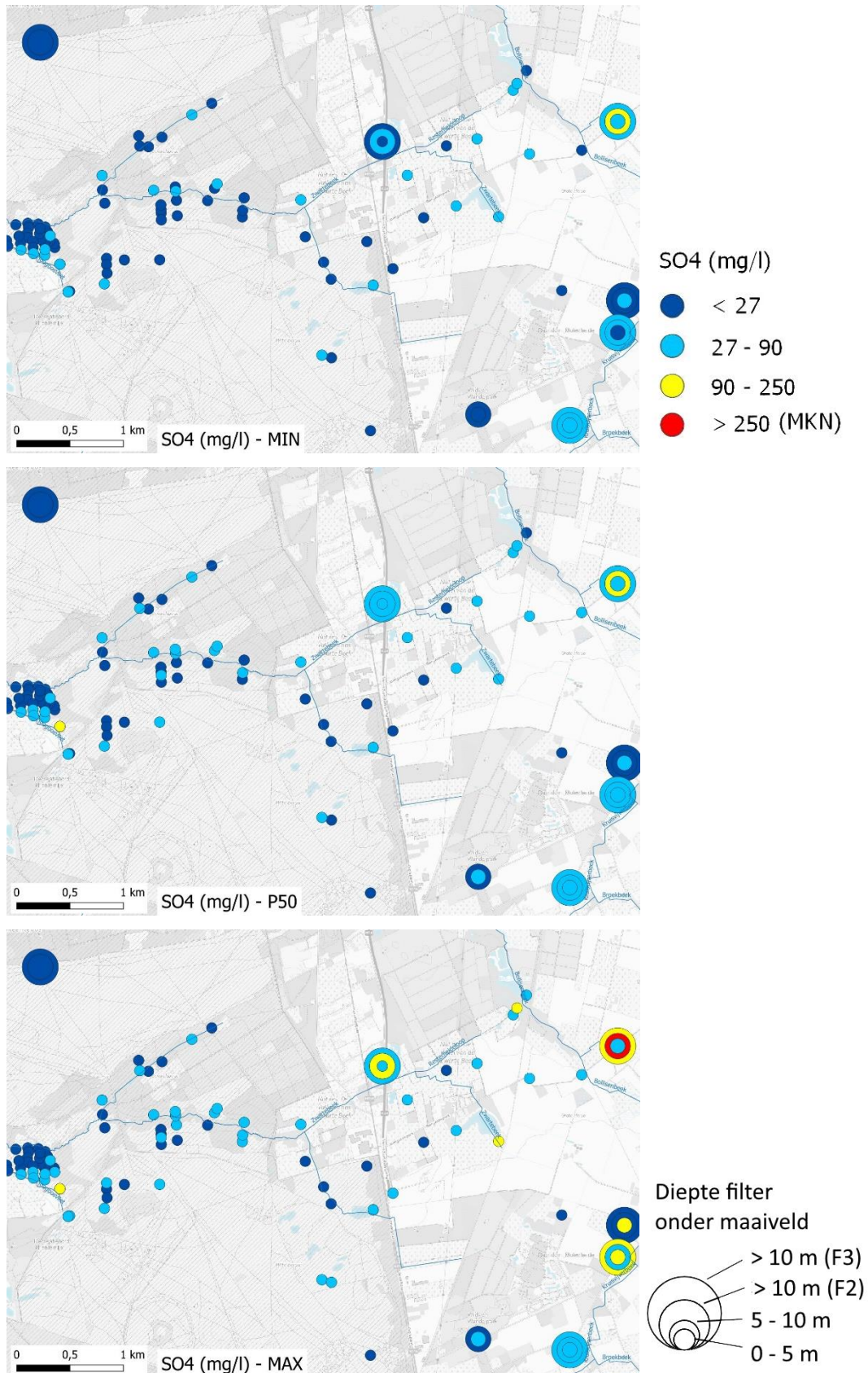
Figuur 32 Concentratie ammonium-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.



Figuur 33 Concentratie nitriet-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.



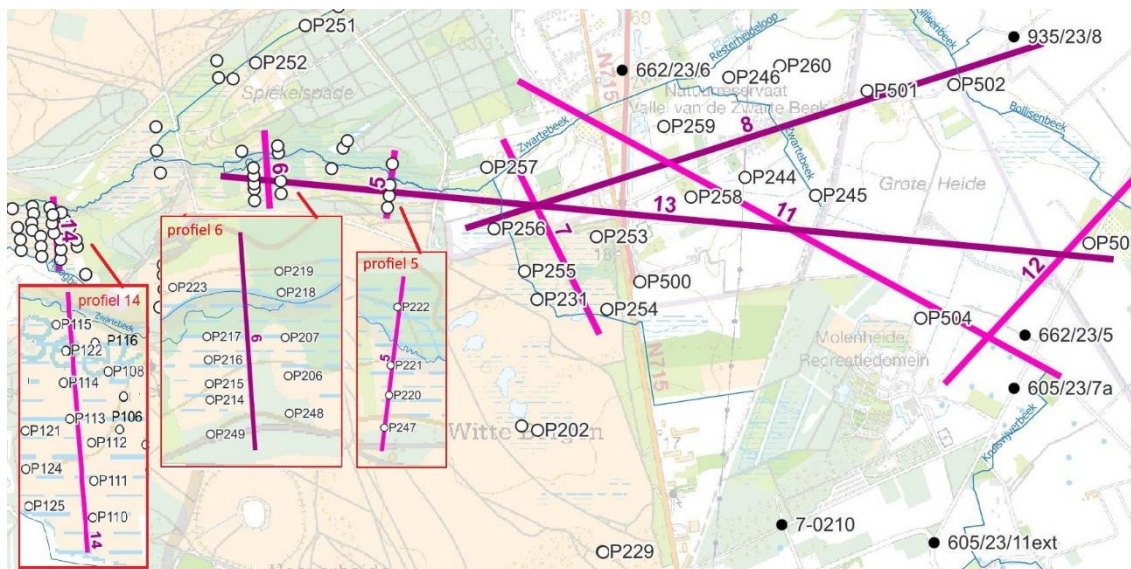
Figuur 34 Concentratie nitraat-stikstof in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.



Figuur 35 Concentratie sulfaat in het grondwater voor de periode 1997-2022. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.

5.2.2.5 Dwarsdoorsneden door het landschap

Om de relatie tussen meetpunten duidelijker in beeld te brengen maakten we een reeks virtuele dwarsdoorsneden door het landschap. Figuur 36 geeft de ligging van deze doorsneden.



Figuur 36 Overzicht van de dwarsdoorsneden die in het rapport getoond worden.

Op elke dwarsdoorsnede (figuur 37 t.e.m. figuur 41) wordt de hoogte langs de rechte lijn getoond. De meetlocaties worden geprojecteerd op de dwarsdoorsneden die in de omgeving lopen. Daarbij blijven de z-coördinaten van de meetpunten en van de filters ongewijzigd (de hoogte van het maaiveld bij een geprojecteerd meetpunt hoeft dus niet overeen te komen met de hoogte langs de rechte lijn). De (mediane en maximale) concentraties worden aangegeven door een kleurcode ter hoogte van elke filter (tabel 27). Naast de filters wordt ook het aantal gebruikte metingen vermeld. Piëzometers die als verticale lijnen (zonder filter) worden getoond, zijn meetpunten waar alle metingen een slechte elektroneutraliteit vertonen.

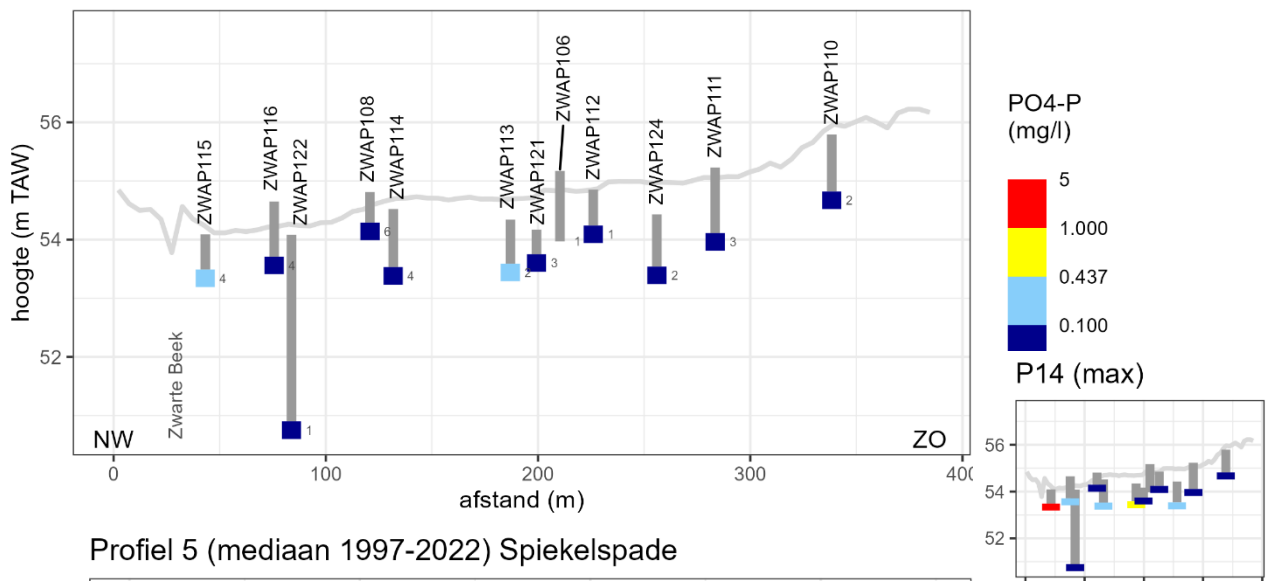
Orthofosfaat

In het kwelgebied in Spiekelspade blijft de concentratie orthofosfaat laag (profielen 5 en 6). Ook profiel 12 door het landbouwgebied (Molenheide – Bolisserbeek) vertoont geen verhoogde concentraties orthofosfaat en hetzelfde geldt voor de ondiepe meetpunten in de tussenzone tussen het landbouwgebied en het kwelgebied in Spiekelspade. Enkel in de Kouwert zijn er verhoogde concentraties orthofosfaat plaatselijk gemeten (profiel 14), maar de hoogste concentraties in deze zone (ZWAP115, ZWAP113) dateren van de periode 1997-1999.

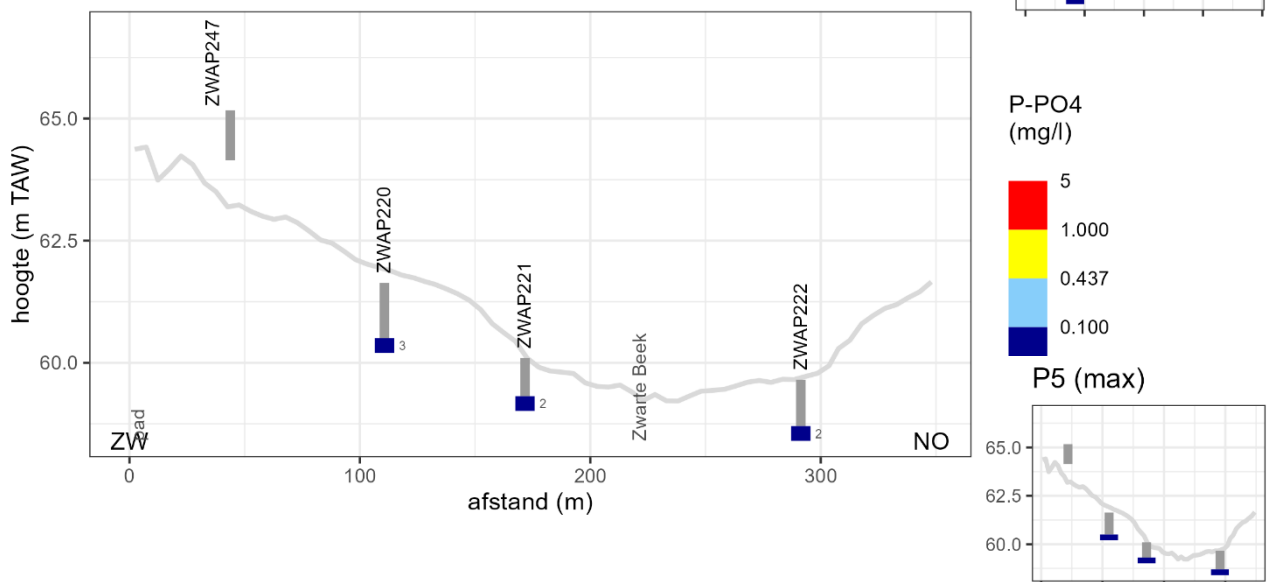
Op basis van deze gegevens zijn er momenteel geen aanwijzingen dat fosfaat via het ondiep grondwater naar het kwelgebied langs de Zwarte Beek vervoerd wordt. Zoals hoger vermeld zijn er echter geen meetpunten in de meest fosfaatverzadigde percelen van het brongebied en kunnen we dus niet met 100% garanderen dat er daar geen P-doorslag optreedt. Ten NO van

de Bolisserbeek is er één locatie (935/23/8) met licht verhoogde orthofosfaat concentraties in de diepere ondergrond (vooral sinds 2019 en ter hoogte van de filter op 14,5 m diepte).

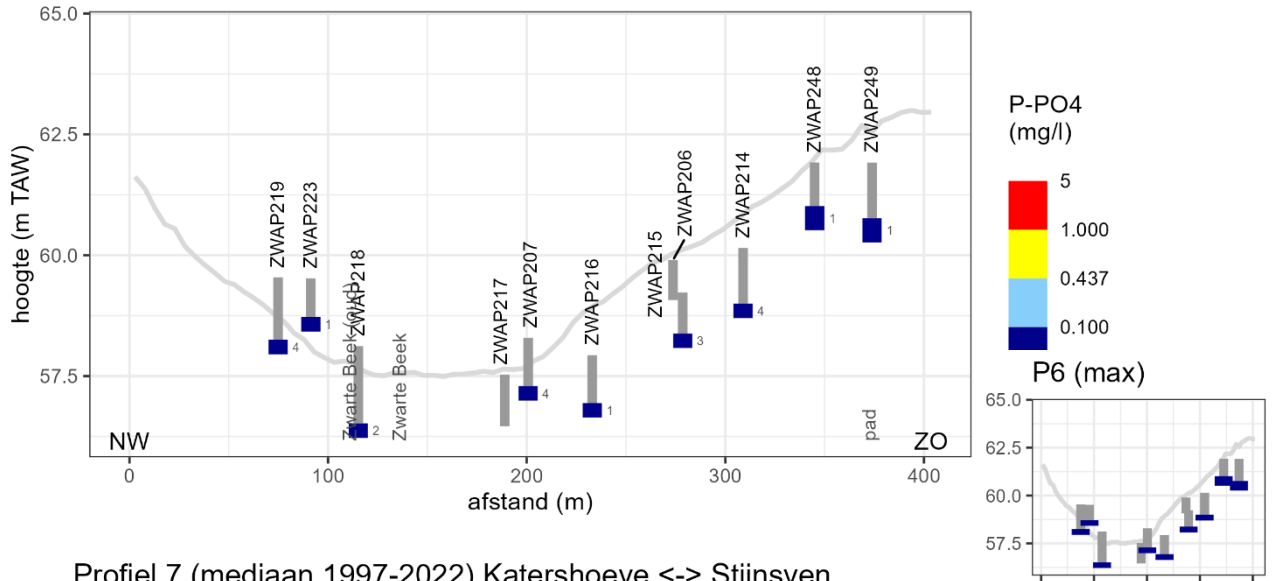
Profiel 14 (mediaan 1997-2022) Kouwert



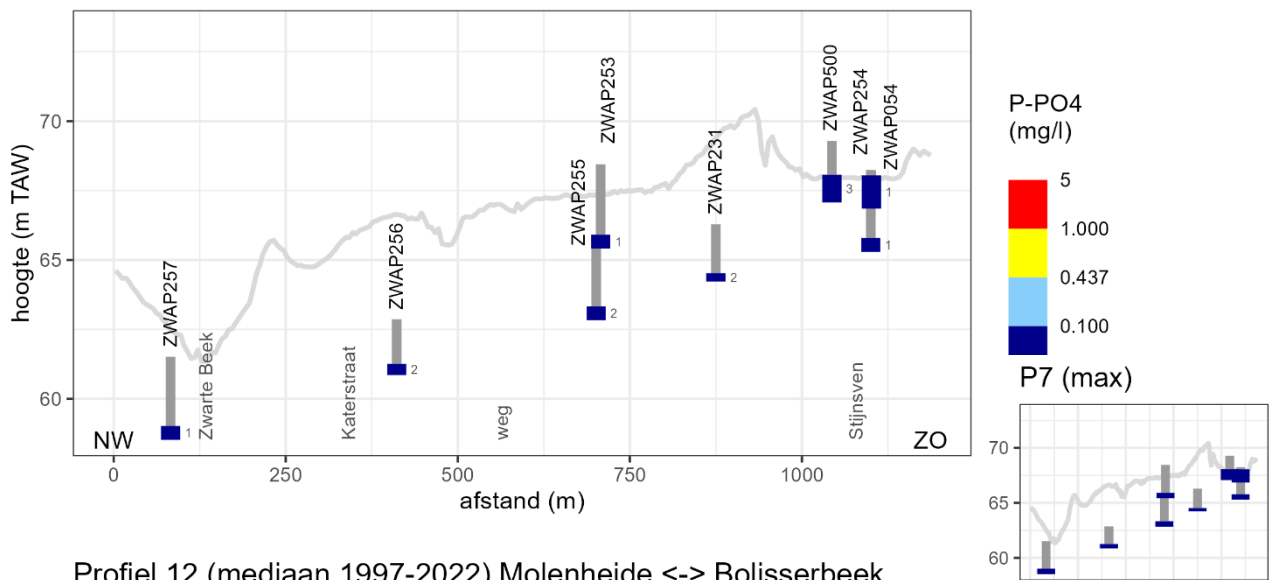
Profiel 5 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



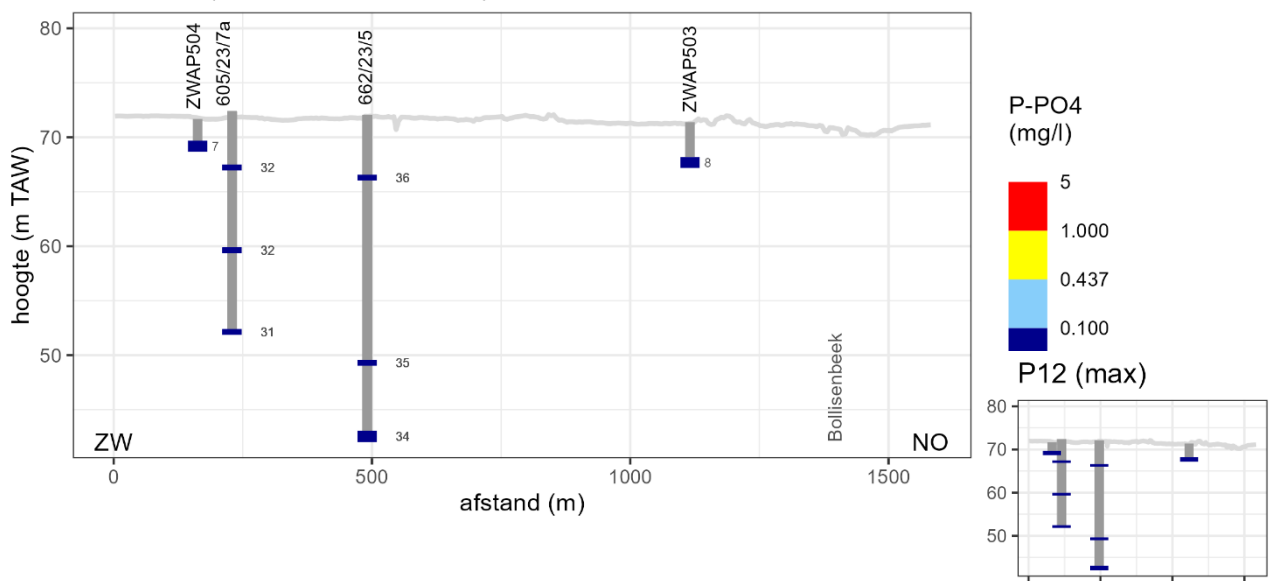
Profiel 6 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



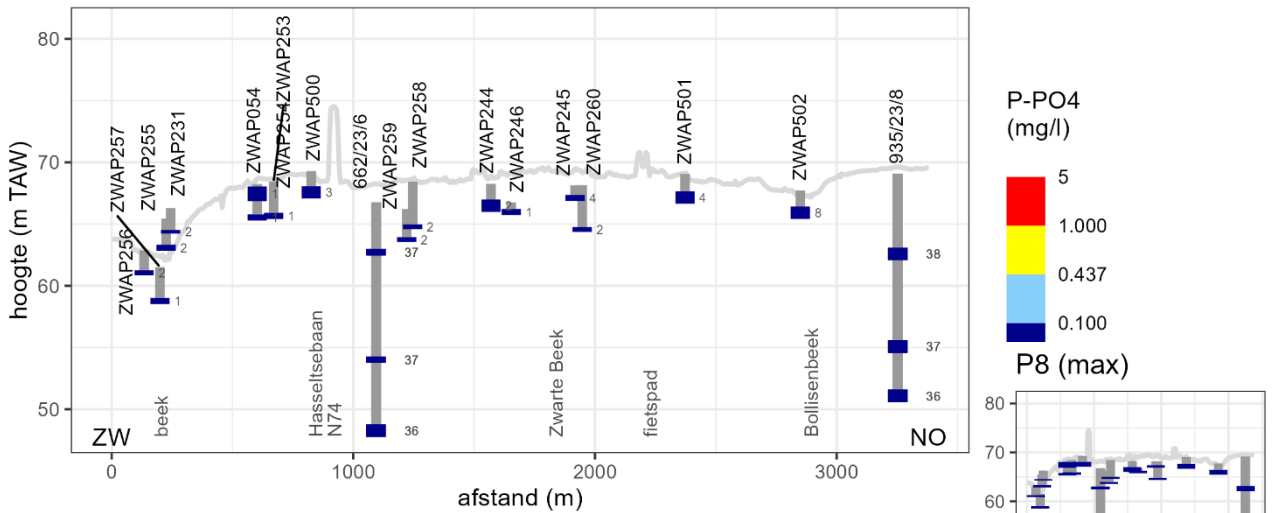
Profiel 7 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Stijnsven



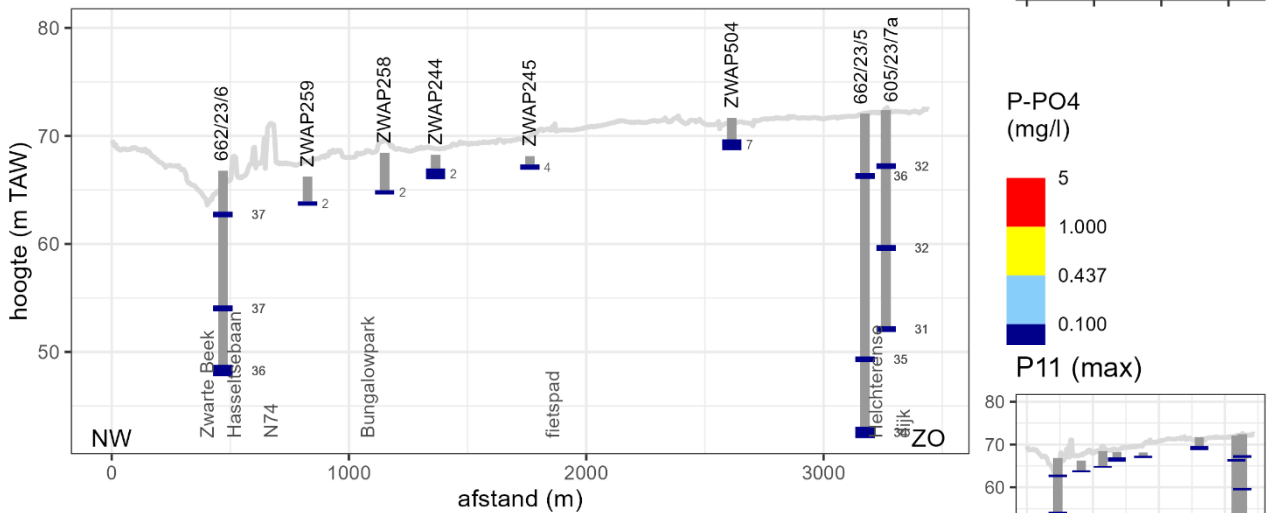
Profiel 12 (mediaan 1997-2022) Molenheide <-> Bolisserbeek



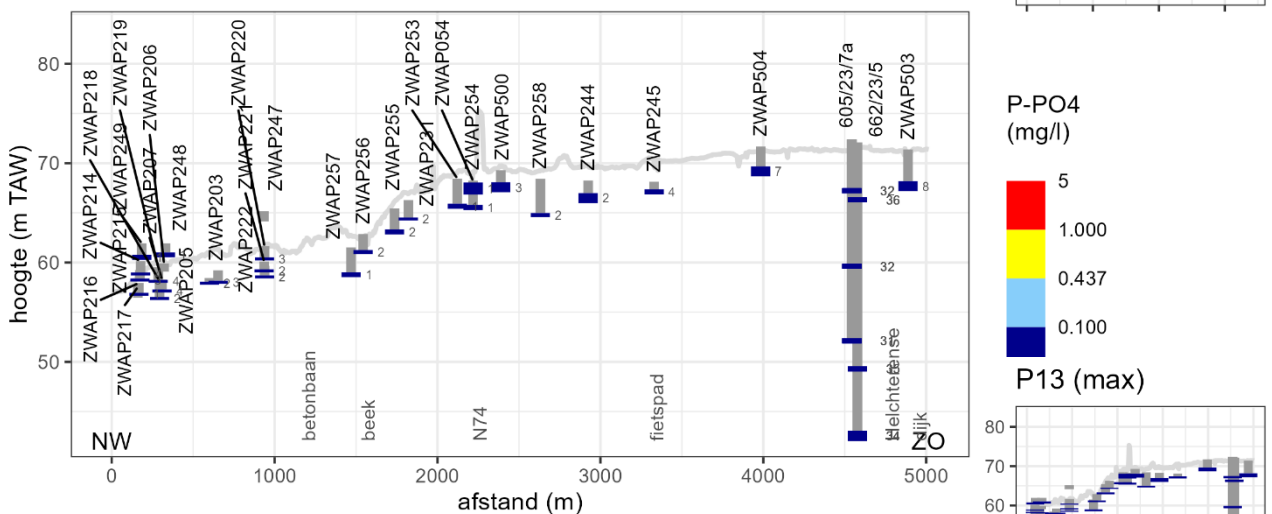
Profiel 8 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Bolisserbeek



Profiel 11 (mediaan 1997-2022) Hoef <-> Peersedijk



Profiel 13 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade <-> Bolisserbeek

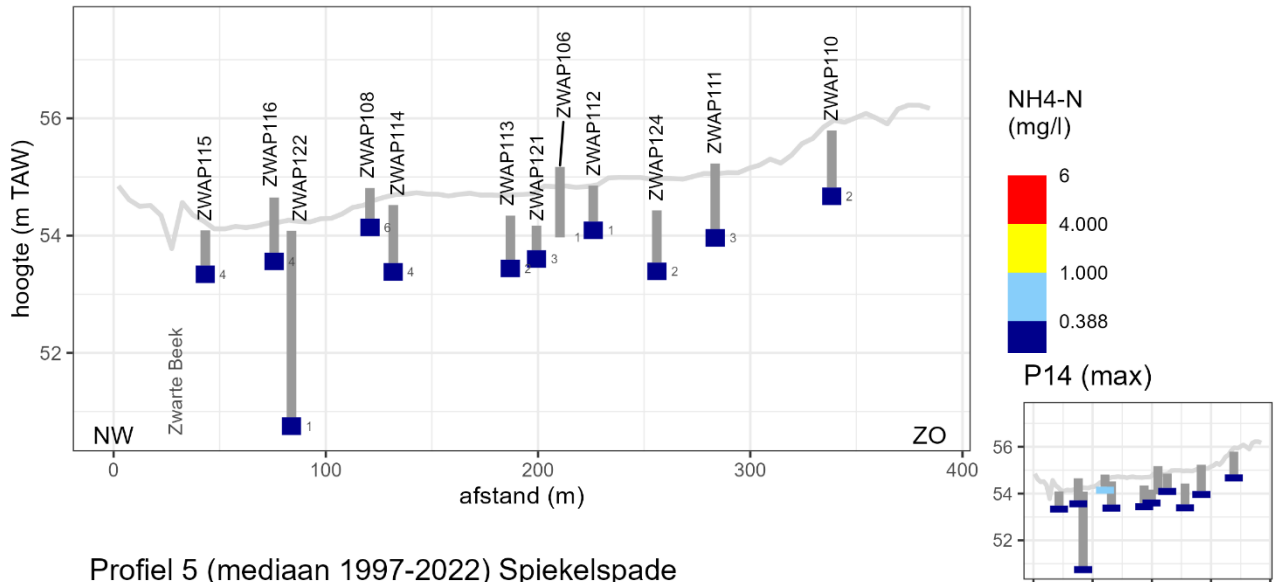


Figuur 37 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties orthofosfaat-fosfor (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.

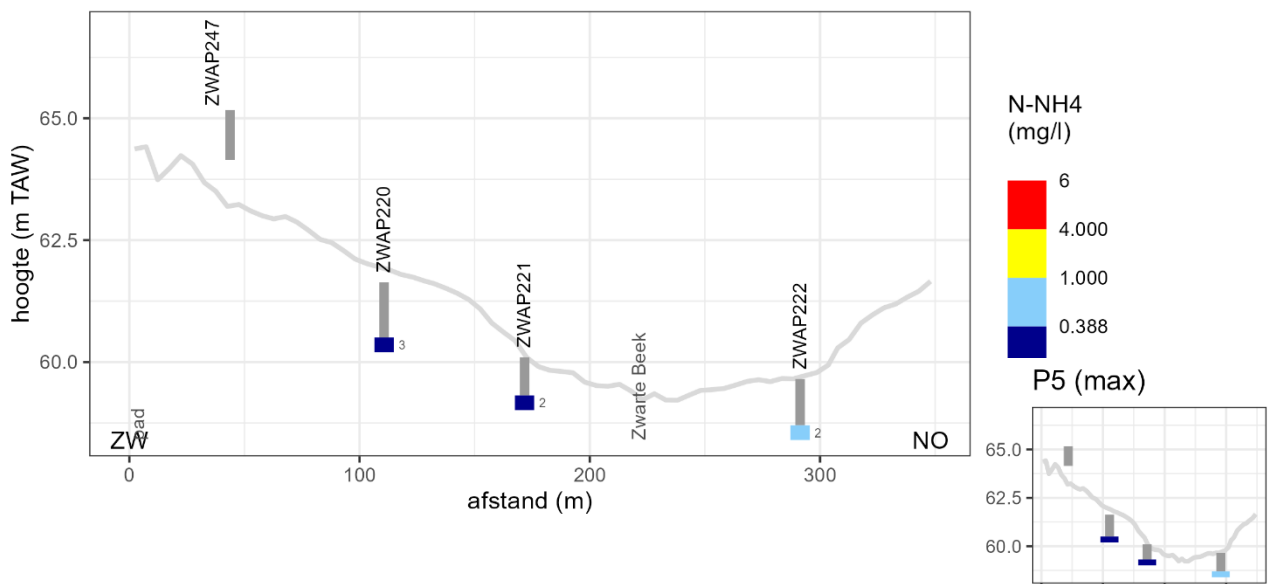
Ammonium

De concentraties ammonium blijven op de meeste locaties laag. Er worden verhoogde concentraties bij ZWAP231-ZWAP255 gemeten (in een zone tussen Stijnsven en Katershoeve) en in de diepe ondergrond van 605/23/7a in het landbouwgebied. Zoals voor orthofosfaat is er de laatste jaren regelmatig sprake van (sterk) verhoogde concentraties in de diepere ondergrond bij meetpunt 935/23/8 ten NO van de Bolisserbeek (filter op 14,5 m diepte).

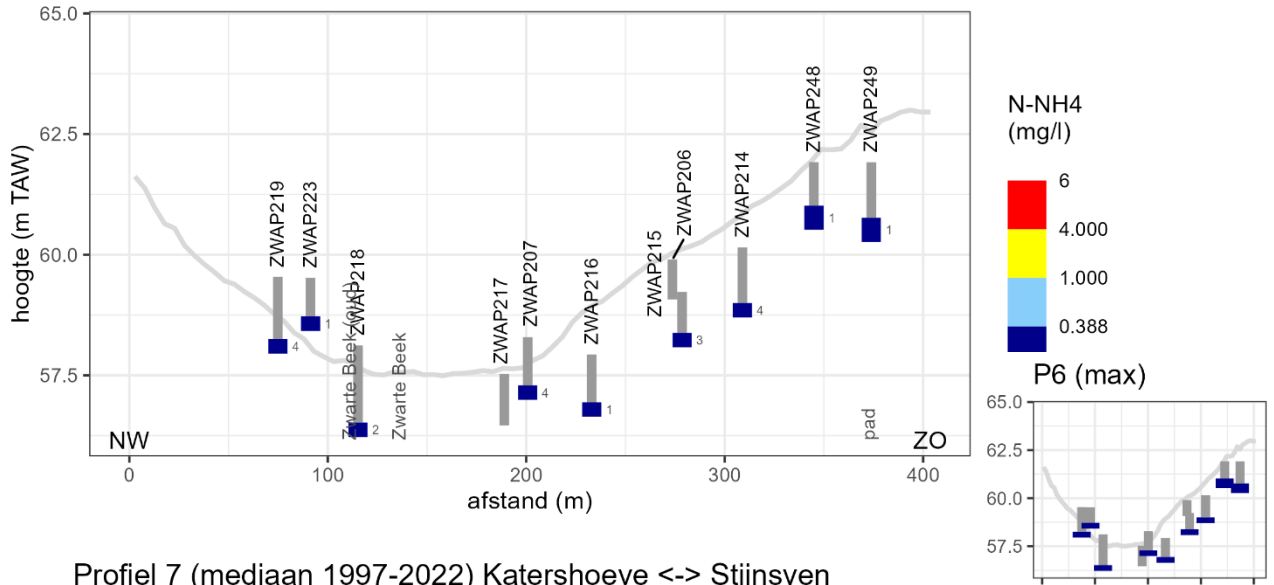
Profiel 14 (mediaan 1997-2022) Kouwert



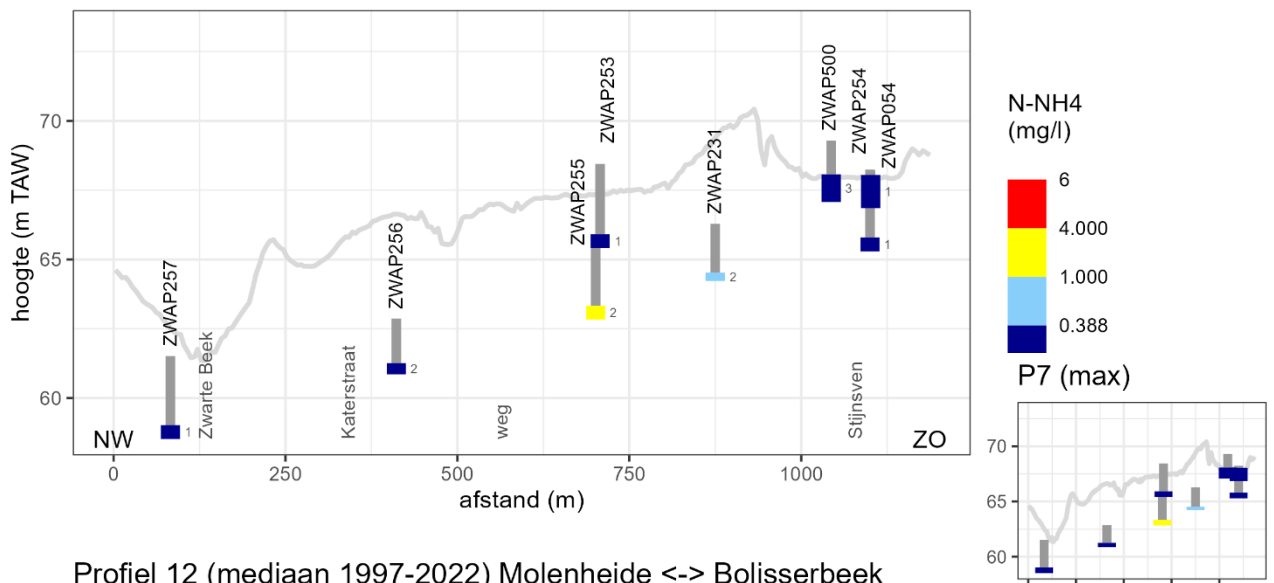
Profiel 5 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



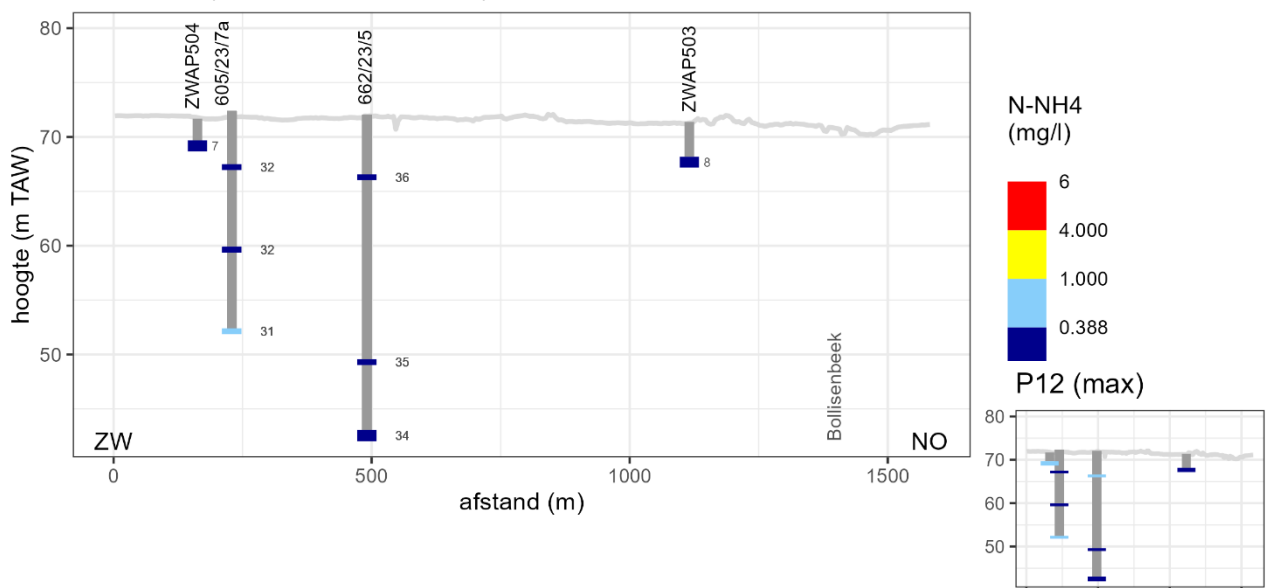
Profiel 6 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



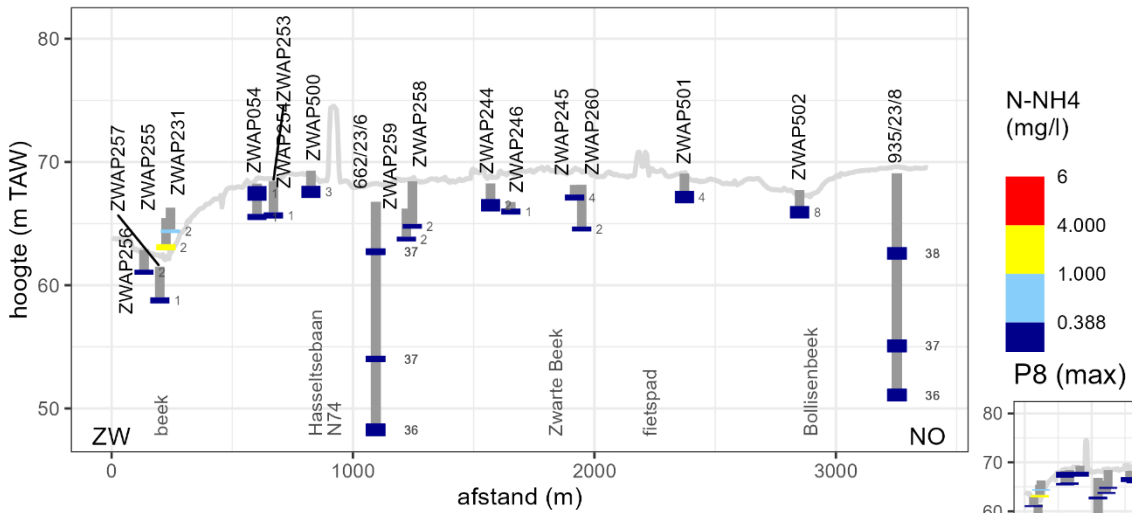
Profiel 7 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Stijnsven



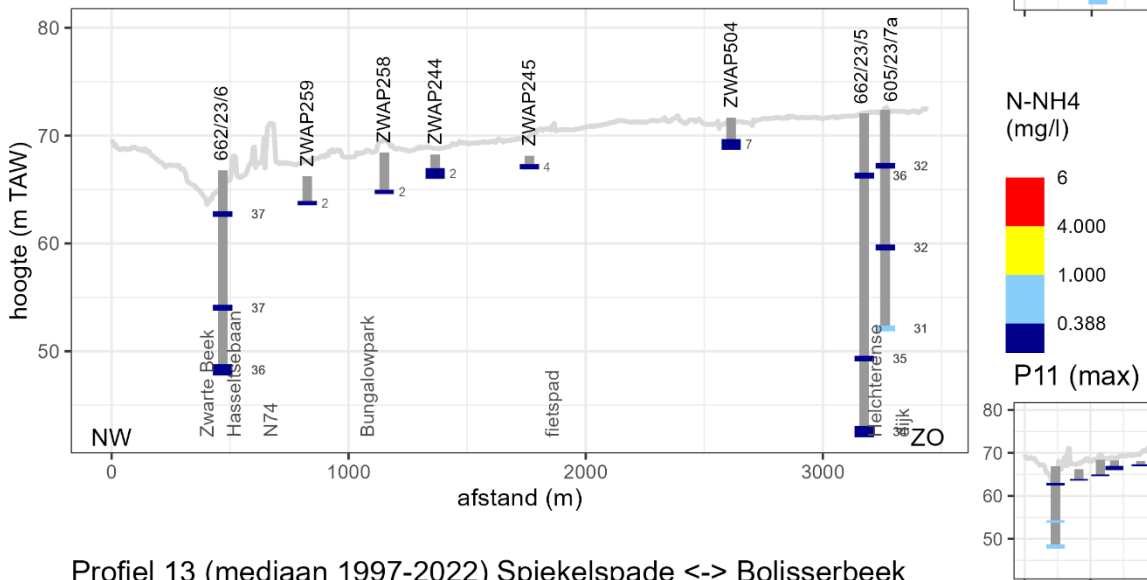
Profiel 12 (mediaan 1997-2022) Molenheide <-> Bolisserbeek



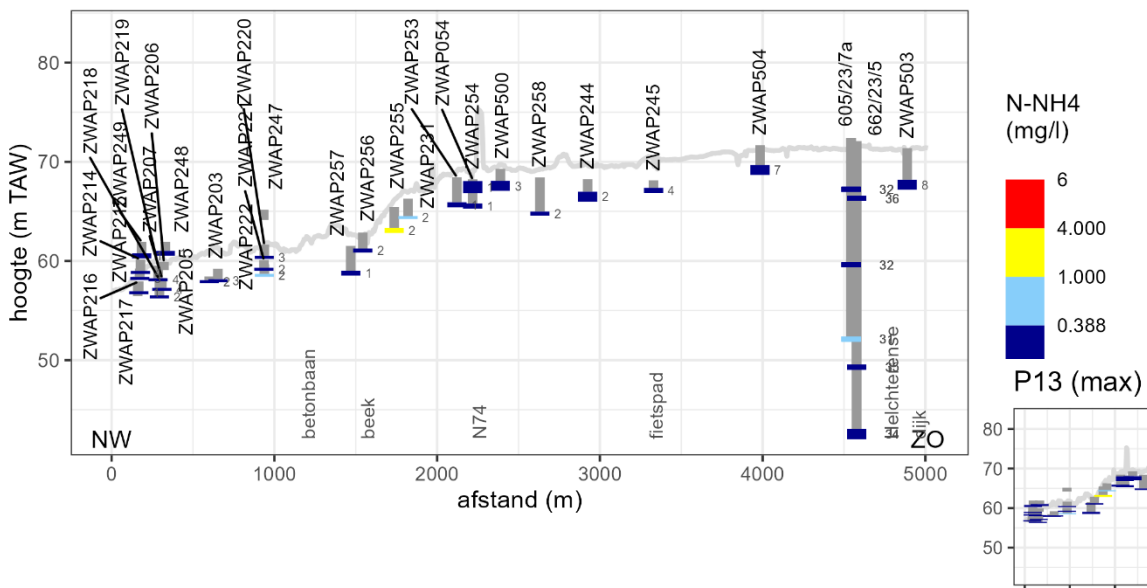
Profiel 8 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Bolisserbeek



Profiel 11 (mediaan 1997-2022) Hoef <-> Peersedijk



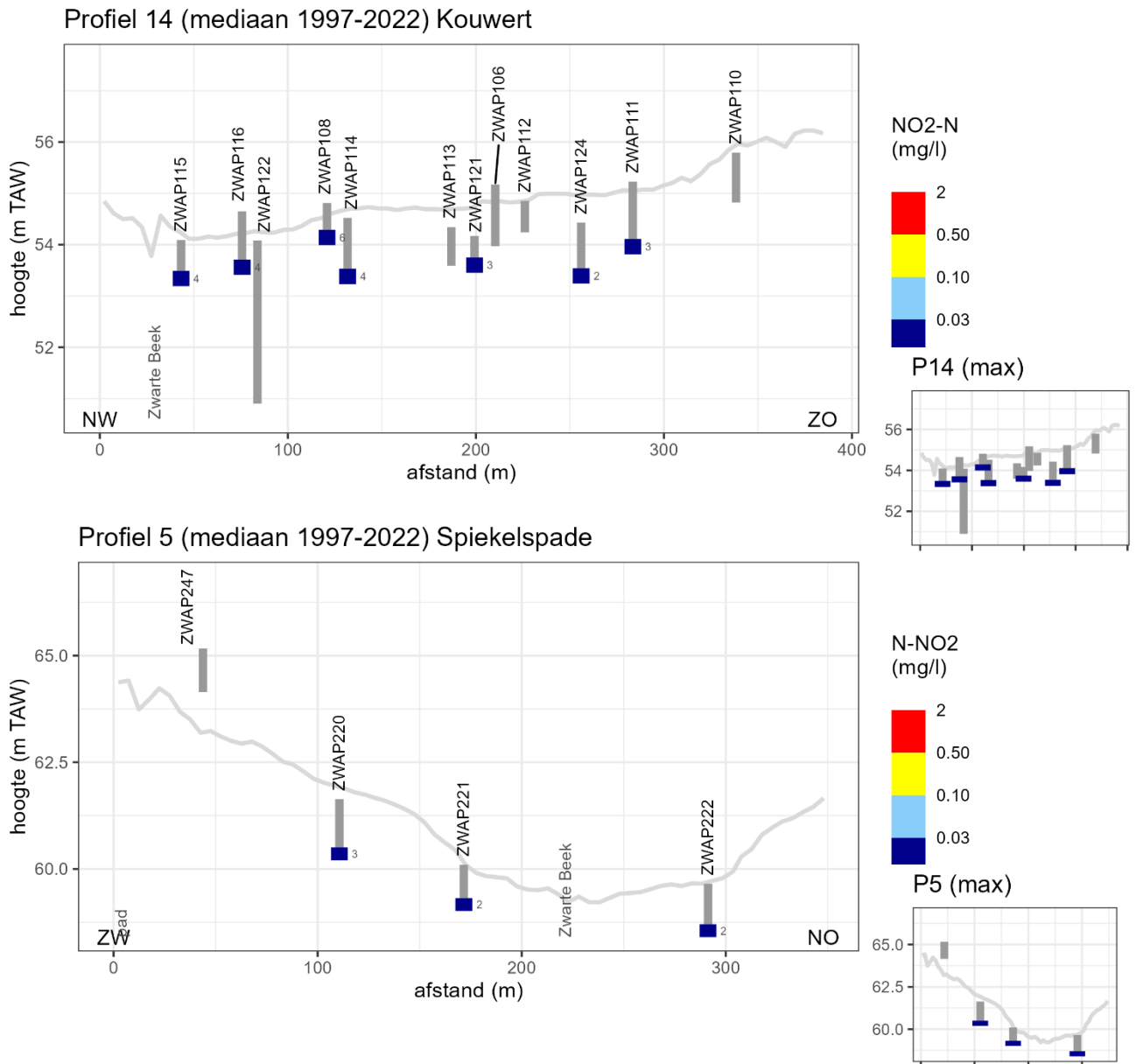
Profiel 13 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade <-> Bolisserbeek



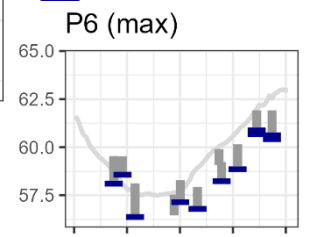
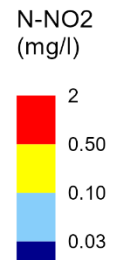
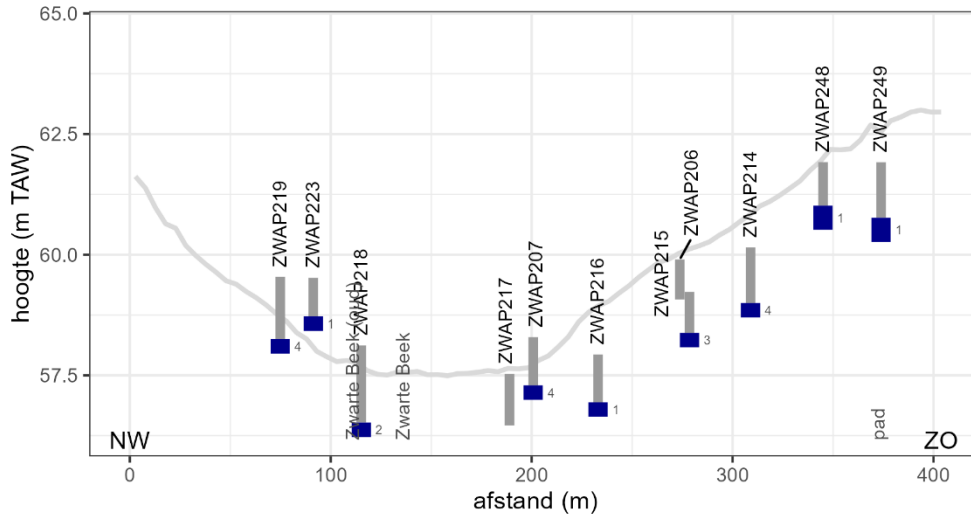
Figuur 38 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties ammonium (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.

Nitriet

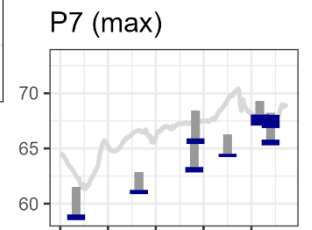
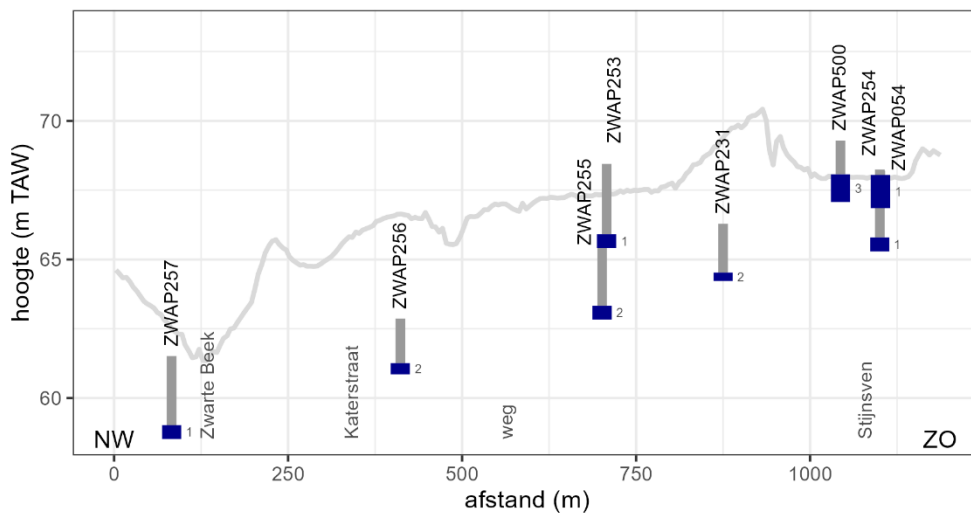
In het kwelgebied in de Kouwert en in Spiekelspade zijn nergens verhoogde concentraties nitriet vastgesteld. In het landbouwgebied komen verspreid en sporadisch verhoogde concentraties voor. Nitriet is geen stabiele verbinding, meetbare concentraties nitriet zijn dus het teken van een lokale en recente bron van vervuiling.



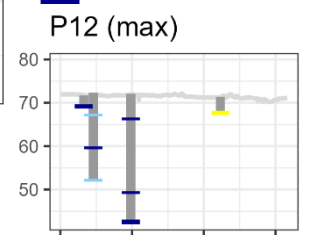
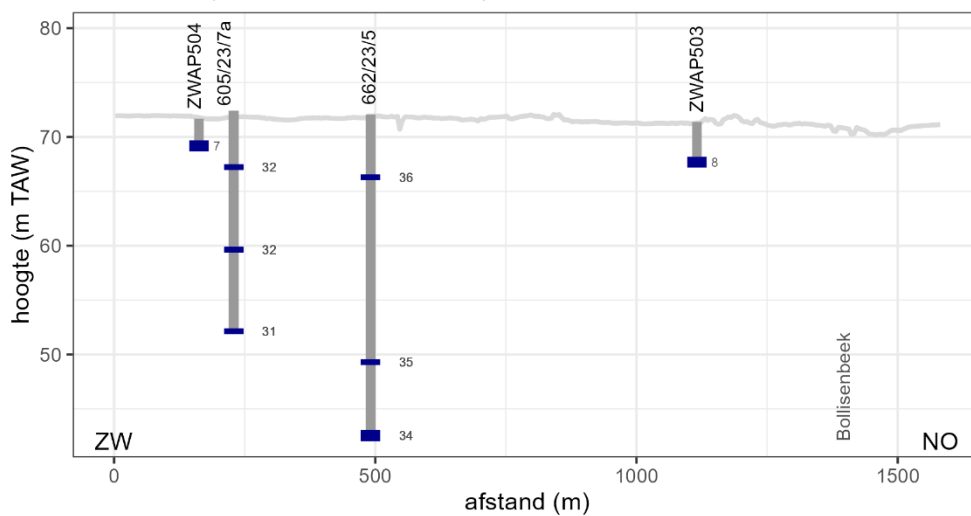
Profiel 6 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



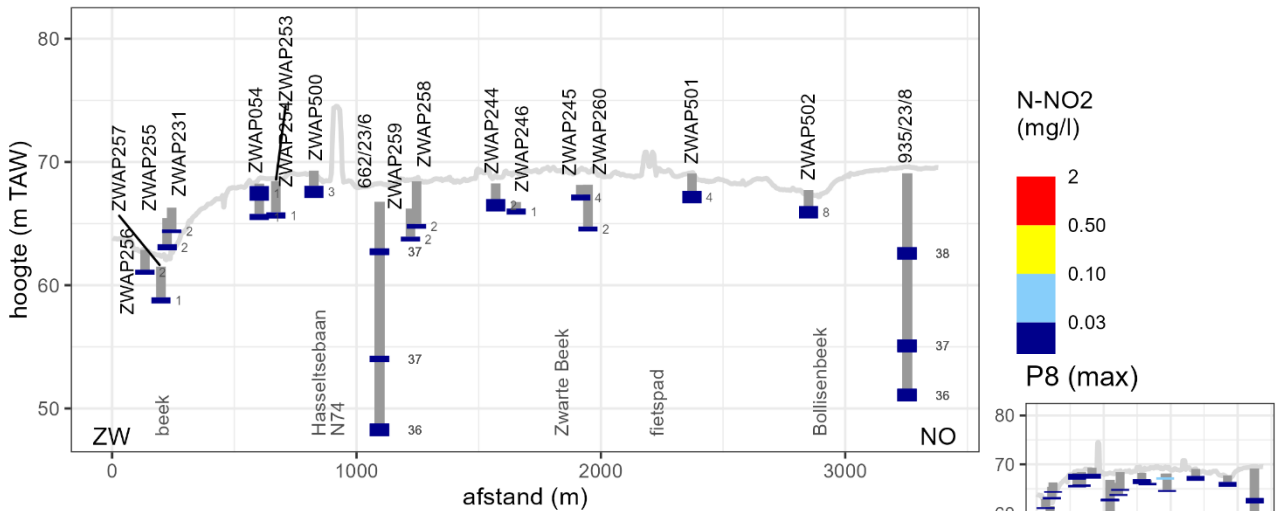
Profiel 7 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Stijnsven



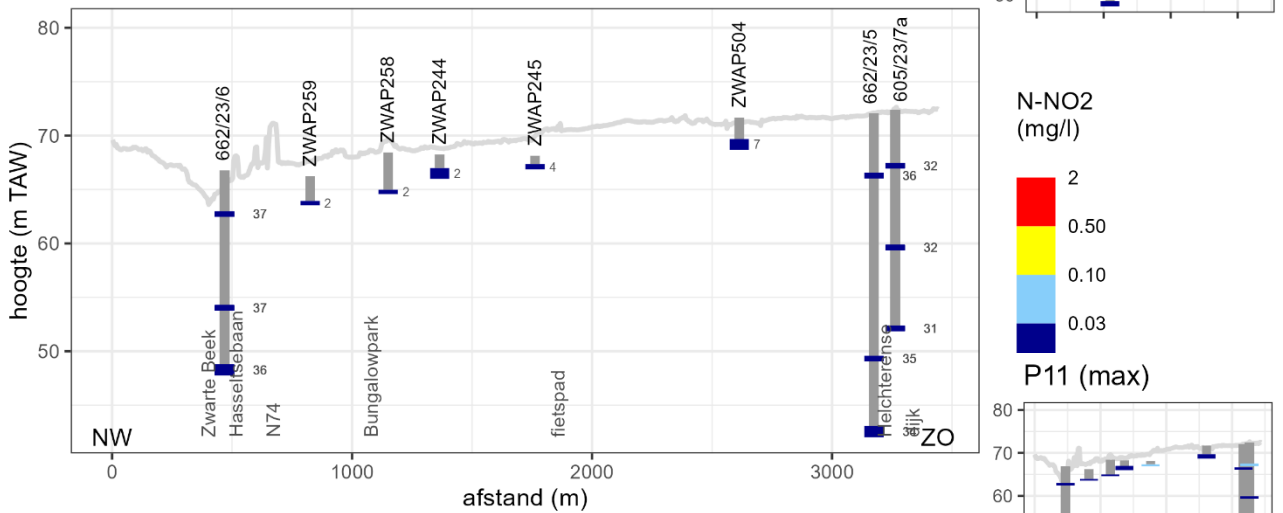
Profiel 12 (mediaan 1997-2022) Molenheide <-> Bolisserbeek



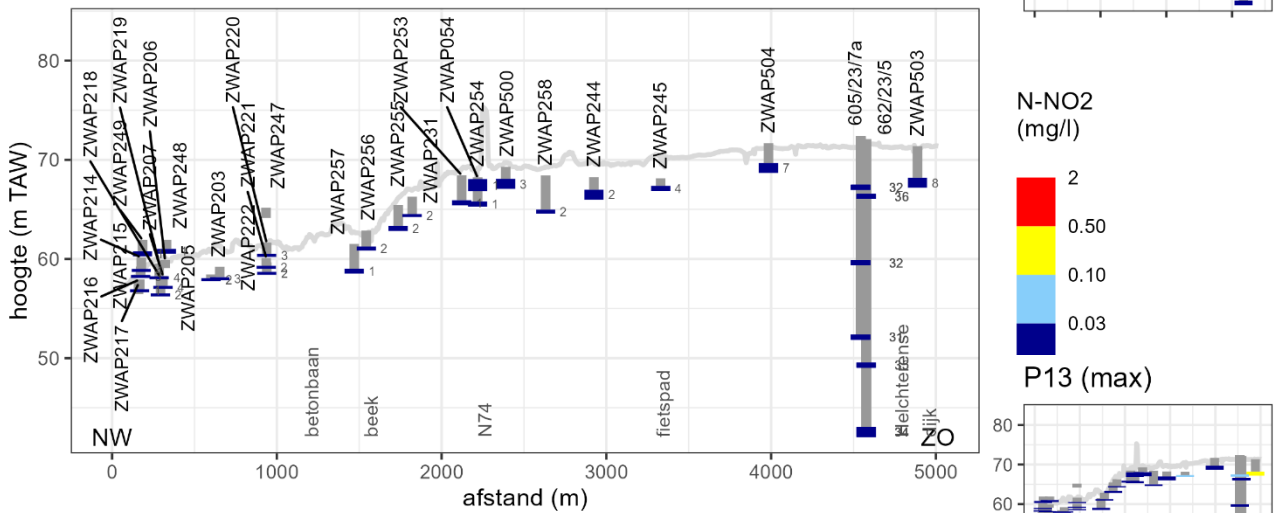
Profiel 8 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Bolisserbeek



Profiel 11 (mediaan 1997-2022) Hoef <-> Peersedijk



Profiel 13 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade <-> Bolisserbeek

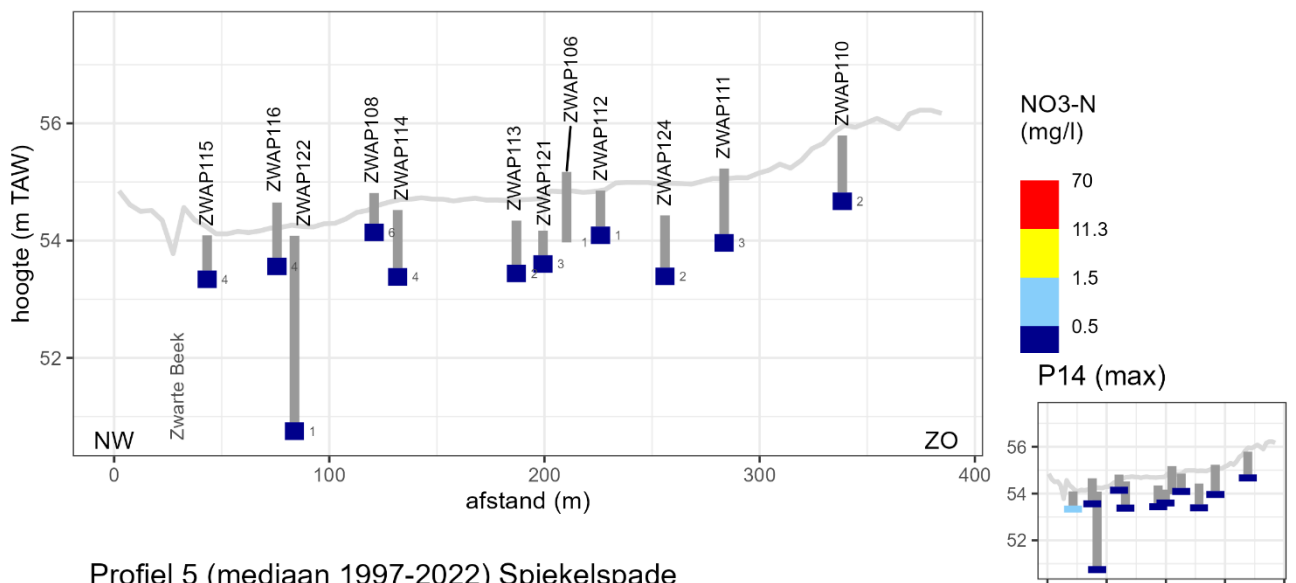


Figuur 39 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties nitriet-stikstof (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.

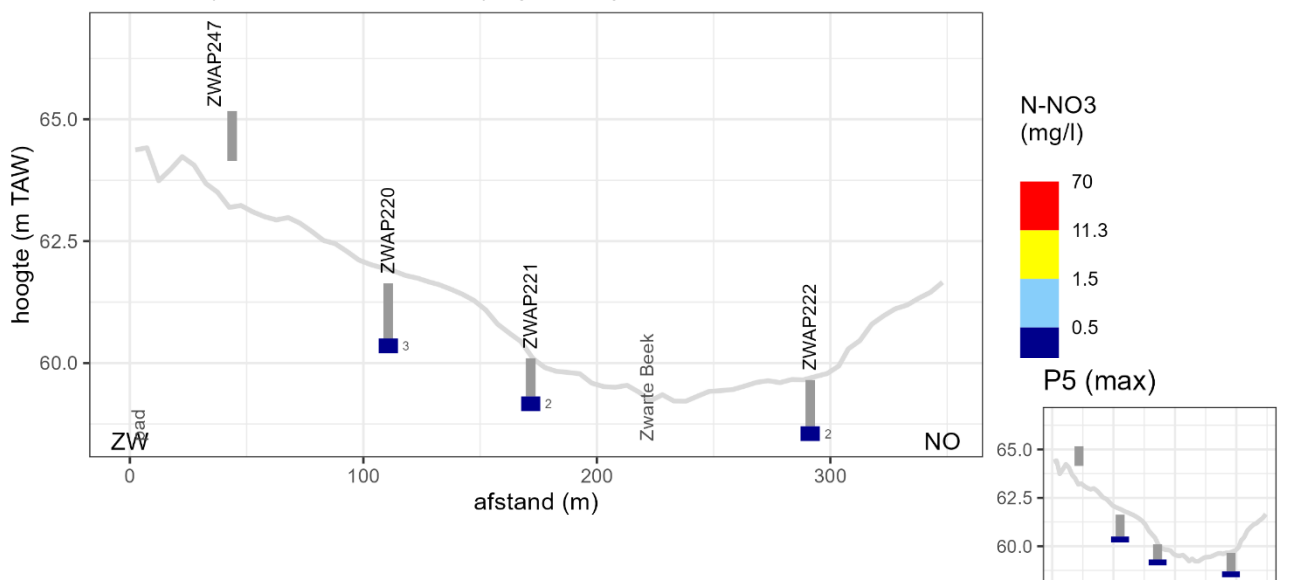
Nitraat

In de Kouwert zijn de concentraties nitraat laag en in Spiekelspade worden alleen plaatselijk verhoogde concentraties nitraat aangetroffen. Het landbouwgebied daarentegen vertoont heel consequent verhoogde (tot sterk verhoogde) concentraties nitraat: alle meetpunten zonder uitzondering registreren af en toe hoge concentraties (zie bijv. profiel 8 en profiel 11), gaande op sommige locaties ver boven de milieukwaliteitsnorm voor nitraat in grondwater (11,3 mg NO₃-N/l of 50 mg/l NO₃). Enkel de diepste filters (vanaf 20-30 m onder maaiveld) blijven bespaard. In profielen 12, 8, 11 en 13 is er een pluim van verhoogde concentraties te zien die de ondergrond van het landbouwgebied inneemt tot een diepte van 10-15 m onder maaiveld. Dit geeft duidelijk aan dat het landbouwgebied als bron van nitraat fungeert dat zich door de ondergrond verder verspreidt.

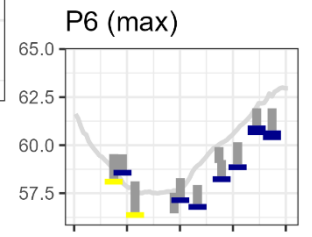
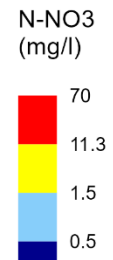
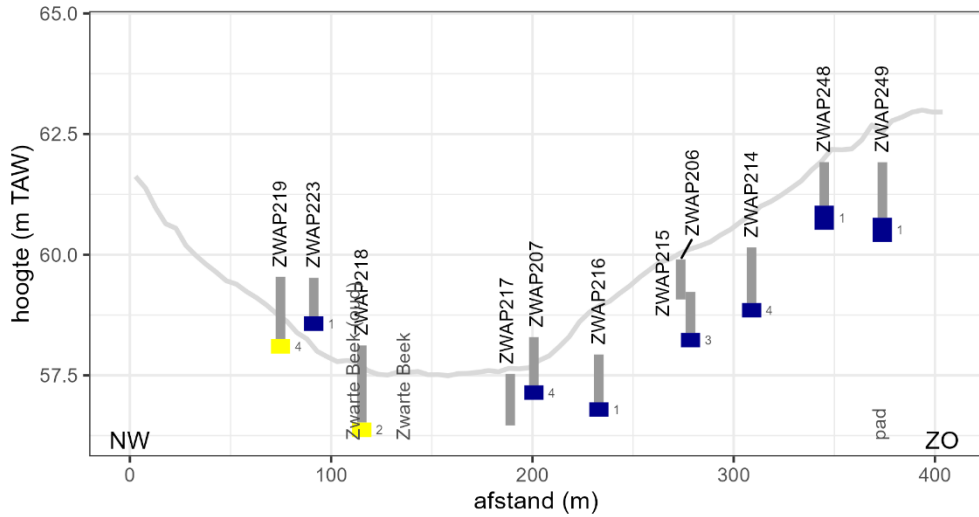
Profiel 14 (mediaan 1997-2022) Kouwert



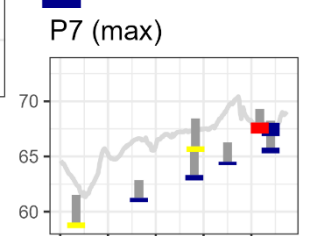
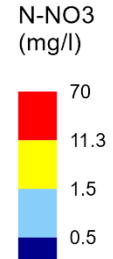
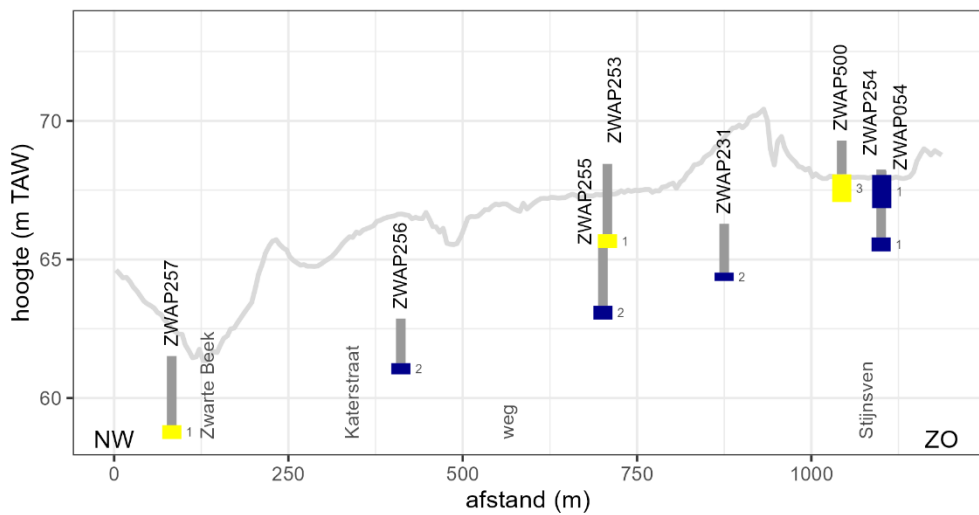
Profiel 5 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



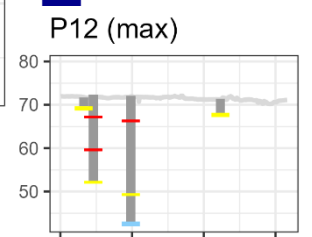
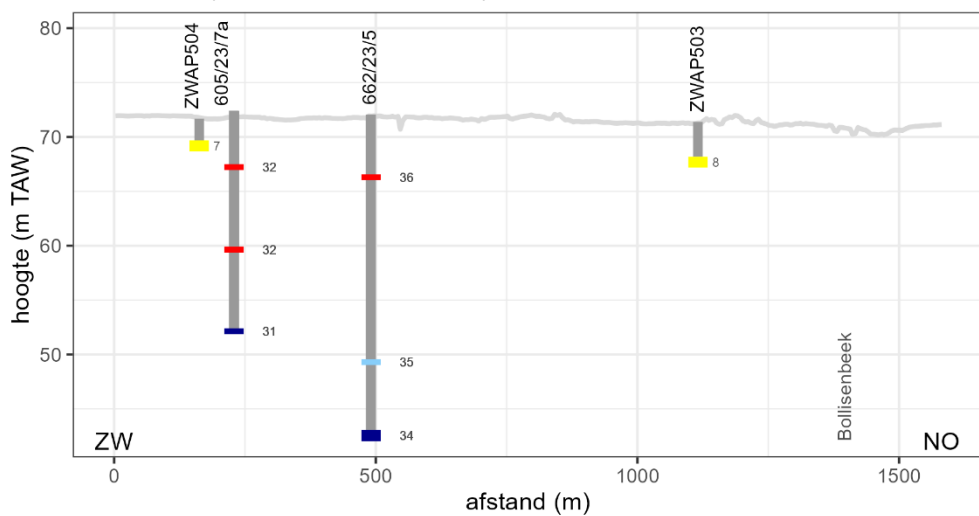
Profiel 6 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



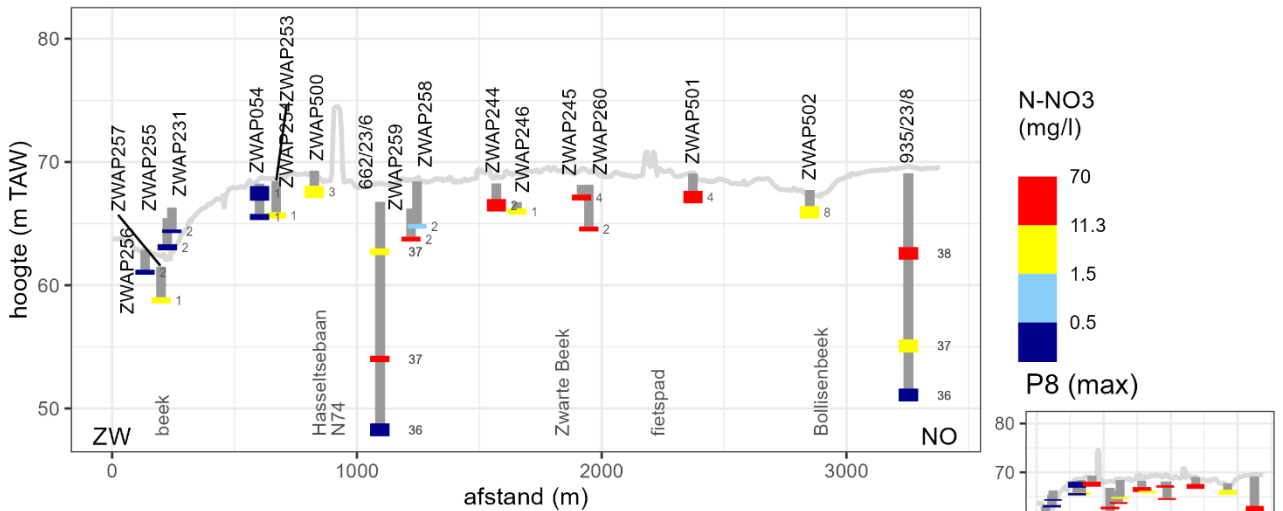
Profiel 7 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Stijnsven



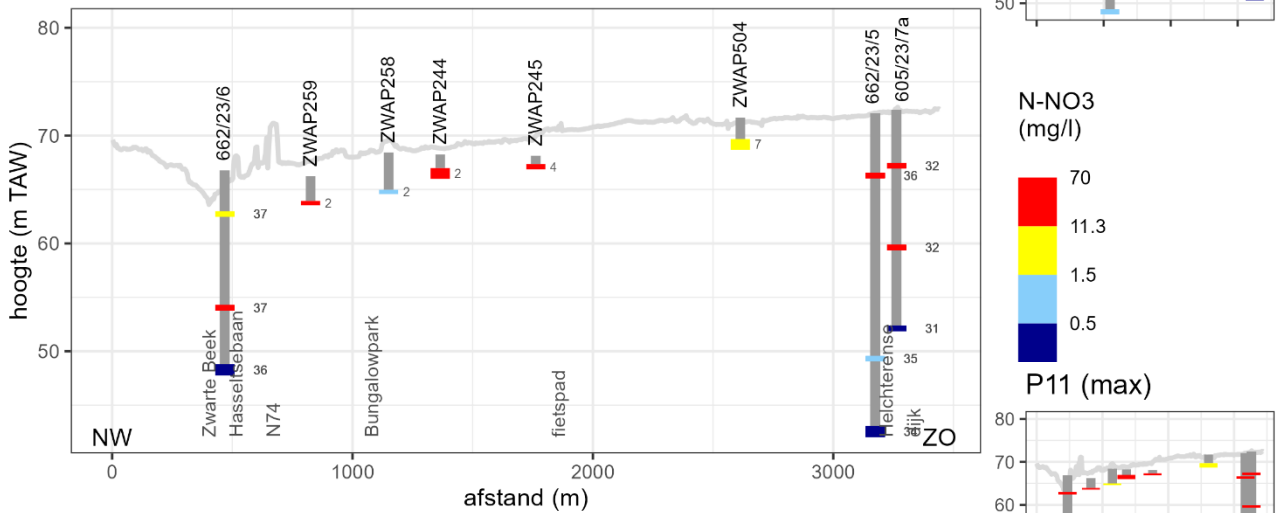
Profiel 12 (mediaan 1997-2022) Molenheide <-> Bolisserbeek



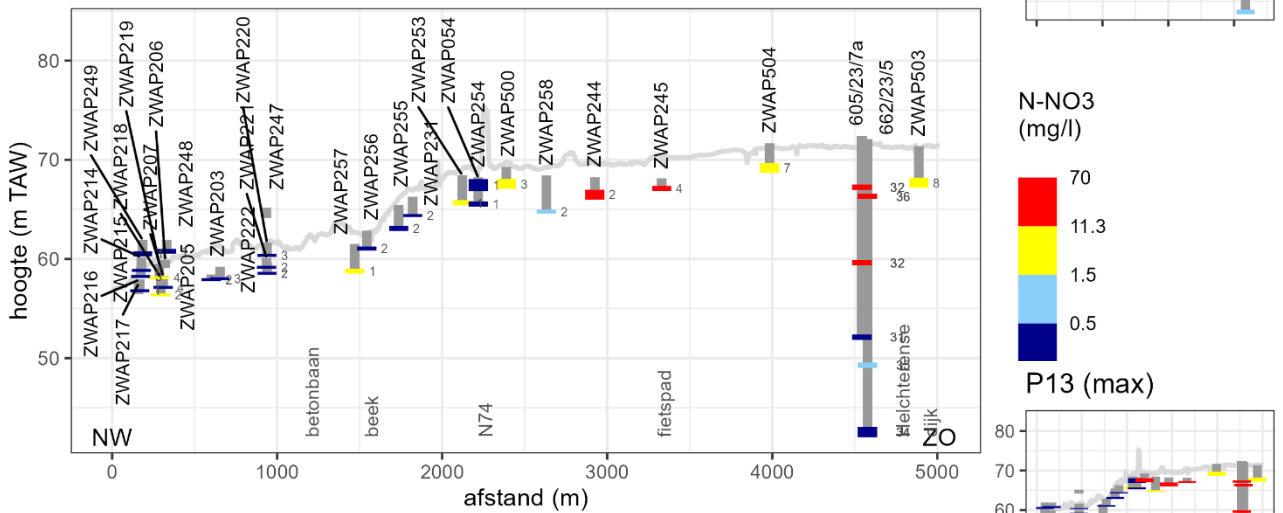
Profiel 8 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Bolisserbeek



Profiel 11 (mediaan 1997-2022) Hoef <-> Peersedijk



Profiel 13 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade <-> Bolisserbeek

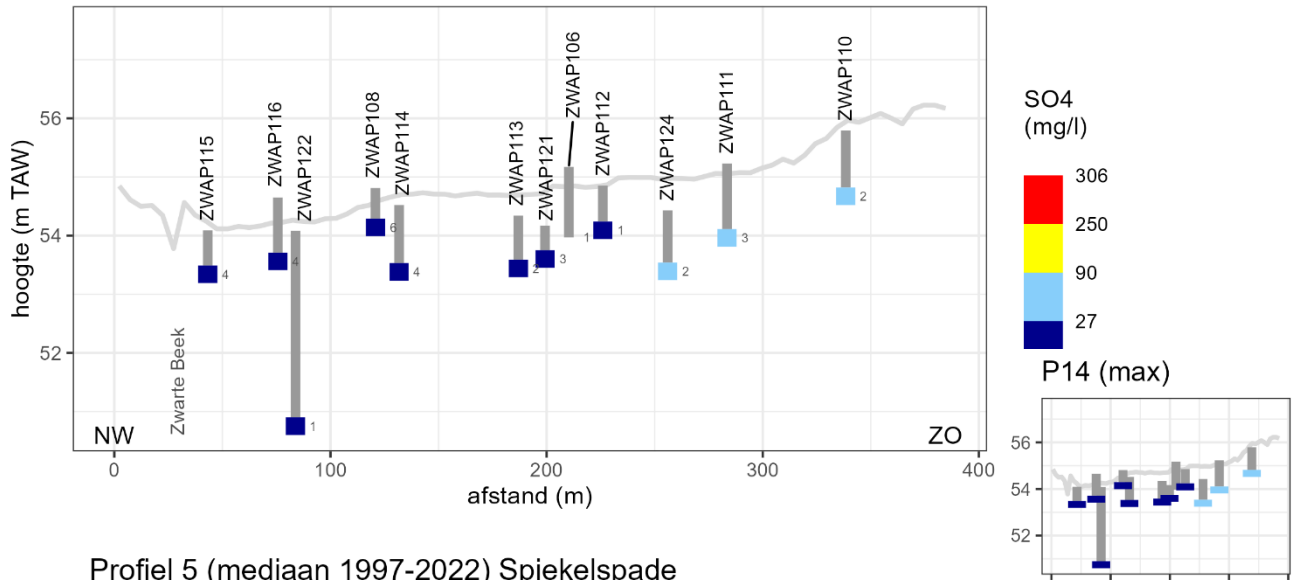


Figuur 40 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties nitraat-stikstof (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.

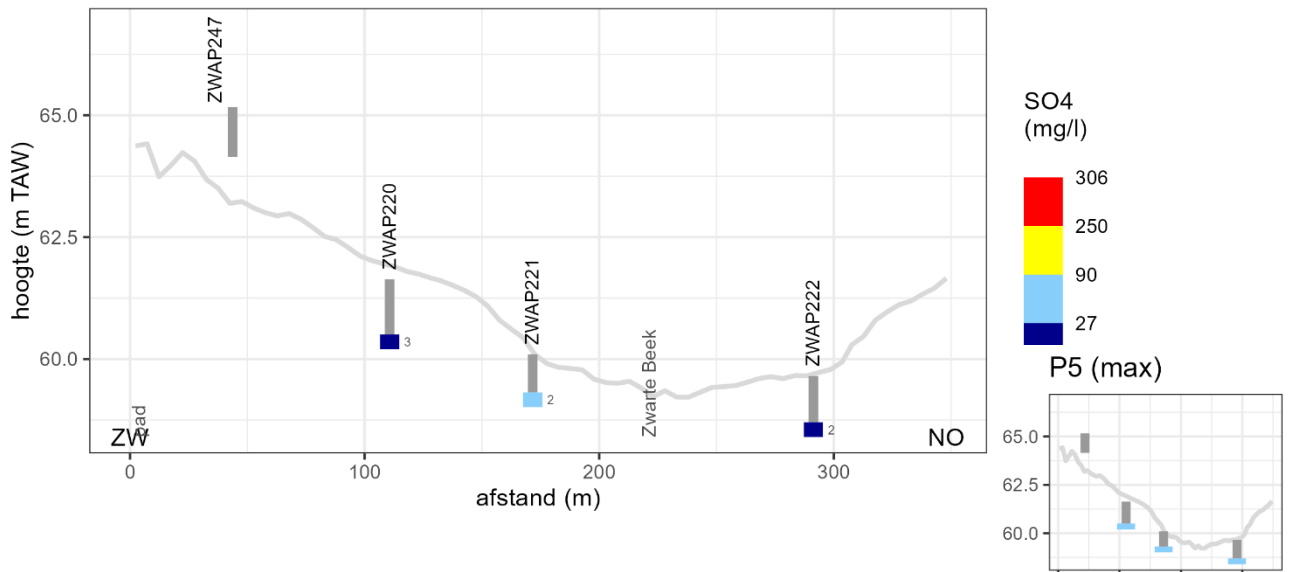
Sulfaat

Licht verhoogde concentraties sulfaat komen op veel locaties voor, zowel in natuurgebied als in landbouwgebied en er tussenin. De hoogste waarden (matig en sterk verhoogde waarden) worden echter in het landbouwgebied opgetekend, en worden ook dieper in de ondergrond gemeten (profiel 8, meetpunt 935/23/8 net ten noorden van de Bolisserbeek).

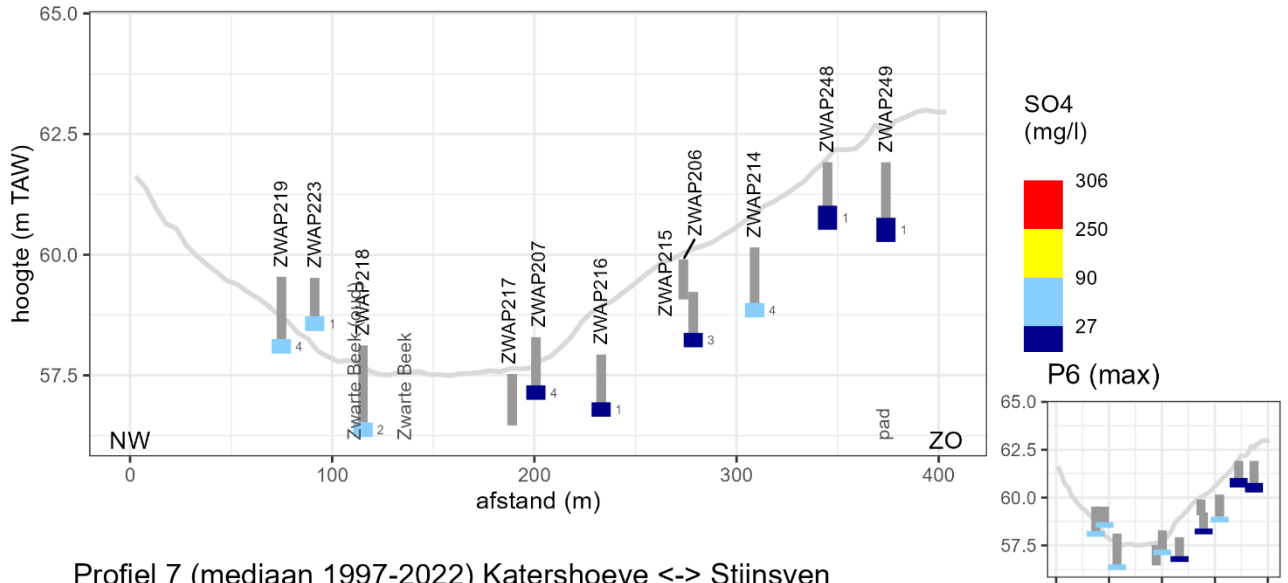
Profiel 14 (mediaan 1997-2022) Kouwert



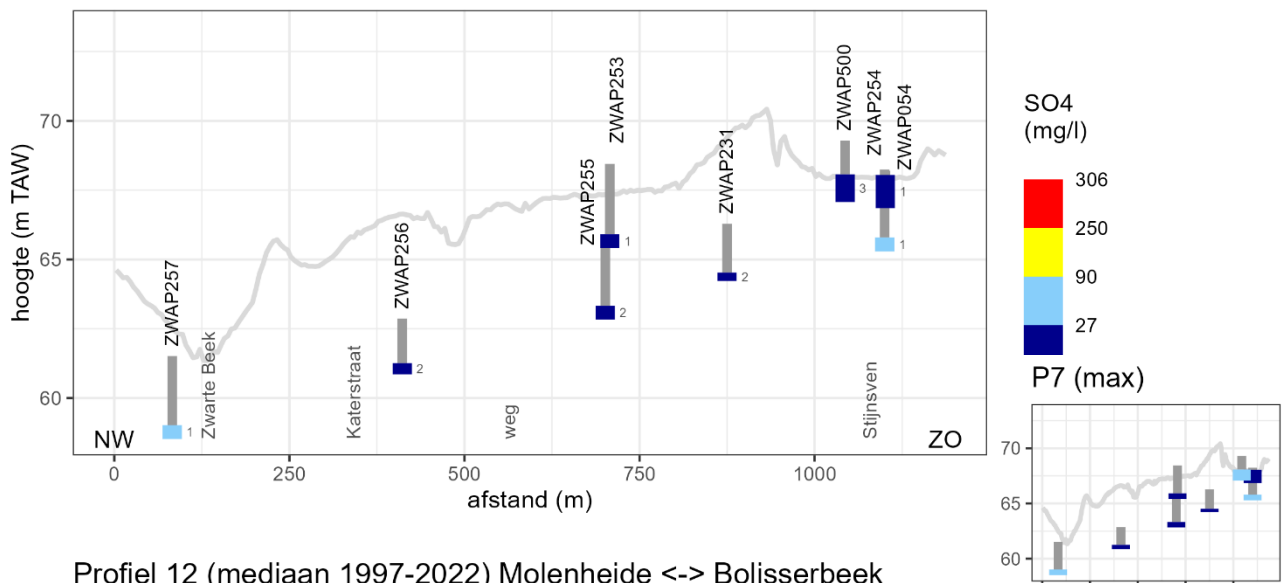
Profiel 5 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



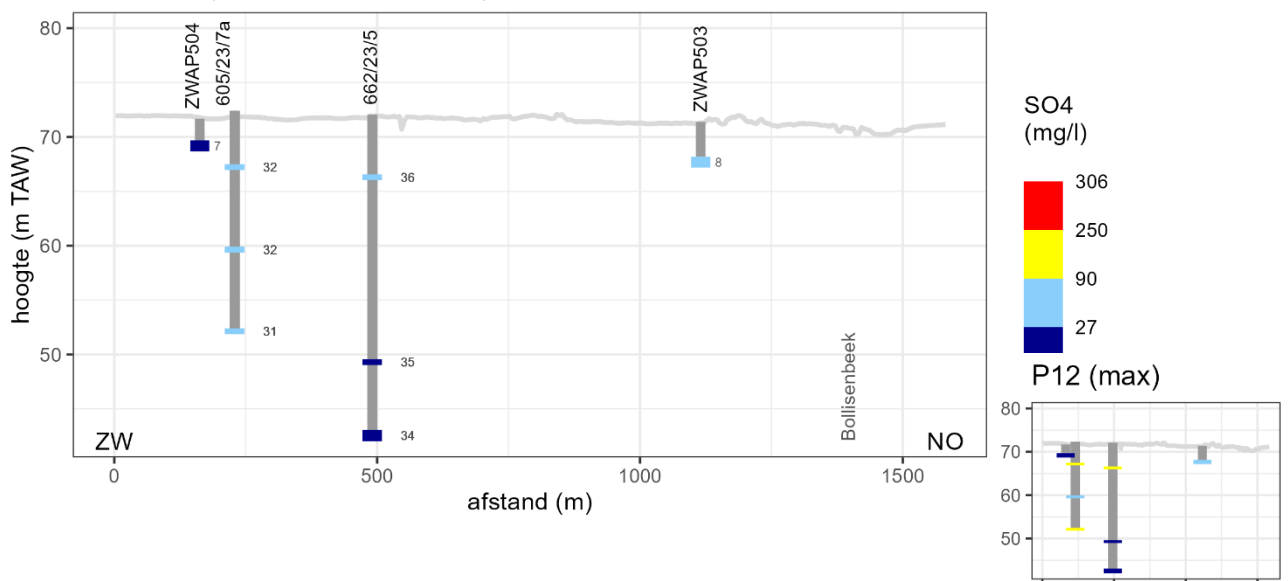
Profiel 6 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade



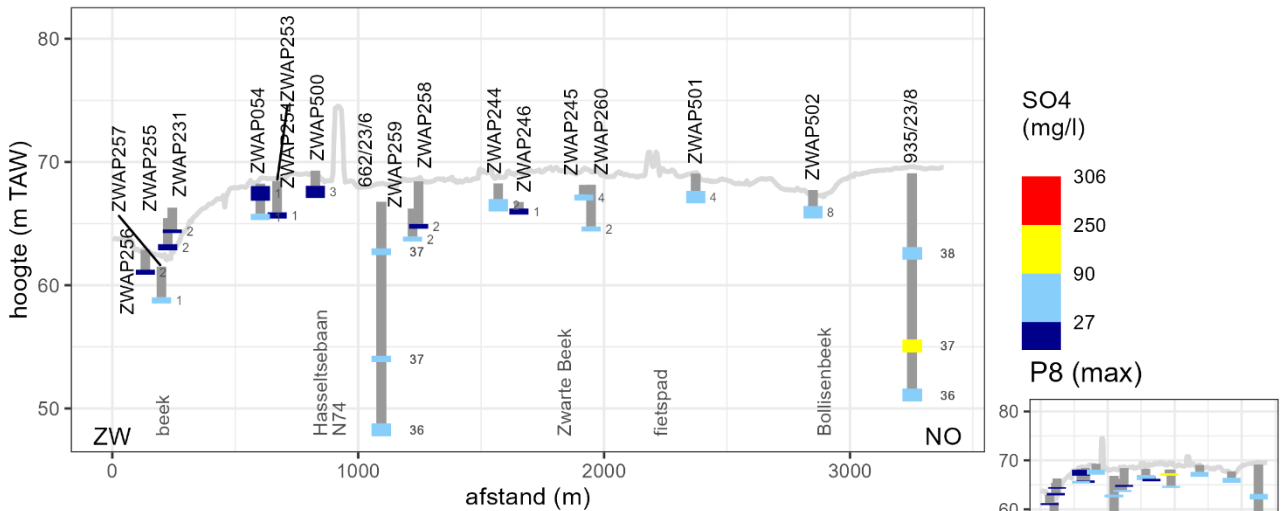
Profiel 7 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Stijnsven



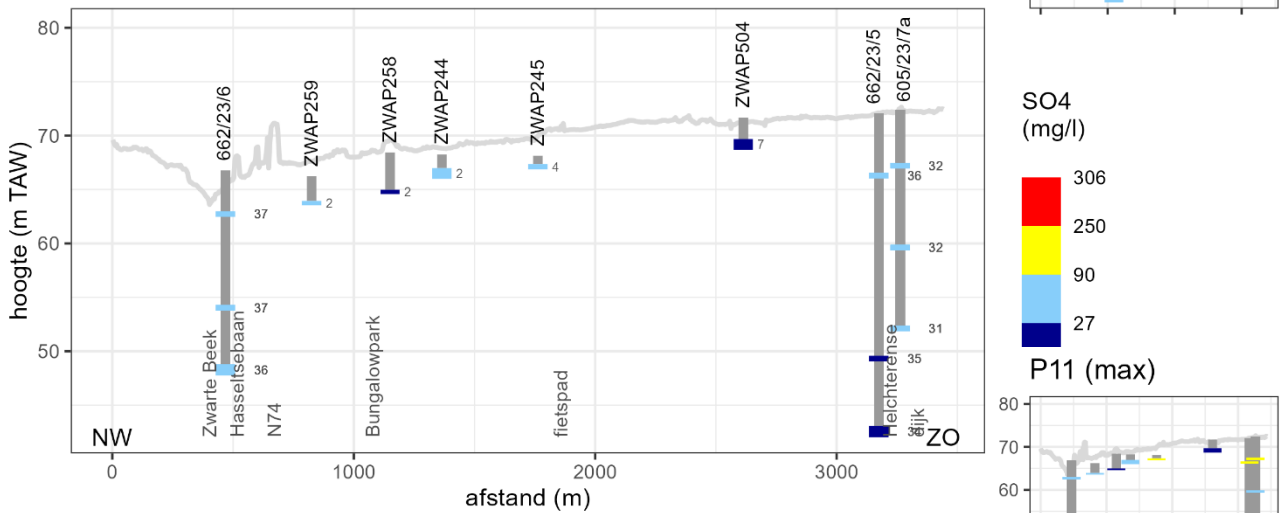
Profiel 12 (mediaan 1997-2022) Molenheide <-> Bolisserbeek



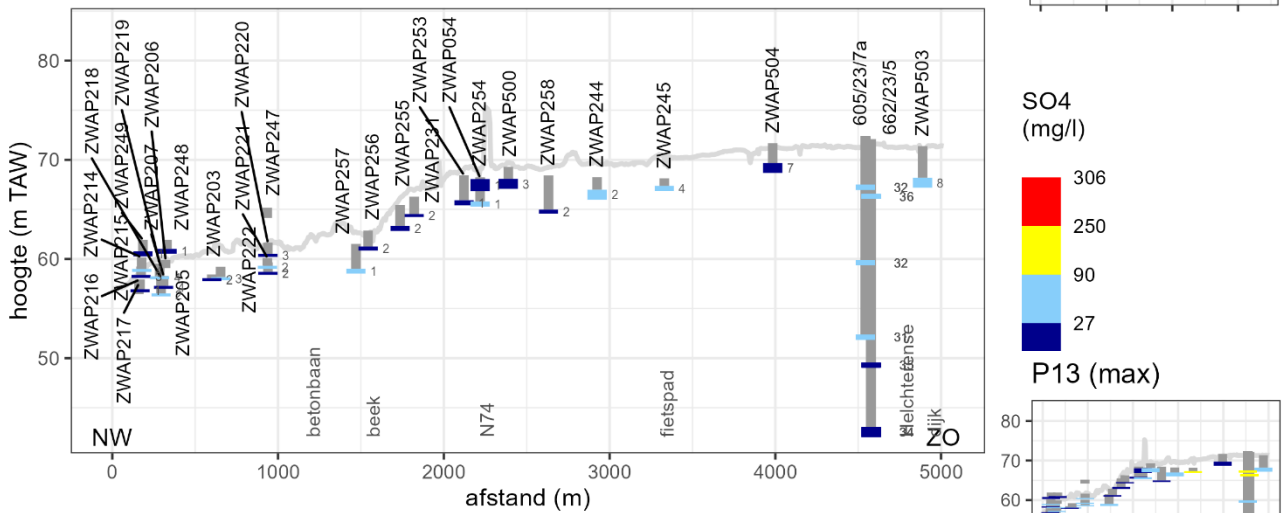
Profiel 8 (mediaan 1997-2022) Katershoeve <-> Bolisserbeek



Profiel 11 (mediaan 1997-2022) Hoef <-> Peersdijk



Profiel 13 (mediaan 1997-2022) Spiekelspade <-> Bolisserbeek



Figuur 41 Dwarsdoorsneden met de mediane concentraties sulfaat (grote figuur) en maximale concentraties (kleine figuur) per meetpunt en filter.

5.2.3 Resultaten per periode

5.2.3.1 Kaarten van de concentraties per meetpunt en filter

De figuren hieronder tonen het verloop per periode van 5 jaar van de concentraties aan nutriënten tussen 2003 en 2022. De gegevens voor 1997-2002 worden in dit rapport niet getoond omdat er enkel en alleen metingen zijn voor Kouwert (figuur 15) maar worden in de digitale bijlage ter beschikking gesteld (bijlage 5).

Voor de betekenis van de kleurschaal verwijzen we naar tabel 27. Belangrijk is dat donkerblauw voor concentraties wordt gebruikt die binnen de verwachte range voor een Limburgs landschap vallen.

Orthofosfaat

Figuur 42 laat geen duidelijke trend zien in de concentraties orthofosfaat tussen 2003 en 2022. Op de meeste locaties wordt er nauwelijks orthofosfaat aangetroffen. 2013-2017 is de enige periode waarin helemaal geen verhoogde concentraties orthofosfaat werden opgetekend. In de andere periodes wordt hier en daar een licht verhoogde concentratie geregistreerd. De hoogste orthofosfaatconcentraties werden in Kouwert gemeten in de periode 1997-2002 (zie hoger, figuur 31). Meetpunt 935/23/8 net ten noorden van de Bolisserbeek is het enige meetpunt waar licht verhoogde concentraties in meerdere periodes werd gemeten (een keer in 2004 en meerdere keren tussen 2018 en 2021), hoewel niet altijd op dezelfde diepte.

Nitriet

Ook voor nitriet is er geen duidelijke temporele trend te zien in de concentraties (figuur 43). Zoals voor orthofosfaat is 2013-2017 de enige periode waarin helemaal geen verhoogde concentraties werden opgetekend.

Ammonium

Voor ammonium worden de hoogste concentraties in de periode 2018-2022 waargenomen (figuur 44), maar matig verhoogde concentraties worden sinds 2003 plaatselijk geregistreerd.

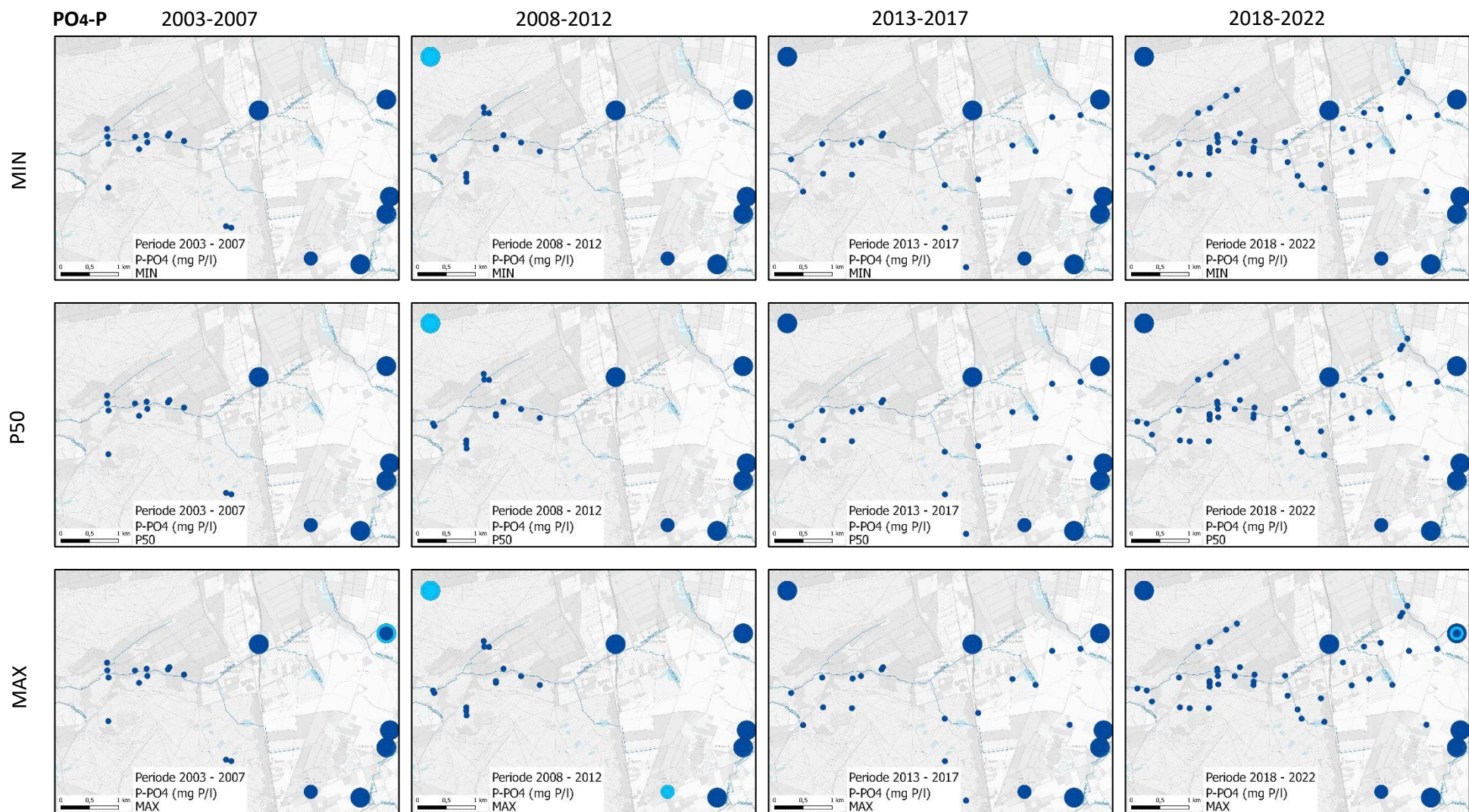
Nitraat

Ook voor nitraat kunnen we niet spreken van een temporele trend: sinds 2003 worden consistent (sterk) verhoogde concentraties nitraat gemeten in de meeste meetpunten gelegen in landbouwgebied (figuur 45).

Sulfaat

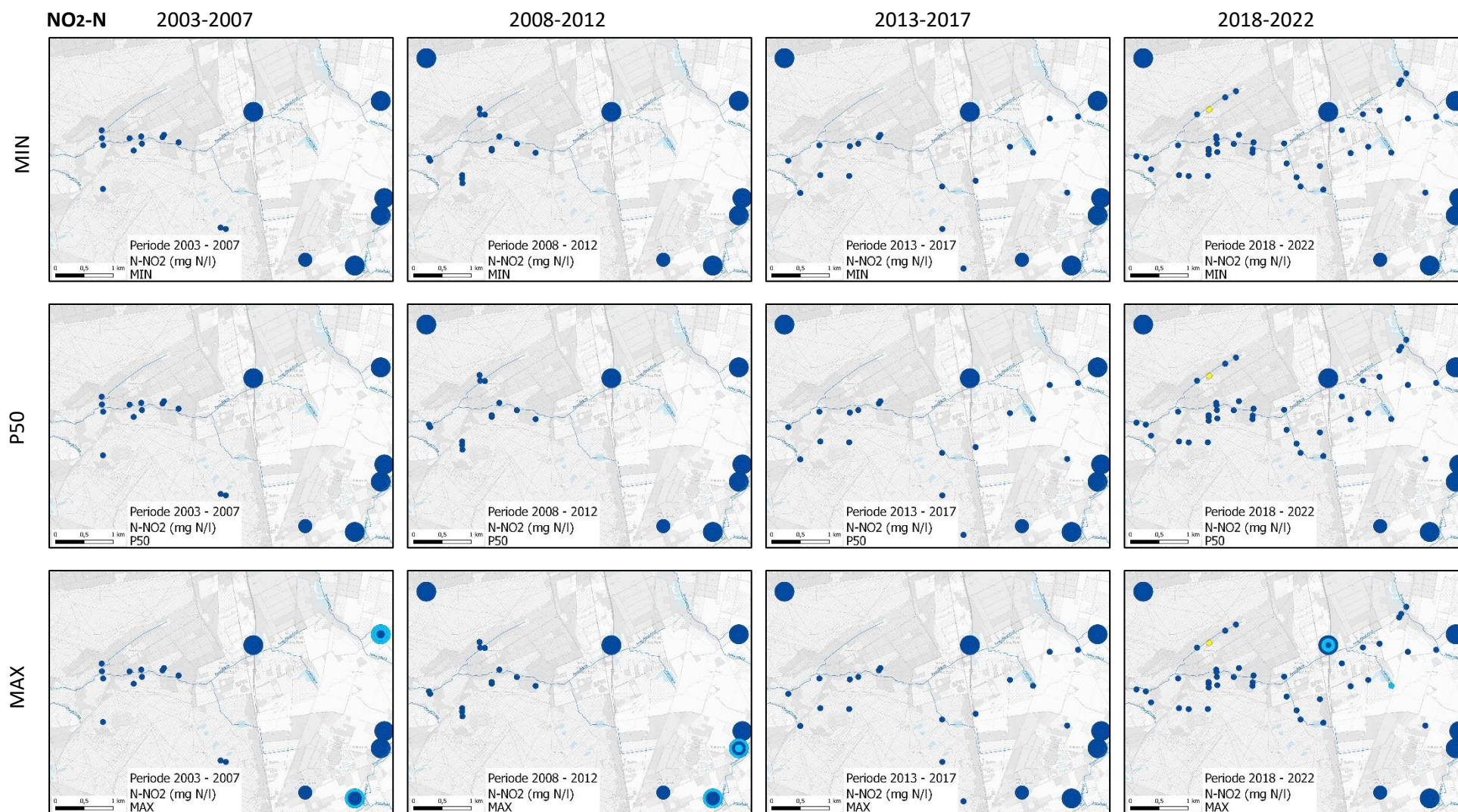
Voor sulfaat was de situatie in landbouwgebied wat beter in de periode 2003-2007. Sinds 2008 zijn er meer meetpunten met verhoogde concentraties sulfaat en zijn de maximale concentraties ook hoger (figuur 46).





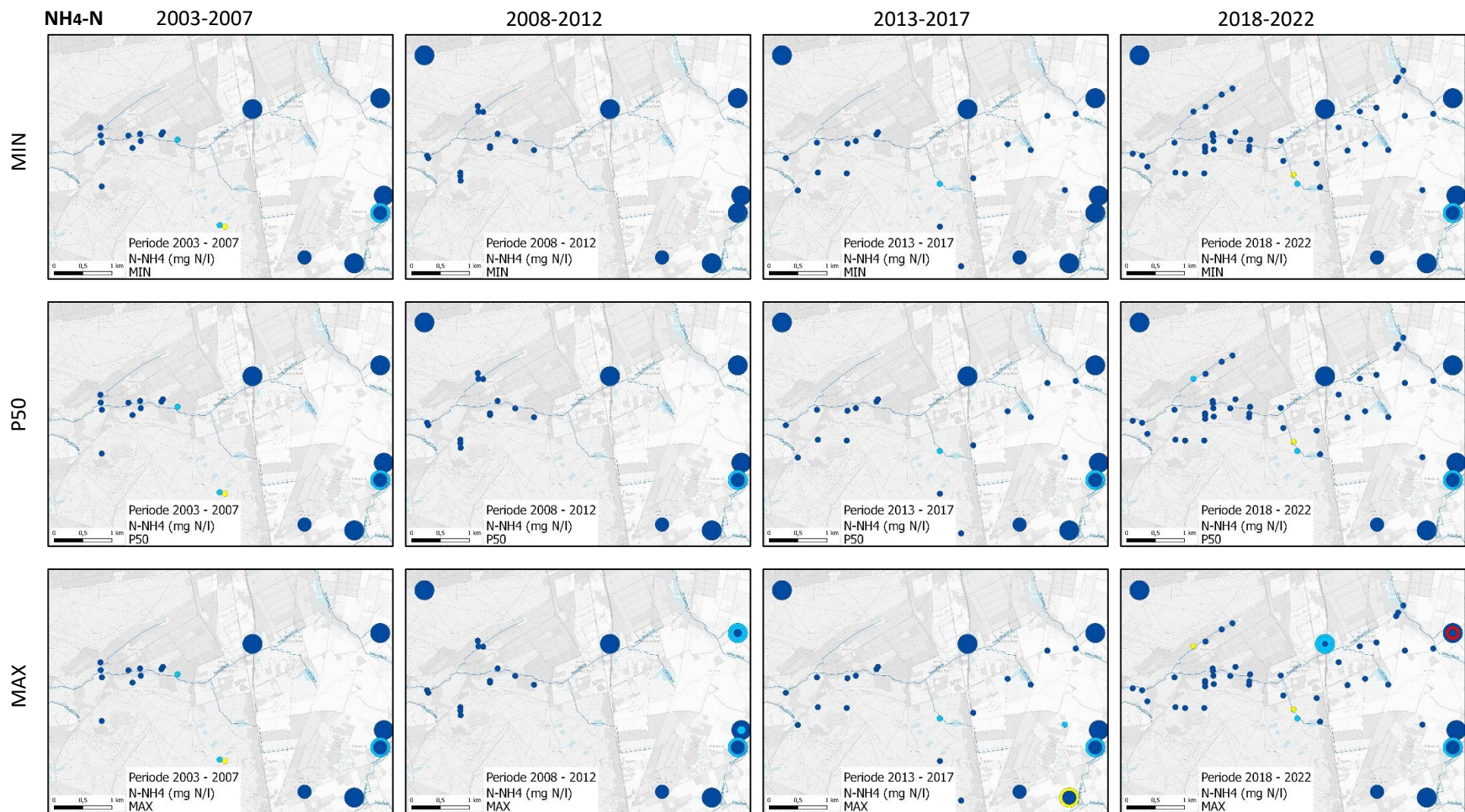
Figuur 42 Concentratie orthofosfaat-fosfor in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.





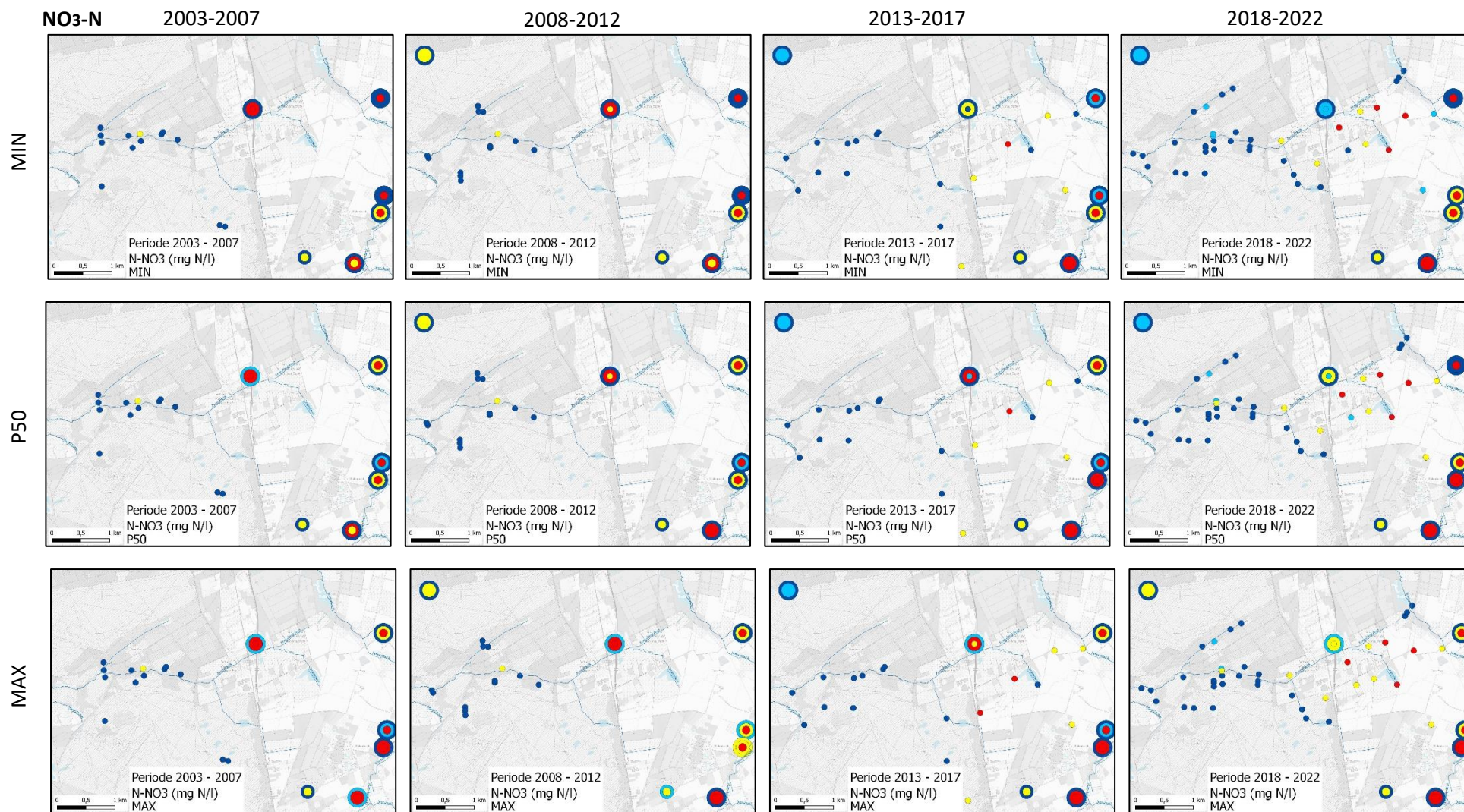
Figuur 43 Concentratie nitriet-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.





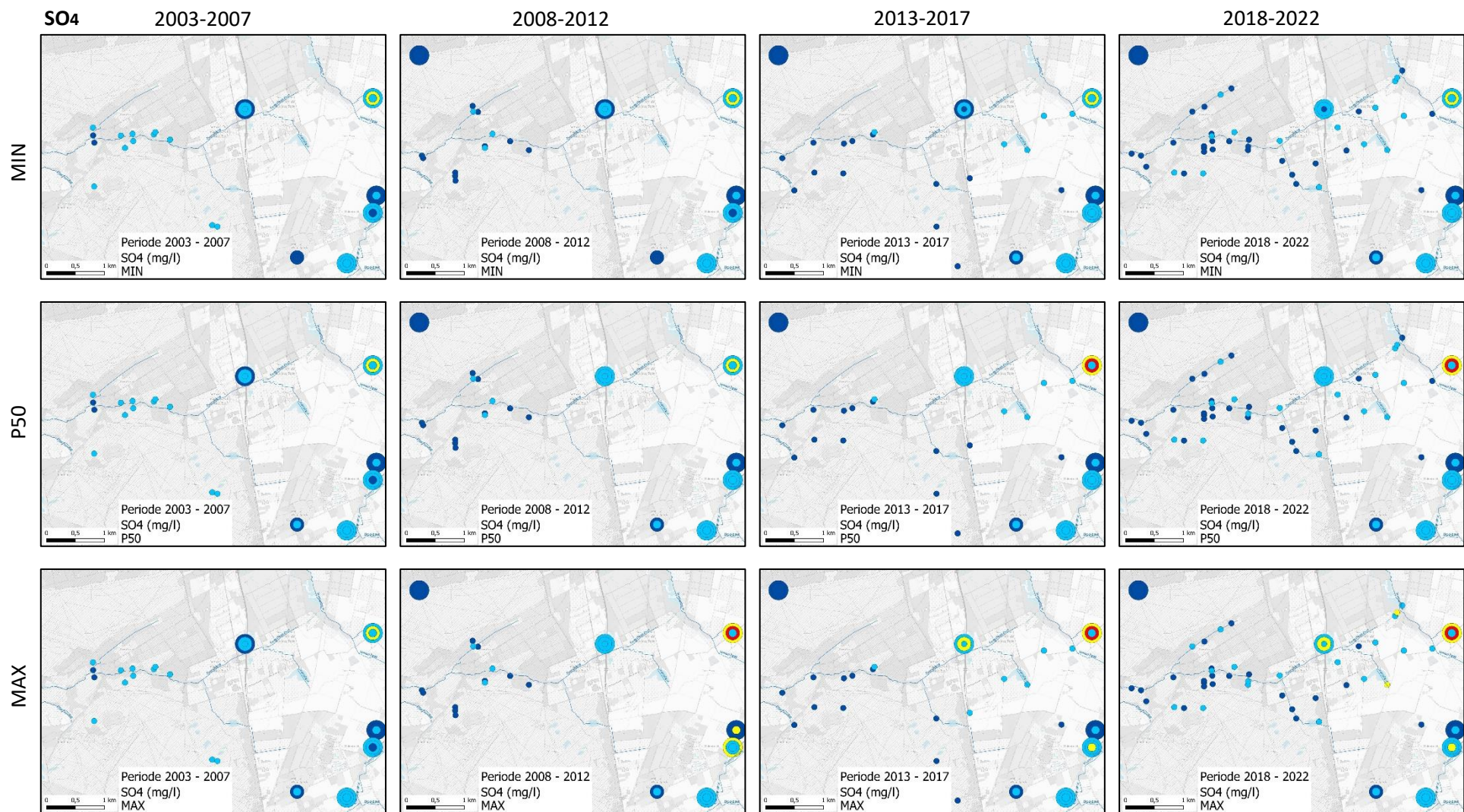
Figuur 44 Concentratie ammonium-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.





Figuur 45 Concentratie nitraat-stikstof in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum





Figuur 46 Concentratie sulfaat in het grondwater per periode. Boven: minimum, midden: mediaan (50e percentiel P50) en onder: maximum.



5.2.3.2 Dwarsdoorsneden door het landschap

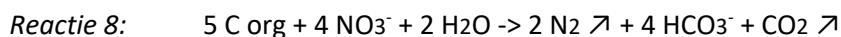
Omdat we geen duidelijke temporele trends vaststellen, worden de dwarsdoorsneden per nutriënt en periode niet in dit rapport besproken. Ze worden wel in bijlage 7 (digitaal) ter beschikking gesteld.

5.2.4 **Treedt er nitraatreductie op?**

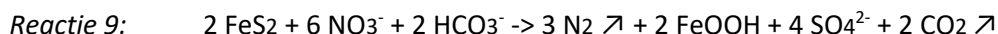
Uit de metingen in de ondergrond van dit gebied blijkt duidelijk dat er heel hoge nitraatconcentraties in het ondiep freatisch grondwaterpakket kunnen optreden, terwijl de concentraties nitraat in de diepere filters (dieper dan 20-30 m onder maaiveld) vrij consistent laag blijven. Dit is een aanwijzing dat nitraat in de ondergrond omgezet wordt in andere verbindingen.

De meest voorkomende reacties die in de ondergrond tot denitrificatie kunnen leiden zijn nitraatreductie met organisch materiaal en pyrietoxidatie met vorming van sulfaat:

- Nitraatreductie met organisch materiaal (volgens Appelo & Postma, 1993)



- Nitraatreductie met pyrietoxidatie (volgens Appelo & Postma, 1993)



In welke mate zouden deze reacties kunnen bijdragen tot de afname van de nitraatconcentraties in de diepere ondergrond van dit gebied?

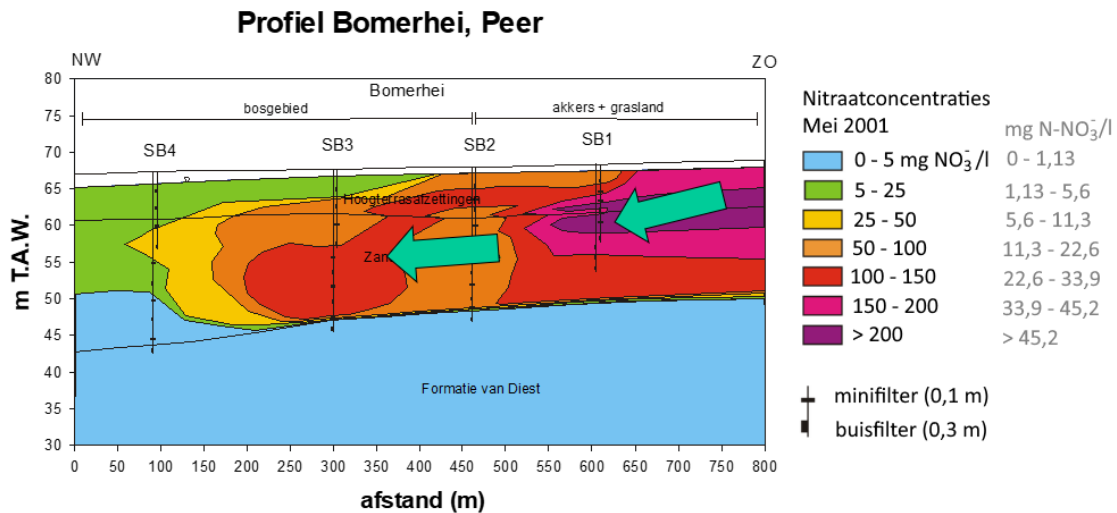
Om deze vraag te beantwoorden kunnen we ons baseren op de studie van Eppinger en Walraevens (2003) die de nitraatverspreiding in het grondwater op vijf Vlaamse testsites hebben bestudeerd. Daarbij hebben ze ook de natuurlijke mechanismen onderzocht ter verwijdering van nitraat uit de aquifer, met name de nitraatreductieprocessen. Een van de testsites van hun studie is gelegen op korte afstand van het brongebied van de Zwarte Beek, nl. in Peer (Bomerhei) en kan ons meer inzicht geven in de processen die hier relevant zijn.

(naar Eppinger en Walraevens, 2003):

De testsite in Peer werd uitgerust met verschillende multilevel-putten (putten met gemiddeld 10 filters op verschillende diepten) en de waterchemie en het voorkomen van nitraatreducerende stoffen werden geanalyseerd.

Uit de uitgevoerde metingen bleek dat de nitraatcontaminatie destijds (in 2001) al diepere gedeeltes van de watervoerende laag had bereikt (figuur 47): tot ca 21 m onder het maaiveld konden sterk verhoogde concentraties nitraat worden vastgesteld. De milieukwaliteitsnorm werd zelfs overschreden. De nitraten waren duidelijk van de oostelijke landbouwgebieden afkomstig en werden door de trage grondwaterstroming onder het bosgebied getransporteerd. De hoogste concentraties werden direct onder de landbouwpercelen gemeten.

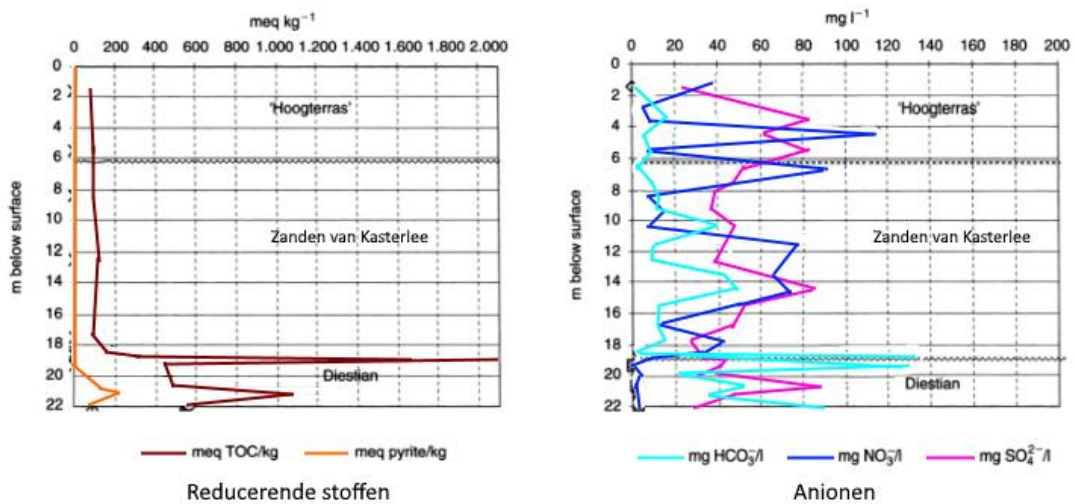




Figuur 47 Nitraatconcentraties gemeten in Peer (Eppinger en Walraevens 2003). Laterale grondwaterstroming van zuidoost naar noordwest (rechts naar links).

De ondiepe ondergrond (hoogterrasafzettingen en zanden van Kasterlee) was sterk geoxideerd en bevatte praktisch geen nitraatreducerende stoffen meer om de verspreiding van nitraat tegen te houden (figuur 48 links). De zanden van Diest daaronder vormen zowel een hydraulische barrière (lage permeabiliteit) als een reactieve barrière: nitraat reageert met een fossiele organische bodemlaag (hoge concentratie TOC = koolstof).

Eppinger en Walraevens (2003) interpreteren de veranderingen van de anionenconcentraties, en vooral de toename van de bicarbonaatconcentraties HCO_3 rond 18 – 20 m diepte (figuur 48 rechts) door de reactie (reductie) van nitraat met oxidatie van organisch materiaal.

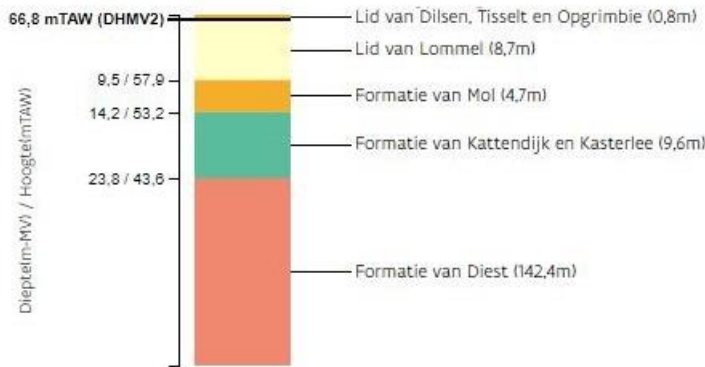


Figuur 48 Concentraties reducerende stoffen en anionen in Peer (Eppinger en Walraevens 2003). TOC = total organic carbon. Links: het gehalte aan pyriet en vooral organische stof is merkkelijk hoger in de formatie van Diest dan in de hoger gelegen zanden van Kasterlee en in de hoogterrasafzettingen. Rechts: de concentratie nitraat neemt opvallend af in de formatie van Diest terwijl de concentratie bicarbonaat stijgt.

We vroegen ons af of deze conclusie ook compatibel is met de andere gegevens beschikbaar in dit gebied.

Figuur 49 geeft een indruk van de opbouw van de ondergrond in het studiegebied (DOV). Deze virtuele boring is het resultaat van een interpolatie van de waarnemingen tussen verschillende boringen en is louter indicatief. Filters dieper dan 18 - 25 m onder maaiveld zouden zich in de zanden van Diest moeten bevinden.

Geologisch 3D-model (v3.1) - per lid

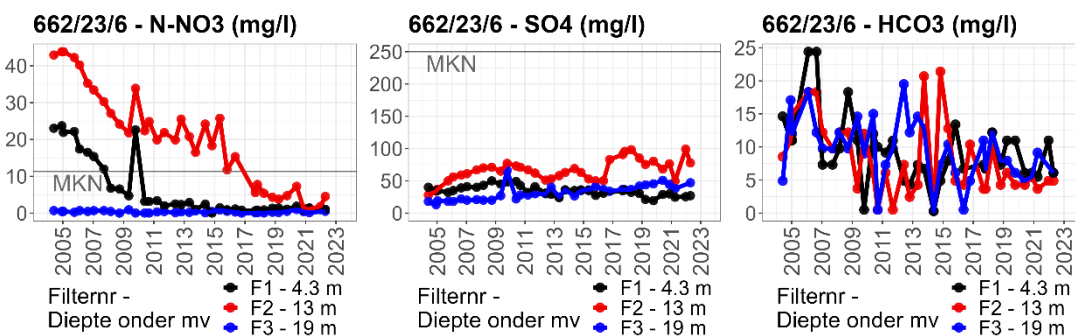


Figuur 49 Geologische opbouw ter hoogte van meetpunt 662/23/6, gelegen bij de N74. Data: DOV.

Hieronder geven we enkele voorbeelden van het verloop van de concentraties nitraat, sulfaat en bicarbonaat in het gebied.

Meetpunt 662/23/6 (bij N74)

Volgens DOV bevindt de grens tussen Kasterlee en Diest zich hier op ca 24 m onder maaiveld (geïnterpoleerde gegevens). Het boorrapport voor dit meetpunt vermeldt dat Quartair tot 8 m onder maaiveld reikt. Daaronder (8 -22 m onder maaiveld) wordt de ondergrond toegewezen aan de 'Zanden van Diest', in dit geval te interpreteren als de zanden van Kasterlee (vroeger kon de term 'Diestiaan' gebruikt worden voor de formaties van Kattendijk, Kasterlee én Diest).

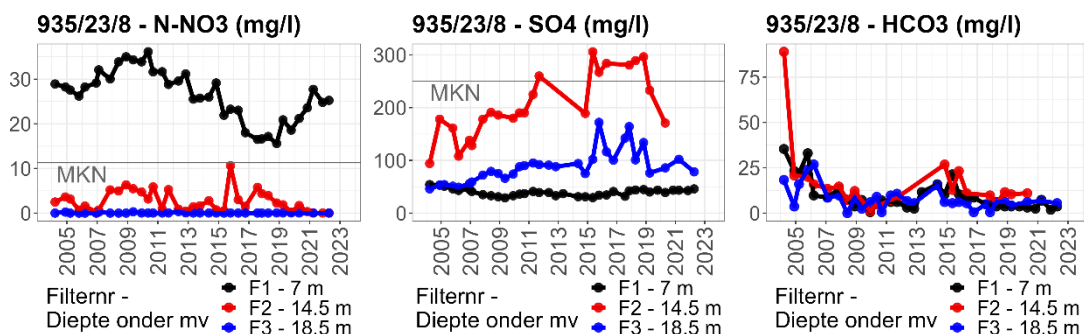


Figuur 50 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van 662/23/6 (meetpunt gelegen bij de N74). Data: DOV.

Op 19 m diepte is er bijna geen nitraat meer in het grondwater, wat vrij goed overeenkomt met wat Eppinger en Walraevens (2003) in Bomerhei hebben vastgesteld. Echter, er zijn hier op 19 m diepte geen verhoogde concentraties bicarbonaat te zien en de concentraties sulfaat zijn ook niet systematisch verhoogd. De oorzaak van de lage nitraatconcentraties blijft dus onduidelijk.

Meetpunt 935/23/8 (landbouwgebied ten noorden van de Bolisserbeek)

Volgens DOV bevindt de grens tussen Kasterlee en Diest zich hier op ca 27 m onder maaiveld. Het boorrappport vermeldt dat de grens tussen Quartair en formatie van Kasterlee op 5,3 m onder maaiveld ligt. Op 18,5 m onder maaiveld ligt filter 3 in de formatie van Kasterlee.

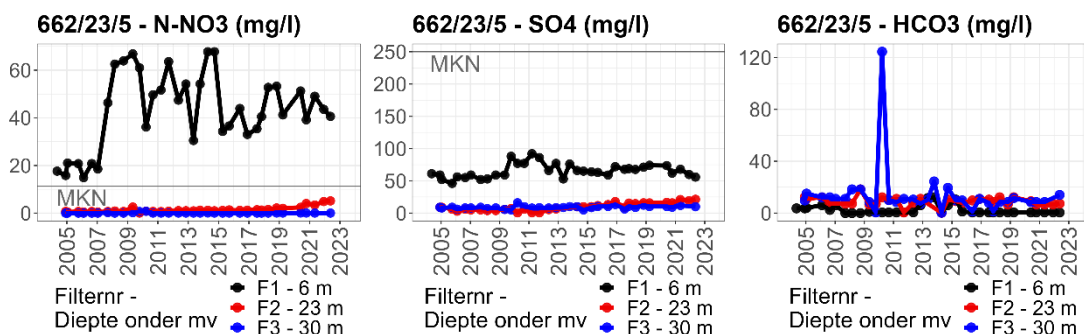


Figuur 51 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 935/23/8 (landbouwgebied ten noorden van de Bolisserbeek). Data: DOV.

Op 18,5 m onder maaiveld (blauwe lijn) blijft de concentratie nitraat steeds laag terwijl de ondiepere filters verhoogde concentraties nitraat vertonen. De concentratie bicarbonaat op 18,5 m diepte is niet hoger dan bij de ondiepere filters: er is hier dus geen aanwijzing dat denitrificatie in aanwezigheid van organisch materiaal optreedt. De concentratie sulfaat daarentegen is meestal hoger op 18,5 m dan op 7 m diepte, maar blijft veel lager dan de concentraties op 14,5 m diepte. Een verhoogde concentratie sulfaat kan wijzen op denitrificatie in aanwezigheid van pyriet, wat waarschijnlijk is in de pyrietrijke formatie van Diest (filter op 18,5 m), en mogelijk is in de zanden van Kasterlee (filter op 14,5 m). We beschouwen dit echter niet als dé definitieve verklaring voor de heel hoge sulfaatconcentratie op 14,5 m diepte omdat Eppinger en Walraevens (2003) relatief weinig pyriet in de zanden van Kasterlee in Bomerhei hebben aangetroffen (Figuur 48). Mogelijks zijn de zanden van Kasterlee hier rijker aan pyriet, maar evengoed is er een andere bron van sulfaat (bijv. stortplaats, ...) in de omgeving.

Meetpunt 662/23/5 (landbouwgebied ten oosten van Molenheide)

Volgens DOV bevindt de grens tussen Kasterlee en Diest zich hier op ca 25 m onder maaiveld. Volgens het boorrappport voor dit punt reikt het Quartair tot 6 m onder maaiveld. Daaronder begint het 'Diestiaan' (zanden van Kasterlee).

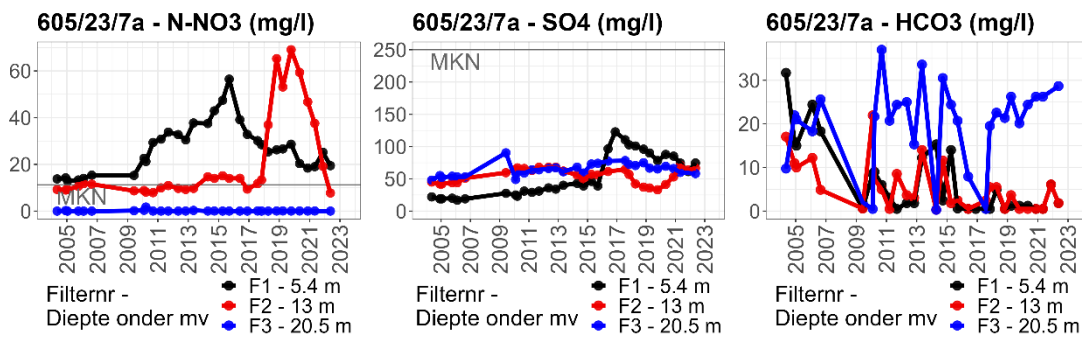


Figuur 52 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 662/23/5 (landbouwgebied ten oosten van Molenheide). Data: DOV.

Zowel filter 2 (op 23 m diepte) als filter 3 (op 30 m diepte) vertonen lage concentraties nitraat. In filter 2 is er echter een lichte toename op het einde van de tijdreeks (ongeveer sinds 2020). De concentratie bicarbonaat van de diepste filters is ietsje hoger dan op 6 m, maar niet even duidelijk verhoogd als in de studie van Eppinger en Walraevens.

Meetpunt 605/23/7a (landbouwgebied ten oosten van Molenheide)

Volgens DOV bevindt de grens tussen Kasterlee en Diest zich hier op ca 25 m onder maaiveld. Volgens het boorrapport reikt het Quartair tot 8 meter onder maaiveld en daaronder start het 'Diestiaan' (zanden van Kasterlee)



Figuur 53 Concentraties nitraat-stikstof, sulfaat en bicarbonaat ter hoogte van meetpunt 605/23/7a (landbouwgebied ten oosten van Molenheide). Data: DOV.

Enkel filter 3 (op 20,5 m diepte) vertoont een lage concentratie nitraat. De concentratie bicarbonaat is op deze diepte hoger dan de concentratie op 13 en 5,4 m diepte, wat op een denitrificatie met afbraak van organisch materiaal zou kunnen wijzen, echter zonder zekerheid.

In alle gevallen lijken de consistent lage concentraties nitraat ter hoogte van de diepere filters te wijzen op reducerende processen in de ondergrond. Maar zonder over gedetailleerde metingen te beschikken van de concentraties pyriet en organisch materiaal in de ondergrond is het erg moeilijk om dit met zekerheid toe te schrijven aan denitrificatie met de een, dan wel met de andere (of een combinatie van de 2).

5.2.5 Conclusies: grondwaterkwaliteit in het gebied

Uit de beschikbare gegevens blijkt dat de concentraties **ammonium en nitriet** in het grondwater van dit gebied meestal laag blijven: de meeste metingen zijn compatibel met de range waargenomen onder natuurlijke omstandigheden. Verhoogde concentraties ammonium komen op verschillende meetlocaties voor, zowel in het militair domein als in het landbouwgebied terwijl de meeste locaties met verhoogde concentraties nitriet zich ten oosten van de grote baan bevinden.

Ook de concentraties **orthofosfaat** zijn op de meeste meetlocaties laag. Verhoogde concentraties worden echter ook plaatselijk gemeten, en dit zowel binnen het landbouwgebied als in het natuurgebied stroomafwaarts. De heel hoge fosfaatverzadigingsgraad gemeten in de bodem van verschillende percelen in het landbouwgebied vertalen zich tot nu toe niet tot verhoogde concentraties orthofosfaat in het (ondiepe) grondwater.

De concentraties **nitraat** vertonen een heel ander patroon: er zijn veel meetlocaties met verhoogde en soms heel sterk verhoogde concentraties. De hoogste waarden worden gemeten in het landbouwgebied en in de zone rond het bungalowpark. Enkel de diepere lagen (18-30 m

onder maaiveld) worden gespaard: waarschijnlijk wordt nitraat in de diepe ondergrond gereduceerd. In de kwelzones van Spiekelspade en van de Kouwert blijven de concentraties nitraat meestal laag, maar worden er op verschillende meetlocaties toch verhoogde waarden geregistreerd. Op de dwarsdoorsnedes door het landschap is er een pluim van verhoogde concentraties te zien die de ondergrond van het landbouwgebied inneemt tot een diepte van 10-15 m onder maaiveld. Dit geeft duidelijk aan dat het landbouwgebied als bron van nitraat fungeert dat zich door de ondergrond verder verspreidt.

De concentraties **sulfaat** ten slotte zijn op veel locaties hoger dan wat verwacht wordt onder natuurlijke (pre-industriële) omstandigheden. Dit geldt zowel in natuurgebied als in landbouwgebied en er tussenin. De hoogste waarden worden echter in het landbouwgebied gemeten.

5.2.6 Aanbevelingen voor de monitoring

Grondwater

Als de eigendomstoestand het in de toekomst toelaat, zou het interessant zijn om extra piëzometers in het centrale landbouwgebied te plaatsen. Daar is er momenteel geen informatie beschikbaar over grondwaterkwaliteit. Het lijkt ons aangewezen om minstens een extra meetpunt ter hoogte van de percelen met de hoogste fosfaatverzadigingsgraad te plaatsen (zie Herr et al. 2015 of Landmax 2023), of net ten westen daarvan (cf. richting van de grondwaterstroming naar de vallei van de Zwarte Beek).

Als er budget daarvoor is, zou in deze zone een piëzometersnest met filters op verschillende diepten geplaatst kunnen worden. Om de meeste informatie uit dit nieuwe meetpunt te halen zou het heel nuttig zijn om 3 filters te voorzien:

- een ondiep filter (< 5 m, idealiter < 3 m),
- een filter in de Zanden van Kasterlee (zone waar volgens Eppinger & Walraevens al veel nitraat gereduceerd is, tussen 8 m en 15-20 m ongeveer),
- en indien mogelijk een filter in de onderliggende Diestiaanse afzettingen (> 25 m).

Daarnaast stellen we voor om de recent geplaatste piëzometers en een selectie van andere piëzometers regelmatig te blijven bemonsteren, bijv. om de 2-3 jaar:

- In het landbouwgebied: ZWAP501, 502, 503, 504,
- In de zone tussen landbouwgebied en militair domein (zone rond en ten noorden van het Zwart Water): ZWAP244, 245, 258, 246, 260, 259,
- In de zone net ten oosten van de grote baan: P253, P255, P256, P231, P254,
- In het militaire domein: minstens een piëzometer per meetraai in Spiekelspade, met een voorkeur voor de locaties ten zuiden van de beek.

We gaan ervan uit dat de meetpunten uit DOV ook opgevolgd zullen worden door de VMM.

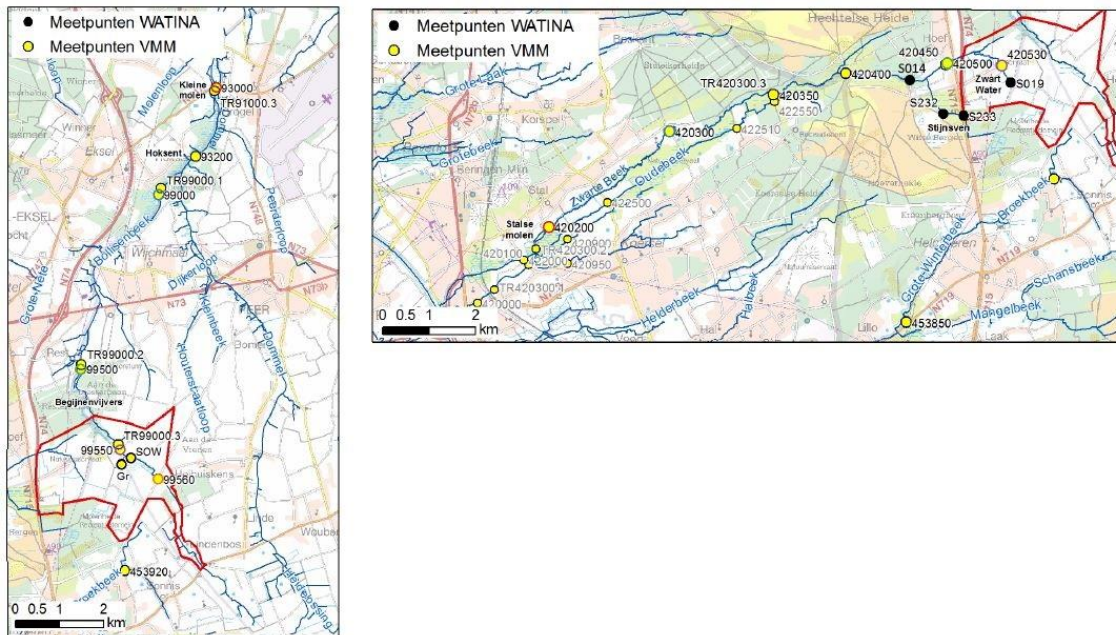
Het lijkt ons bovendien aangewezen om de bestaande meetpunten opnieuw te bemonsteren waar in het verleden verhoogde concentraties werden gemeten zonder duidelijke oorzaak. We denken in eerste instantie aan de locaties in het militair domein en in de zone tussen landbouwgebied en militair domein.



Oppervlaktewater

Er zijn meerdere elementen die erop wijzen dat het landbouwgebied aan de 'Grote Heide' als bron van nutriënten via oppervlaktewater fungeert, en dit zowel naar de Bolisserbeek als naar de Zwarte Beek (zie samenvatting in Herr et al., 2015). Het lijkt dus aangewezen om een aantal meetpunten te blijven opvolgen.

De kaart hieronder geeft de ligging van de meetpunten voor oppervlaktewater in de omgeving. Niet alle meetpunten worden echter nog opgevolgd.



Figuur 54 Meetpunten van VMM en INBO op de Dommel en Bolisserbeek. Gr (gracht) en SOW zijn extra meetpunten naar aanleiding van het milieu-incident van 29/10/2013 waarbij overgelopen digestaat vanuit een CO-vergiftigingsinstallatie de Bolisserbeek bereikte

Zwarte Beek

- De CTD-loggers ter hoogte van de inloop van het Zwarte Water en op de grens van het militair domein (INBO) blijven actief (ZWAS019 en ZWAS014, monitoring van de elektrische geleidbaarheid),
- 420530: data t.e.m. 2020 (maar kan droogvallen of tenminste: de stroming kan stilvallen)
- 420500: data t.e.m. 2016
- 420300: data t.e.m. 2020

Bolisserbeek

- 99560: data t.e.m. 2020
- Gr, SOW: extra metingen naar aanleiding van het milieu-incident van 2013, geen regelmatige opvolging
- 99550: data t.e.m. 2020
- 99500: data t.e.m. 2011 (maar niet jaarlijks)

De keuze van de meetlocaties gebeurt best in overleg met de VMM. Voor de Zwarte Beek lijken ons alle gekende meetlocaties interessant: als één locatie geschrapt moet worden is het 420530 die in de zomer heel weinig water bevat (de CTD-logger aan het Zwart Water blijft nuttig om de input van nutriënten in dit deel van het landschap op te volgen). Voor de Bolisserbeek zou het nuttig kunnen zijn om 99550 en 99560 te blijven monitoren.

Bodem

Als beslist wordt om uitmijnen op een deel van de percelen uit te testen, is het sterk aanbevolen om de evolutie van de fosforconcentraties in de bodem op te volgen. Het lijkt ons aangewezen om Olsen P, oxalaat-extraheerbaar P, Al en Fe en de fosfaatverzadigingsgraad te laten analyseren.

5.3 IMPACT OP DE SEMI-TERRESTRICHE VEGETATIE

In dit hoofdstuk wordt, aan de hand van de belangrijkste beschikbare vegetatie datasets, bekeken in welke mate de vegetatiesamenstelling op eutrofiëring wijst.

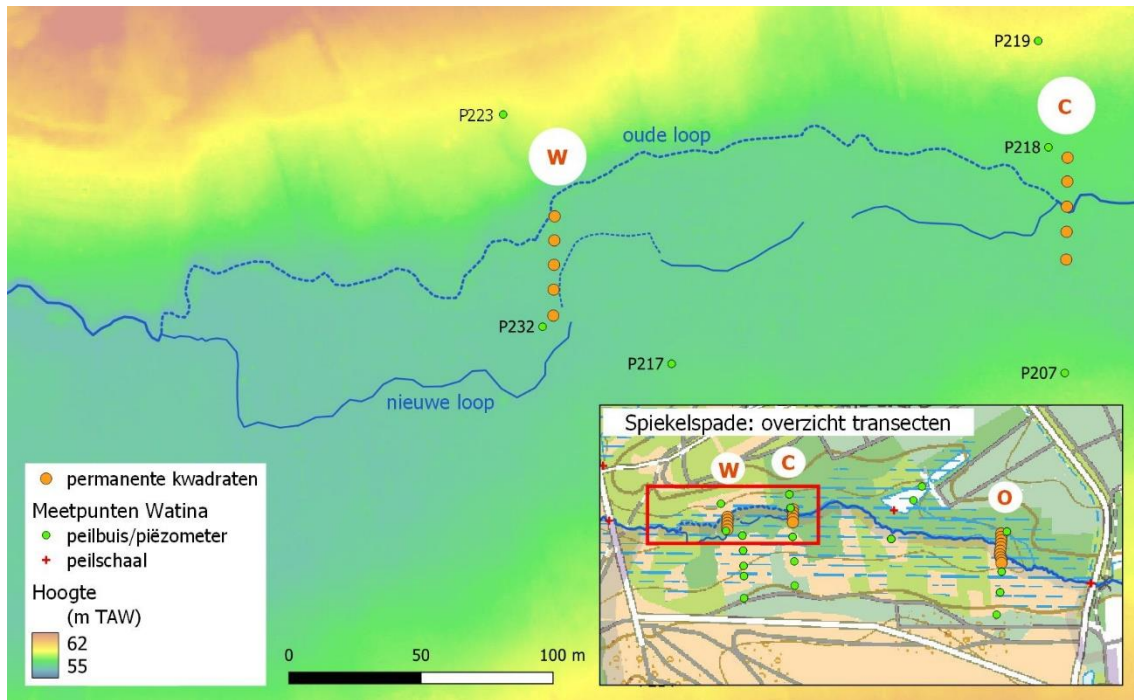
Om de evolutie van de vegetatiesamenstelling op een objectieve en reproduceerbare manier in beeld te kunnen brengen werden 3 transecten met permanente kwadraten geïnstalleerd. Daarnaast brengen we ook bestaande losse waarnemingen en vegetatieopnamen samen.

5.3.1 Transecten in Spiekelspade

Op 24/8/2022 werden 3 transecten dwars op de vallei van de Zwarte Beek afgelegd, ter hoogte van Spiekelspade (figuur 55). De aanwezige vegetatie in de kruidlaag werd in Noord-Zuid georiënteerde permanente kwadraten van 2 m breedte (W-O) op 10 m lengte (N-Z) gedocumenteerd. De bedekking per soort werd op terrein ingeschat met behulp van de schaal van Londo (Londo 1975), en vervolgens omgezet naar percentages. Alle vaatplanten en de veel voorkomende mossoorten die zonder gedetailleerd microscopisch onderzoek op naam kunnen worden gebracht, werden opgenomen. Deze vegetatiegegevens werden in de Vlaamse databank met vegetatieopnamen INBOVEG ingegeven.

Situatieschetsen van de proefvlakken worden in bijlage 8 ter beschikking gesteld.





Figuur 55 Ligging van de vegetatietransecten in Spiekelspade met aanduiding van de oude en nieuwe loop van de Zwarte Beek.

Om de versturende invloed van beheer op de resultaten te vermijden werden de vegetatieopnamen beperkt tot de beboste zone van de vallei.

Het oostelijke transect ten noorden van de Zwarte Beek herbergt een veenmosrijk elzenbroekbos dat bij het oligotroof berkenbroekbos (habitatsubtype 91E0_vo) aanleunt (foto 1). Op de andere geïnventariseerde locaties wordt een mesotroof elzenbroekbos (habitatsubtype 91E0_vm) aangetroffen. Ten tijde van de opnamen in 2022 zijn er daar talrijke sporen van activiteit van everzwijnen.



Foto 1 Links: veenmosrijk berkenbroekbos (transect O). Rechts: mesotroof elzenbroekbos/moerasbos met indicatoren voor verzuuring (brandnetel en waterpeper).

Ter hoogte van het oostelijke transect treedt de Zwarte Beek voor zover we kunnen inschatten vrijwel nooit uit haar oevers. De westelijke en centrale transecten daarentegen worden (deels) overstroomd en zullen in de toekomst waarschijnlijk nog vaker onder invloed van beekwater komen te staan: in dit deel van de vallei is de loop van de Zwarte Beek in de winter 2021/2022 spectaculair veranderd: waar de beek vroeger langs de noordkant van de vallei tussen opgehoogde oevers liep, kronkelt de huidige loop nu door het veenpakket in het laagste, zuidelijker gelegen gedeelte van de vallei.

In het voorjaar 2022 werd een nieuwe peilbuis (ZWAP232) op korte afstand geplaatst van de nieuwe loop van de beek (ter hoogte van het westelijke transect). Deze peilbuis is uitgerust van een filter over de volledige lengte van de buis en meet dus geen stijghoogte (waterdruk) maar effectieve waterpeilen. We hopen hiermee meer informatie te verzamelen over de frequentie, duur en hoogte van overstromingen in deze zone (ter hoogte van het vegetatietransect W).





Foto 2 Splitsing tussen de oude en nieuwe loop van de Zwarte Beek (ongeveer ter hoogte van het centrale transect). Foto: M. Wackenier (2022).



Foto 3 Nieuwe loop van de Zwarte Beek door het veenpakket in het laagste gedeelte van de vallei, op korte afstand van de graslanden en kleine zeggenvegetaties ten zuiden van de beek (zichtbaar aan de rechterkant van de foto). Foto: M. Wackenier (2022).

Om de mogelijke invloed van eutrofiëring in beeld te brengen gingen we als volgt te werk:

- Op basis van de **Ellenberg indicatorwaarden** van de aanwezige soorten (die de ecologische voorkeuren van de soorten aangeven, Hill et al. 2004 en Hill et al. 2017) werd een gewogen Ellenberggetal voor stikstof per opname berekend.
- Om de aanwezige vegetatie te karakteriseren werden verschillende indicatoren afgeleid uit de lijst van **indicatoren** gehanteerd voor de bepaling van **de lokale staat van instandhouding** (Oosterlynck et al. 2020). Voor elke vegetatieopname werd de bedekking van de sleutelsoorten van alluviale broekbossen (habitattypen oligotroof elzen- en berkenbroekbos 91E0_vo en mesotroof elzenbroekbos 91E0_vm) berekend, alsook de bedekking van de verschillende indicatoren voor verruiging/eutrofiëring in die alluviale broekbossen. De berekeningen werden uitgevoerd in R aan de hand van het LSVI package (Lommelen et al. 2022).
- Daarnaast werd het voorkomen/de bedekking van een selectie van **individuele indicatorsoorten voor verruiging en eutrofiëring** in alluviale bossen nog apart op kaart weergegeven.

5.3.2 Bestaande waarnemingen

Naast deze gestructureerde monitoring die in de toekomst moet worden voortgezet, hebben we bestaande waarnemingen van indicatoren voor eutrofiëring samengebracht.

Volgende gegevensbronnen werden geraadpleegd:

- waarnemingen.be (data tot begin februari 2023),
- waarnemingen van de habitatkarteerders van INBO,
- waarnemingen van B-WARE uitgevoerd i.h.k.v. de studie in Hoeverheide (Bobbink et al. 2007),
- INBO databank met vegetatieopnamen INBOVEG (data tot begin februari 2023)

Zoals voor de transectgegevens werden de soorten gekoppeld aan hun Ellenberg indicatorwaarden voor stikstof en werden de belangrijkste indicatoren voor eutrofiëring en verruiging apart op kaart weergegeven. De resultaten worden ter beschikking gesteld als digitale bijlage 10.

5.3.3 Resultaten

5.3.3.1 Transecten in Spiekelspade

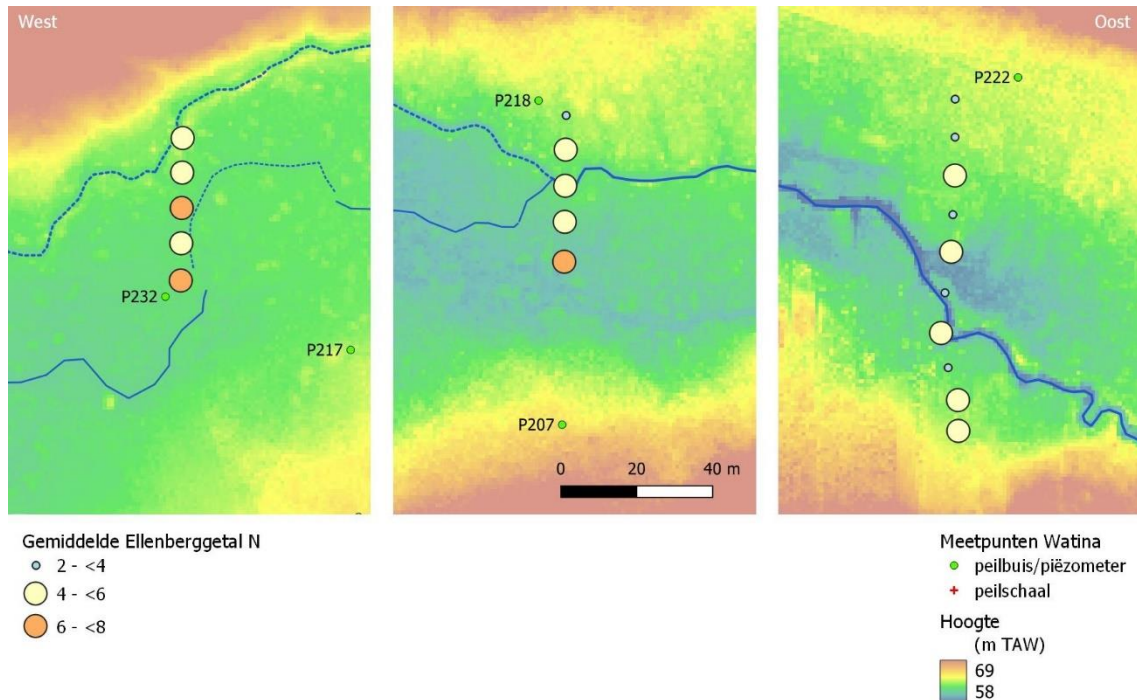
5.3.3.1.1 Ellenberg indicatorwaarden

We gebruiken Ellenberg indicatorwaarden van de aanwezige soorten als hulpmiddel om aan de hand van de vegetatie een eerste indicatie van de nutriëntentoestand te bekomen.

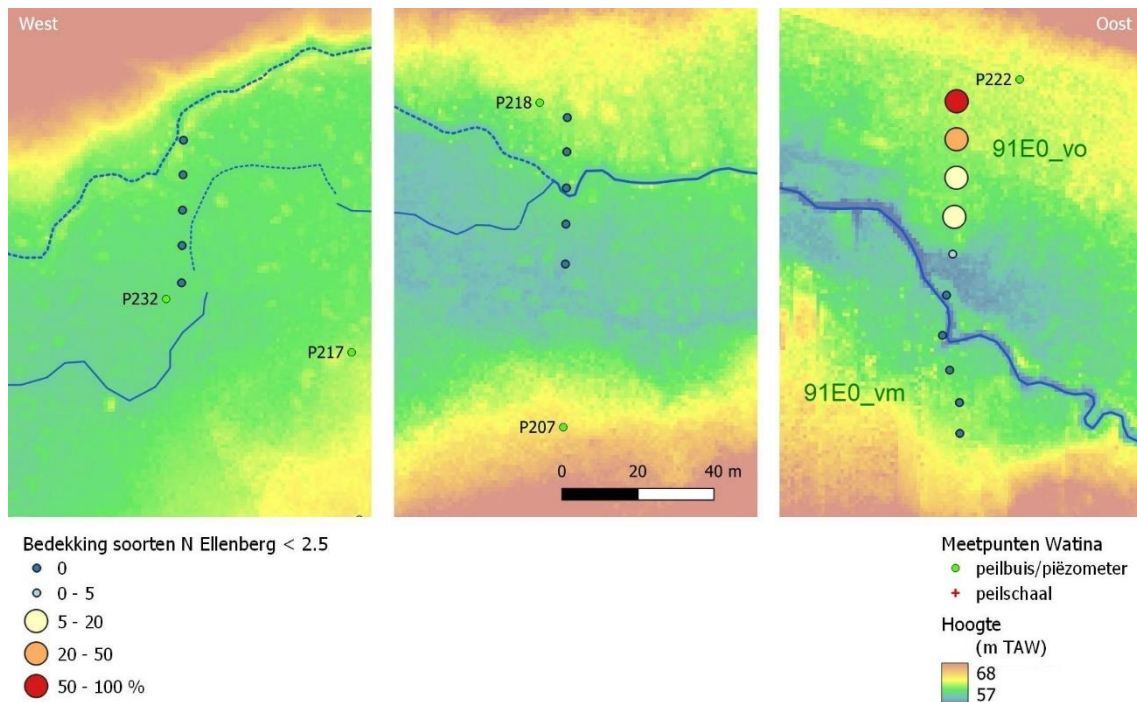
De Ellenberggetallen geven een indicatie van de ecologische voorkeuren van plantensoorten. De voedselrijkdom van de bodem kan beoordeeld worden op een schaal van 1 (stikstofarme condities) tot 9 (stikstofrijke condities). Per vegetatieopname wordt een gewogen gemiddeld indicatorgetal voor stikstof berekend, rekening houdende met de bedekking van de verschillende aanwezige soorten.

//

Het oostelijke transect vertoont in het algemeen lagere indicatorwaarden voor stikstof dan de centrale en westelijke transecten. Van nature verwachten we in dit oligotrofe berkenbroekbos (91E0_vo) heel voedselarme condities: het is dus geen verrassing dat soorten van extreem voedselarme milieus beperkt blijven tot deze zone ten noorden van de Zwarte Beek langs het oostelijke transect (figuur 57).

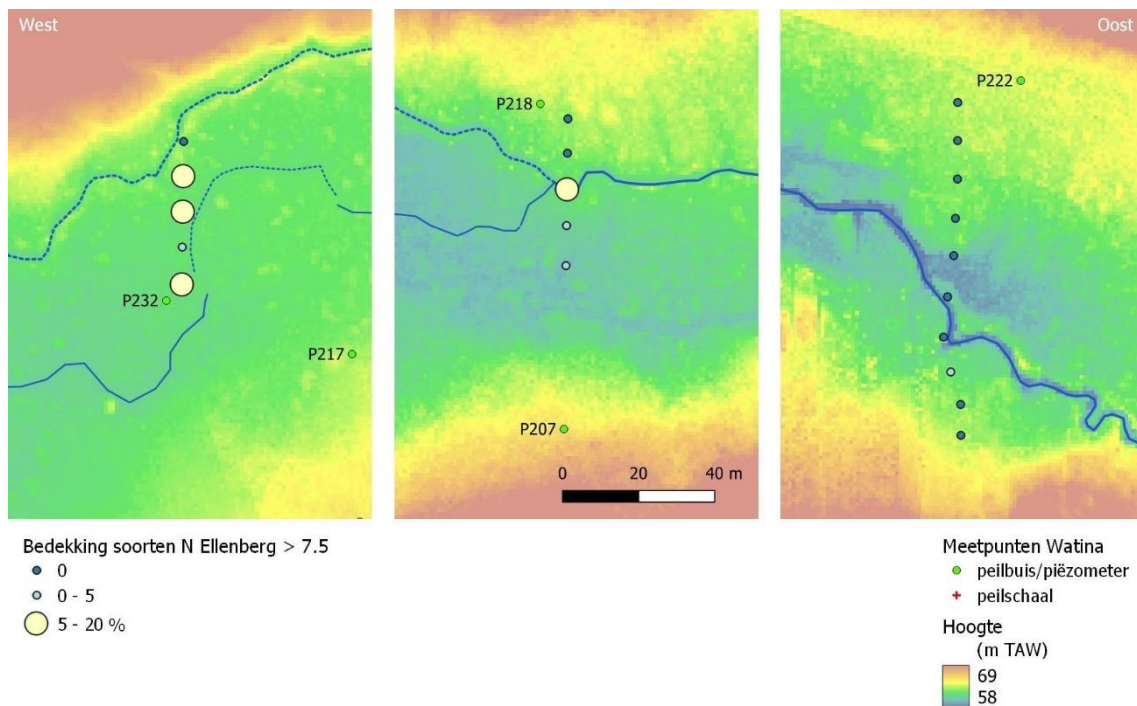


Figuur 56 Gemiddelde gewogen Ellenberggetal voor stikstof. Een hoog stikstofgetal geeft aan dat er veel soorten voorkomen die gebonden zijn aan groeiplaatsen met een hoge stikstofbeschikbaarheid.



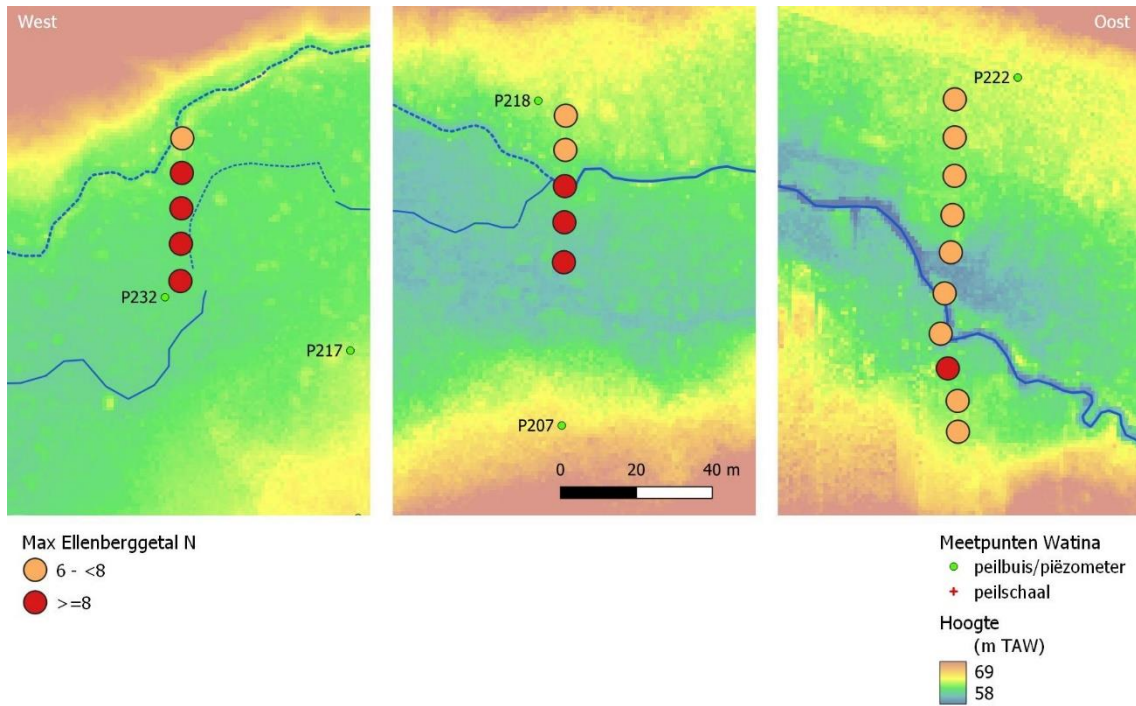
Figuur 57 Bedekking van de soorten met een Ellenberggetal voor stikstof kleiner dan 2,5 (soorten van extreem voedselarme milieus).

Soorten van voedselrijke milieus (indicatorwaarde voor stikstof > 7,5) zijn breed verspreid maar meestal weinig abundant: de bedekking in de vegetatieopnamen blijft op de meeste locaties onder de 5 % (figuur 58). Enkel in de overstromende zones van de westelijke en centrale transecten werden er hogere bedekkingen vastgesteld. Op het terrein was het duidelijk dat er in de winter 2021/2022 aanvoer van nutriëntenrijk sediment met beekwater vanuit stroomopwaartse gebieden was opgetreden: in de lente waren er hier en daar aardkluitjes gemengd met strooisel te zien, met kiemende en jonge brandnetels (foto 4). Waar de ontwikkeling van de brandnetels in de lente nog volledig beperkt was tot dat extern aangebracht materiaal, hadden de planten in de zomer al diepere wortels gevormd, tot in het (toen weliswaar aan de oppervlakte vrij droog) veenpakket.



Figuur 58 Bedekking van de soorten met een Ellenberggetal voor stikstof groter dan 7.5 (soorten van voedselrijke milieus).





Figuur 59 Maximaal Ellenberggetal voor stikstof per locatie.

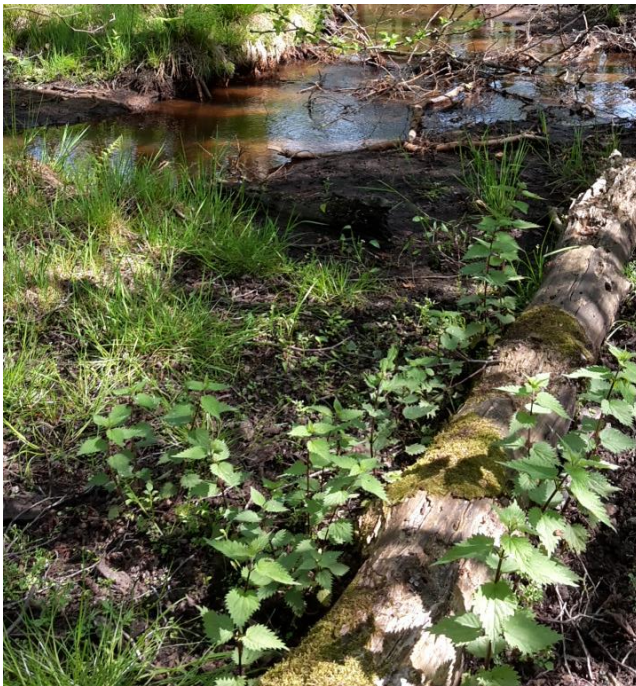


Foto 4 Mei 2022. Ontwikkeling van jonge brandnetels in een zone die in de winter 2021-2022 overstroomd werd (ter hoogte van de splitsing oude loop-nieuwe loop, dichtbij het centrale transect).

5.3.3.1.2 LSVI indicatoren

Verschillende indicatoren afgeleid uit de lijst gehanteerd voor de bepaling van lokale staat van instandhouding (Oosterlynck et al. 2020) werden berekend. Bij deze oefening werd het noordelijke gedeelte van het oostelijke transect gerekend tot het habitatsubtype oligotroof elzen- en berkenbroekbos 91E0_vo, terwijl de andere proefvlakken aan de hand van de indicatoren voor mesotroof elzenbroekbos 91E0_vm werden beoordeeld.



Zowel de aanwezigheid van **sleutelsoorten** als de aanwezigheid van **indicatoren** voor **verruiging** en **eutrofiëring** werden onder de loep genomen.

De tabel hieronder geeft een overzicht van de beoordeelde (sub)criteria per habitatsubtype (Oosterlynck et al. 2020) alsook een samenvatting van de belangrijkste vaststellingen per indicator.

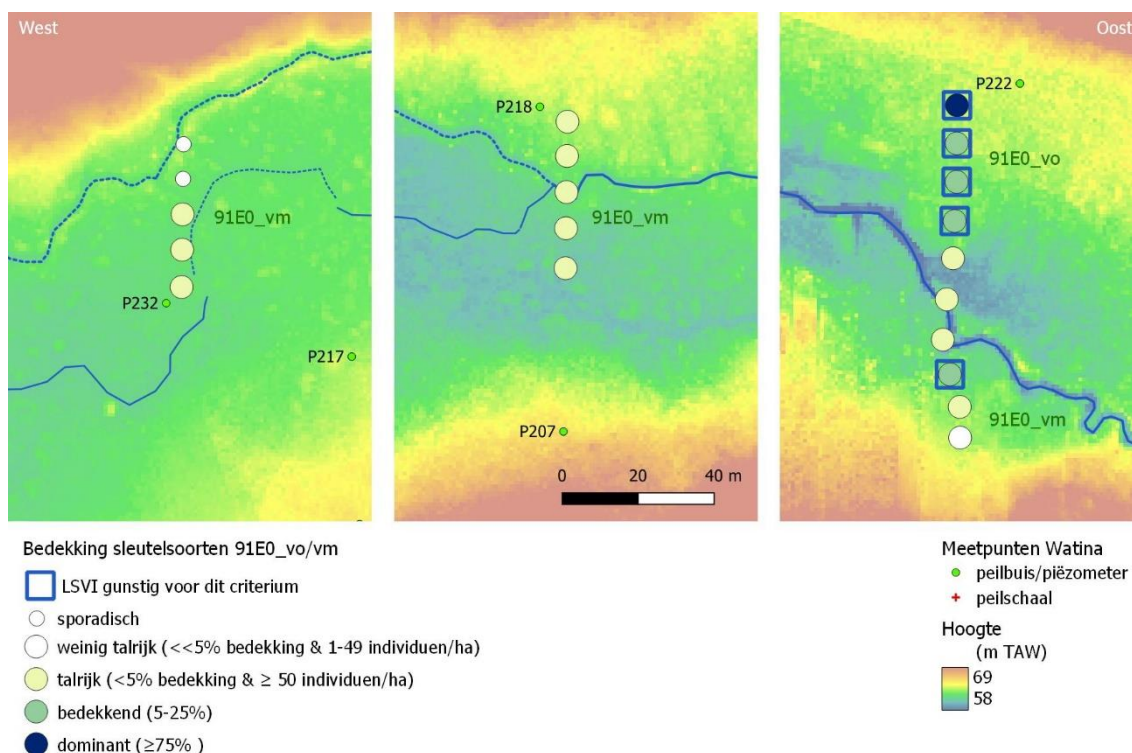
Tabel 28 Beoordeelde (sub)criteria per habitatsubtype volgens versie 3 van de Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura 2000 habitattypen in Vlaanderen (Oosterlynck et al. 2020).

Subtype	Criterium	Conclusie
Sleutelsoorten		
91E0_vm/vo	Bedekking sleutelsoorten	Sleutelsoorten voor 91E0_vo zijn goed vertegenwoordigd in oppervlakte in de vegetatieopnamen voor dit type maar sleutelsoorten voor 91E0_vm zijn schaarser. De LSVI voor dit subcriterium is gunstig voor de meeste locaties met 91E0_vo maar ongunstig voor bijna alle locaties met 91E0_vm.
91E0_vm/vo	Percentage sleutelsoorten	In de vegetatieopnamen met 91E0_vo is het percentage sleutelsoorten hoger dan in de vegetatieopnamen met 91E0_vm. Slechts op 2 locaties voldoet het percentage aan de voorwaarden voor een gunstige LSVI voor dit subcriterium.
91E0_vm/vo	Aantal sleutelsoorten	In de vegetatieopnamen met 91E0_vo zijn er 1-3 sleutelsoorten aanwezig wat plaatselijk voldoet aan de voorwaarden voor een gunstige LSVI voor dit subcriterium. In de vegetatieopnamen met 91E0_vm zijn er 1-5 sleutelsoorten, wat steeds beschouwd wordt als ongunstig.
Indicatoren voor verruiging (hoofdcriteria)		
91E0_vm	Bedekking indicatoren voor verruiging (alle subcriteria gecombineerd)	De LSVI voor dit criterium is overal gunstig behalve in het centrale transect op korte afstand van de beek.
91E0_vo	Bedekking indicatoren voor verruiging (alle subcriteria gecombineerd)	Indicatoren voor verruiging zijn aanwezig, maar de LSVI voor dit criterium is overal gunstig.
Indicatoren voor verruiging (subcriteria)		
91E0_vm	Bedekking indicatoren voor verruiging, subgroep bodemverdichting	Indicatoren voor bodemverdichting aanwezig, maar slechts plaatselijk met een bedekking > 5%. Plaatselijk leidt dit tot een ongunstige beoordeling voor dit subcriterium.
91E0_vm	Bedekking indicatoren voor verruiging, subgroep ruderalisering	Indicatoren voor ruderalisering vooral aanwezig in westelijke en centrale

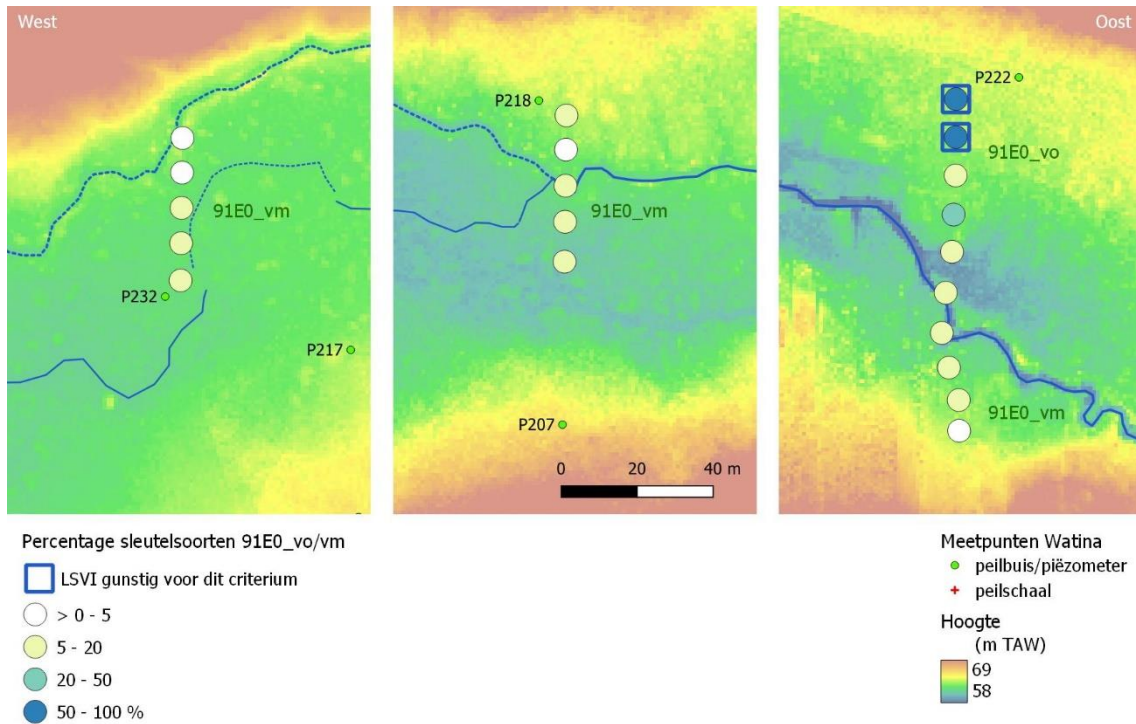


Subtype	Criterium	Conclusie
		transecten. De LSVI voor dit subcriterium blijft overal gunstig.
91E0_vm/vo	Bedekking indicatoren voor verruiging, bramen, riet- en liesgras	Deze soorten zijn slechts heel beperkt aanwezig. De LSVI voor dit subcriterium blijft overal gunstig.
91E0_vo	Bedekking indicatoren voor verruiging, subgroep vermessing	Indicatoren voor vermessing zijn in kleine mate aanwezig, steeds met een beperkte bedekking van < 5%. De LSVI voor dit subcriterium blijft overal gunstig.
91E0_vo	Bedekking indicatoren voor verruiging, subgroep pijpenstrootje	Pijpenstrootje is in bijna alle PQ's aanwezig maar neemt steeds minder dan 50 % van de oppervlakte in. De LSVI blijft dus overal gunstig voor dit subcriterium.
91E0_vo	Bedekking indicatoren voor verruiging, ruderalen en bodemverdichting	Ruderalen en indicatoren voor bodemverdichting zijn plaatselijk sporadisch aanwezig, wat leidt tot een ongunstige LSVI voor dit subcriterium.

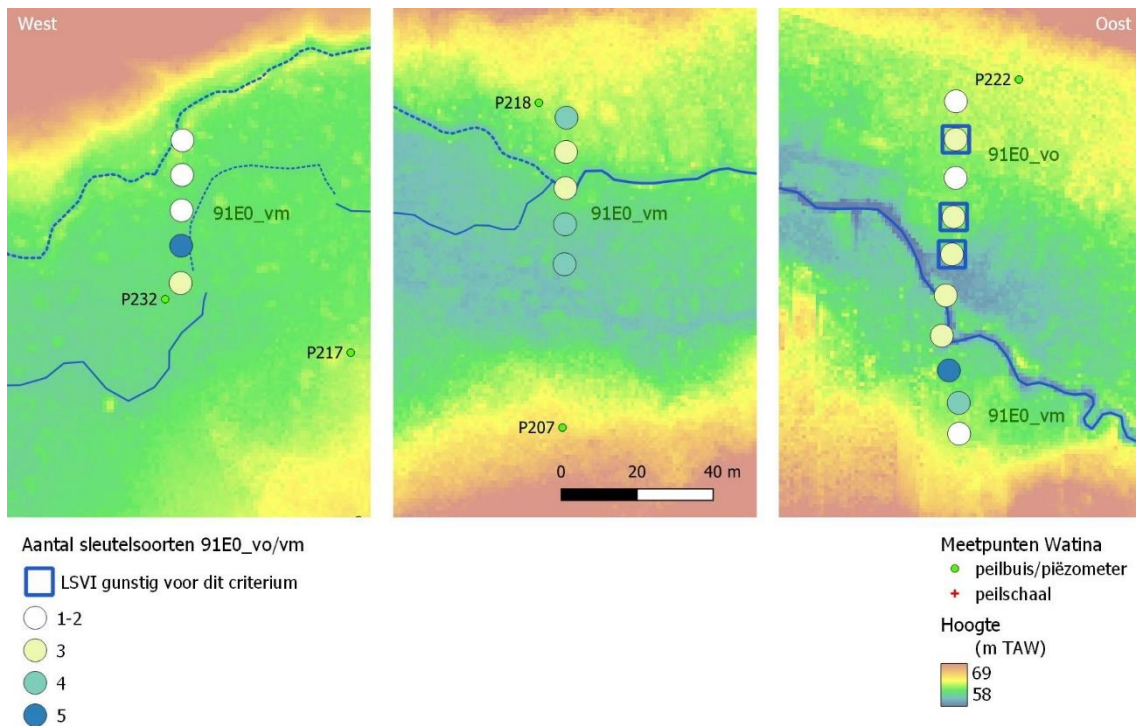
Voor de criteria i.v.m. de sleutelsoorten is de aangegeven LSVI waarschijnlijk een te pessimistische inschatting van de situatie omdat de criteria gedefinieerd zijn op niveau van habitatvlekken terwijl de vegetatieopnamen slechts betrekking hebben op een kleine oppervlakte van ca 20 m².



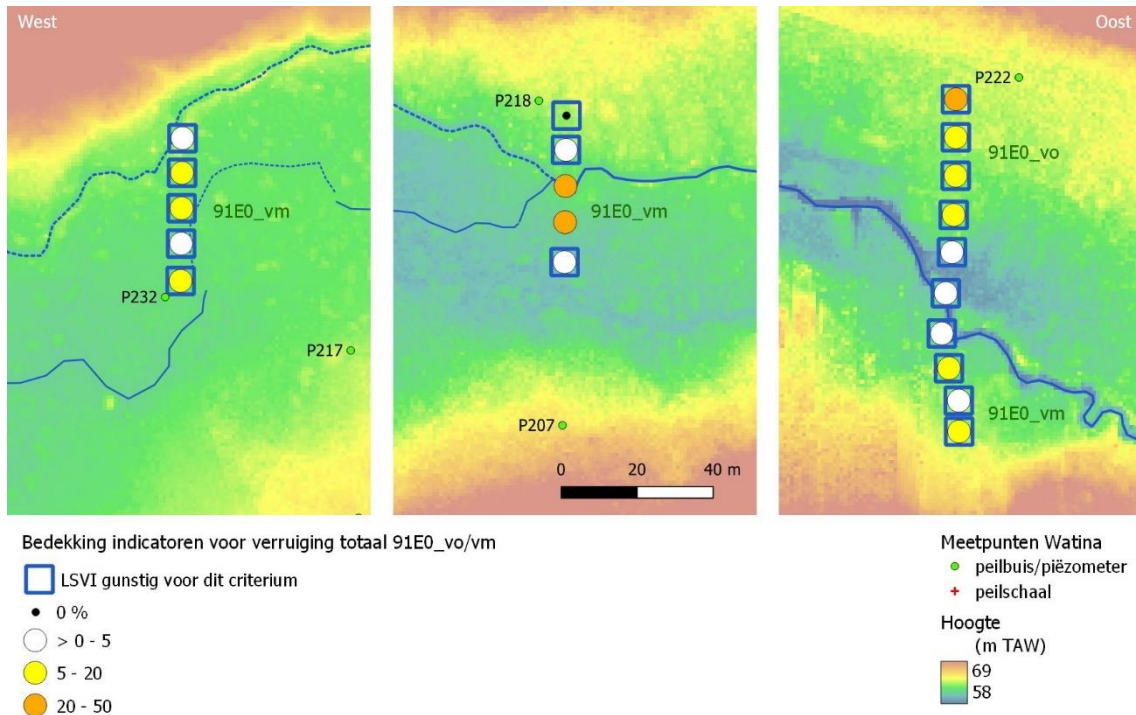
Figuur 60 Bedekking van de sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).



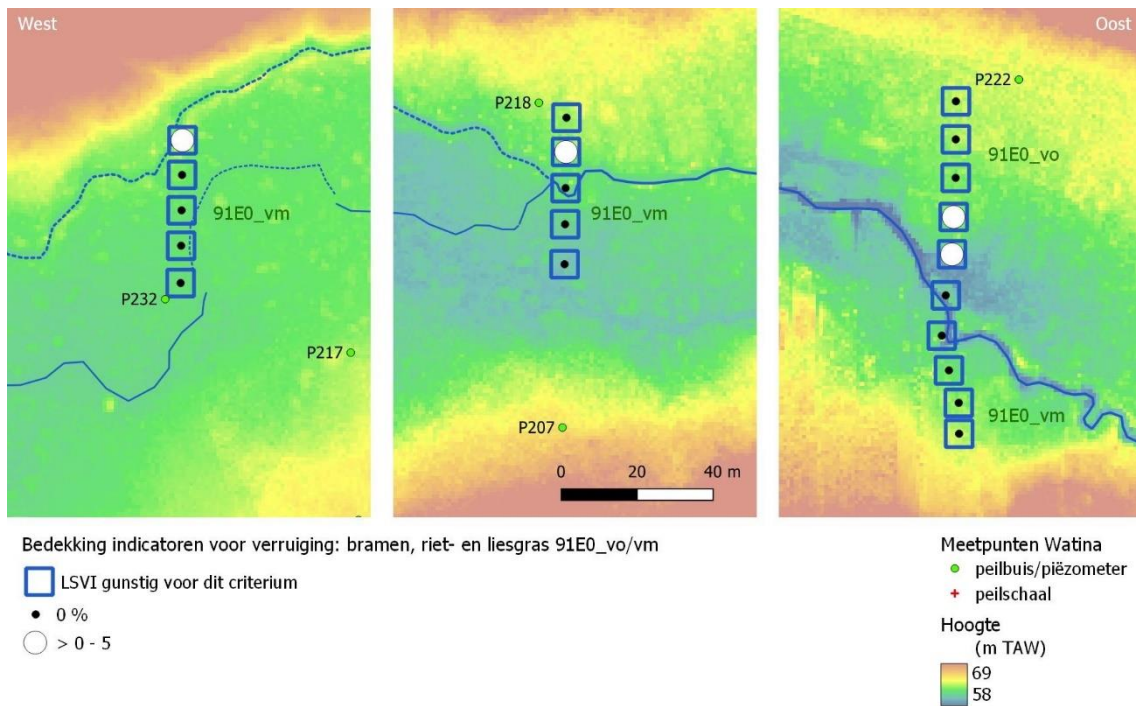
Figuur 61 Percentage van de sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).



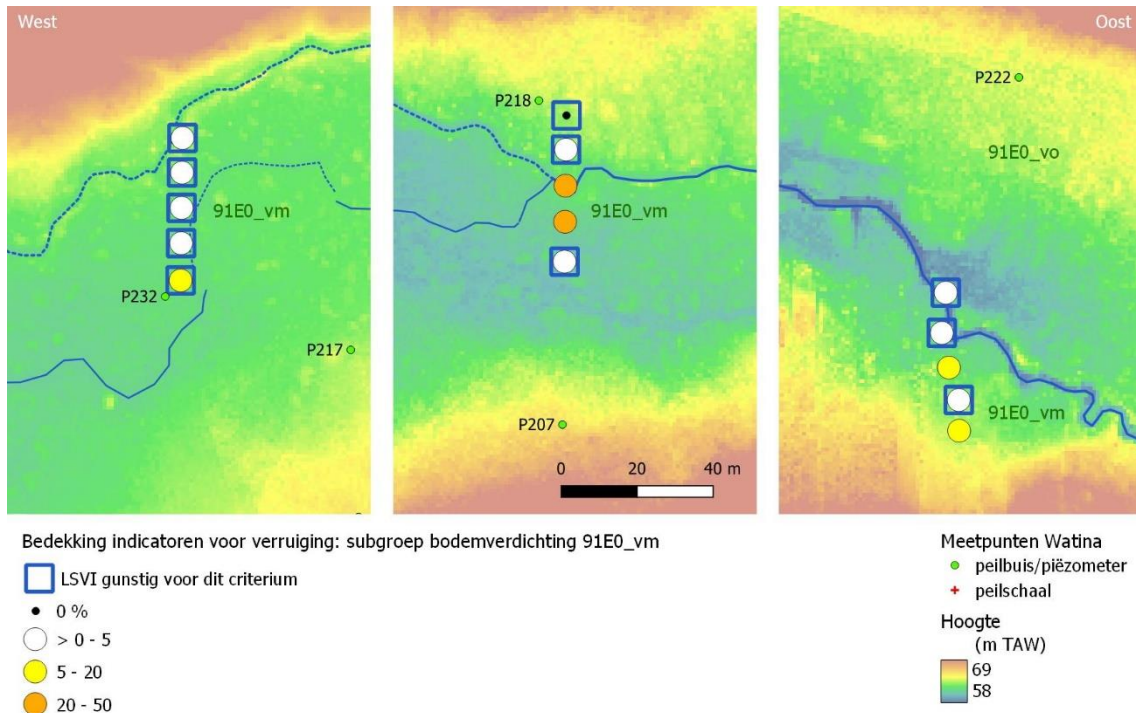
Figuur 62 Aantal sleutelsoorten voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).



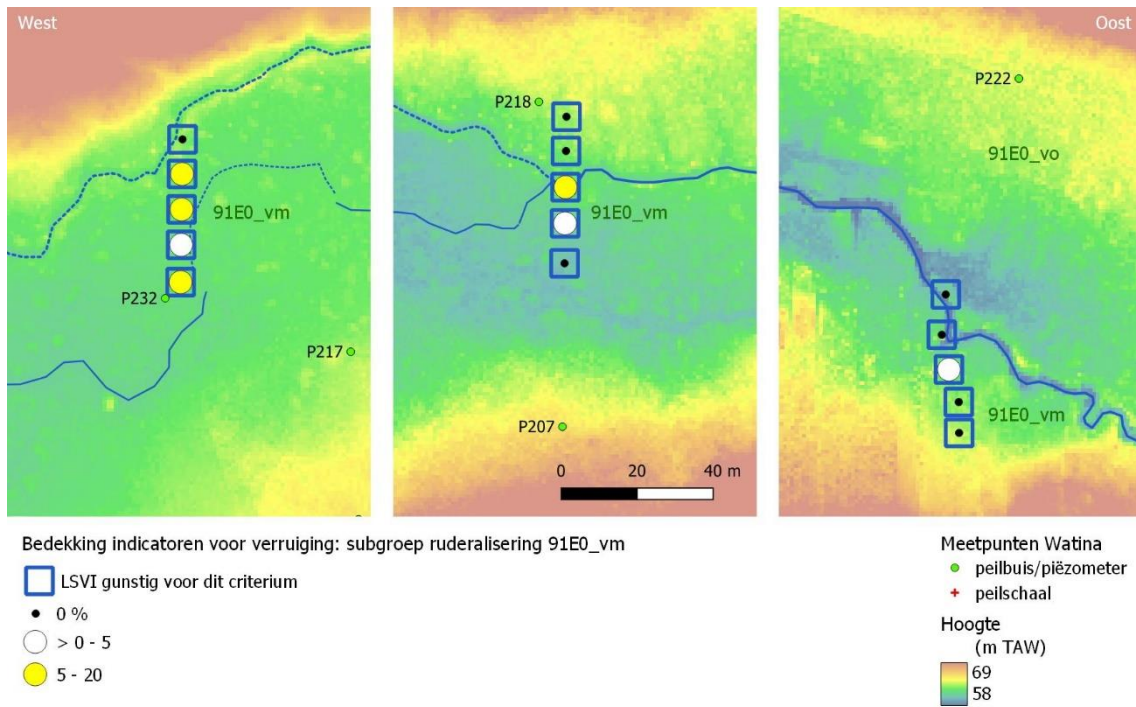
Figuur 63 Bedekking van de indicatoren voor vervuiging (alle subcriteria samen) voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).



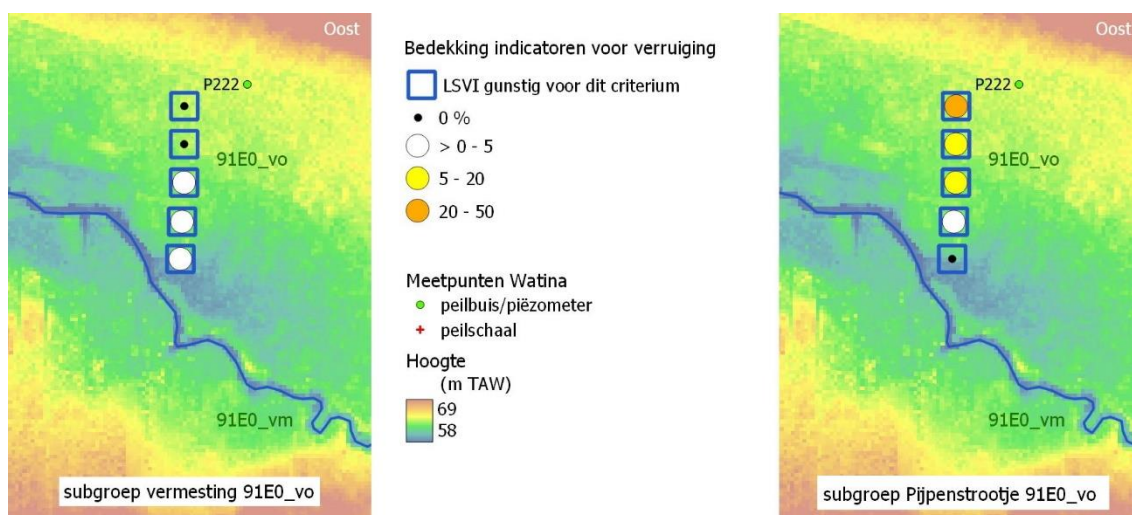
Figuur 64 Bedekking van de indicatoren voor vervuiging, subcriterium bramen, riet- en liesgras voor 91E0_vo (oostelijke transect ten N van de beek) en 91E0_vm (andere locaties).



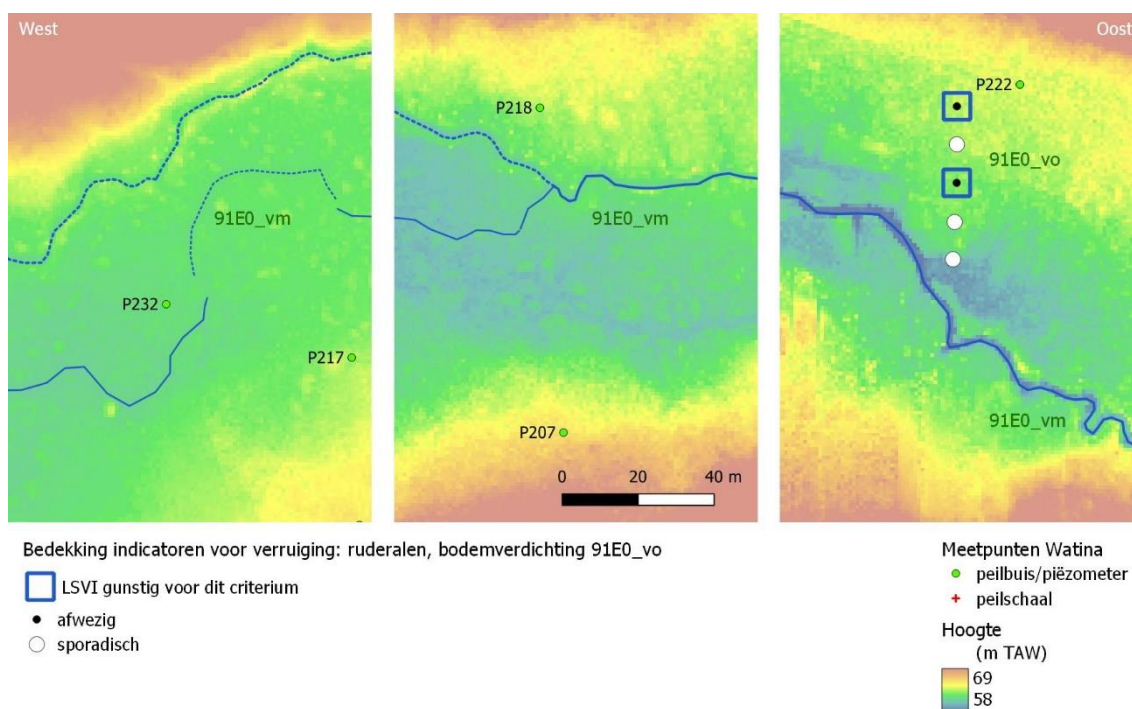
Figuur 65 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium bodemverdichting voor 91E0_vm.



Figuur 66 Bedekking van de indicatoren voor verruiging, subcriterium ruderalisering voor 91E0_vm.



Figuur 67 Bedekking van de indicatoren voor verzuim, subcriteria vermessing voor 91E0_vo (links) en pijpenstrootje voor 91E0_vo (rechts).



Figuur 68 Bedekking van de indicatoren voor verzuim, subcriterium ruderalen en indicatoren voor bodemverdichting voor 91E0_vo.

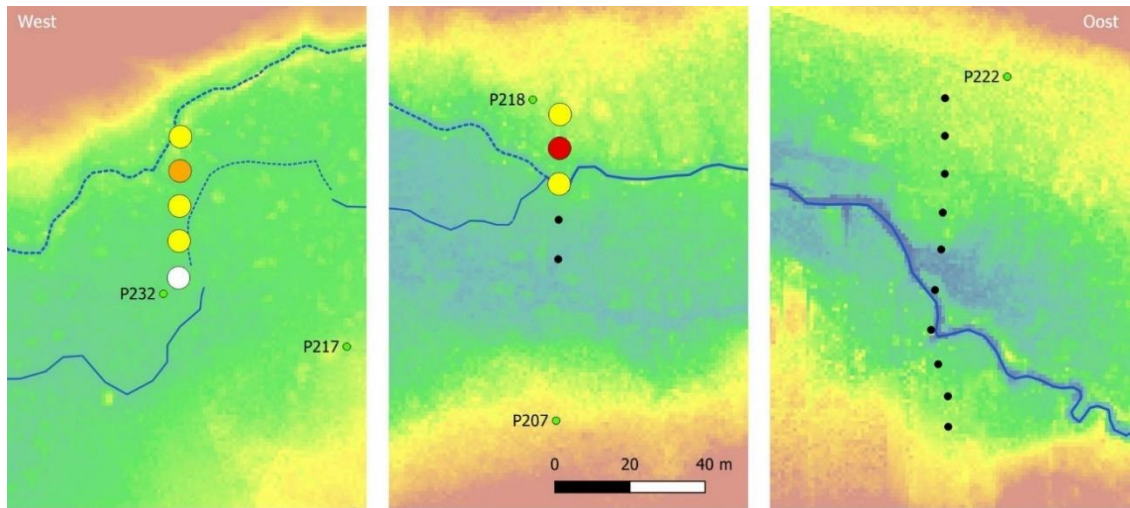
5.3.3.1.3 Indicatoren voor verzuim en eutrofiëring

De kaarten hieronder tonen de bedekking per proefvlak van een selectie van soorten die als indicator kunnen dienen voor verzuim en eutrofiëring in alluviale bossen:

- IJle zegge (*Carex remota*): soort van voedselrijke, vochtige, soms verdichte bodems. Indicator voor verzuim voor 91E0_vo volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*): soort van eerder stikstofrijke bodems. Indicator voor verzuim voor 91E0_vo volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*): soort van zeer voedselrijke bodems,

- Kleefkruid (*Galium aparine*): soort van zeer voedselrijke, soms verstoorde bodems. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Liesgras (*Glyceria maxima*) + Vlotgras (G) (*Glyceria* spp.): soorten van zeer voedselrijke bodems en wateren. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Witbol (*Holcus lanatus/mollis*): soorten van voedselarme tot matig voedselrijke bodems. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Pitrus (*Juncus effusus*): soort van stikstofarme tot matig stikstofrijke bodems. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*): bij dominantie indicator van eutrofiëring (als gevolg van atmosferische stikstofdepositie of bij versnelde en verhoogde mineralisatie van organisch materiaal door ontwatering en verdroging). Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Rietgras (*Phalaris arundinacea*): soort van voedselrijk tot zelfs vervuild water. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Riet (*Phragmites australis*): soort van stikstofrijke bodems
- Waterpeper (*Persicaria hydropiper*): soort van uitgesproken stikstofrijke bodems. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.
- Kruidende boterbloem (*Ranunculus repens*): soort van voedselrijke, vaak verstoorde bodems,
- Braam sp. (*Rubus* spp.): indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.,
- Gewone vlier (*Sambucus nigra*): indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.,
- Grote lisdodde (*Typha latifolia*): soort van uitgesproken stikstofrijke bodems,
- Grote brandnetel (*Urtica dioica*): soort van voedselrijke tot zeer voedselrijke bodems. Indicator voor verzuuring voor 91E0_vo en 91E0_vm volgens Oosterlynck et al. 2020.

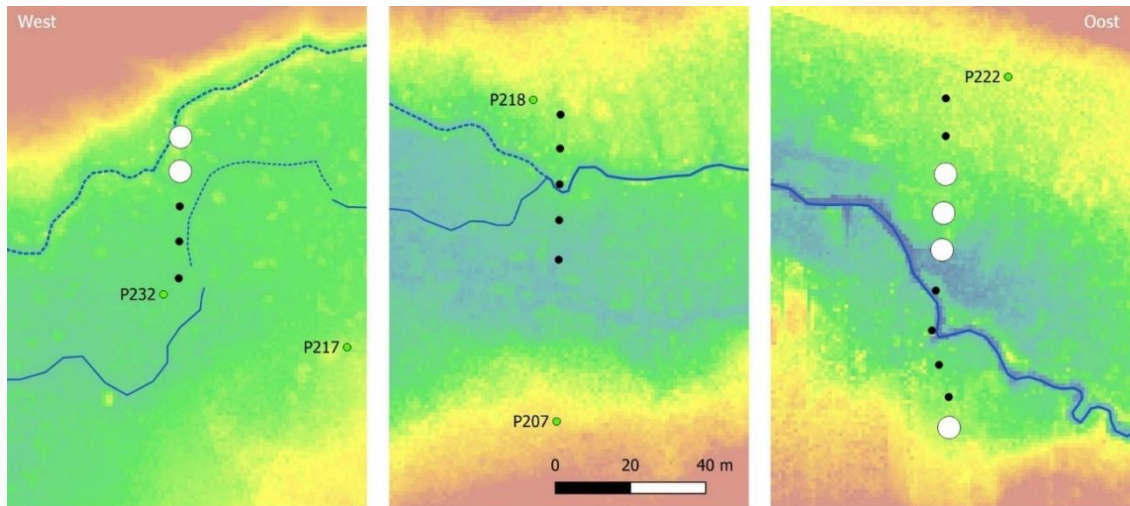




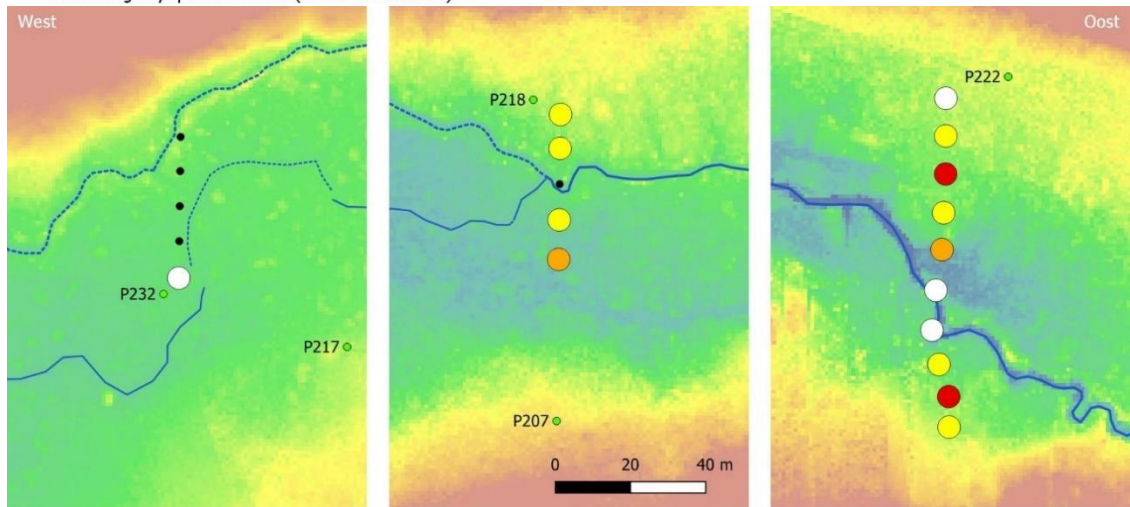
↑ Bedekking *Carex remota* (jile zegge)

- 0
- > 0 - 5
- 5 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100 %

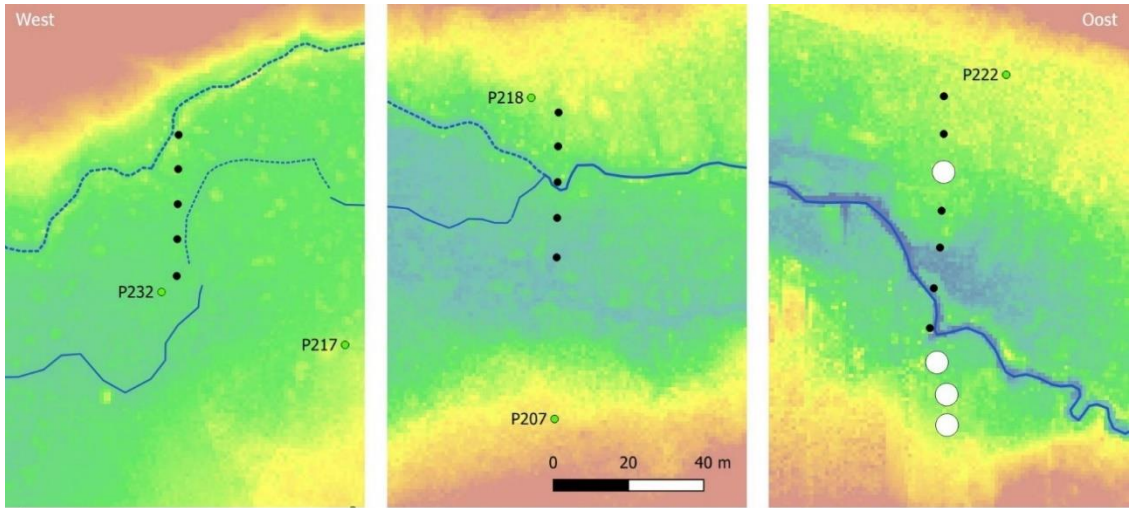
- Meetpunten Watina
 ● peilbuis/piëzometer
- Hoogte
 (m TAW)
 68
 57



↑ Bedekking *Dryopteris dilatata* (brede stekelvaren)



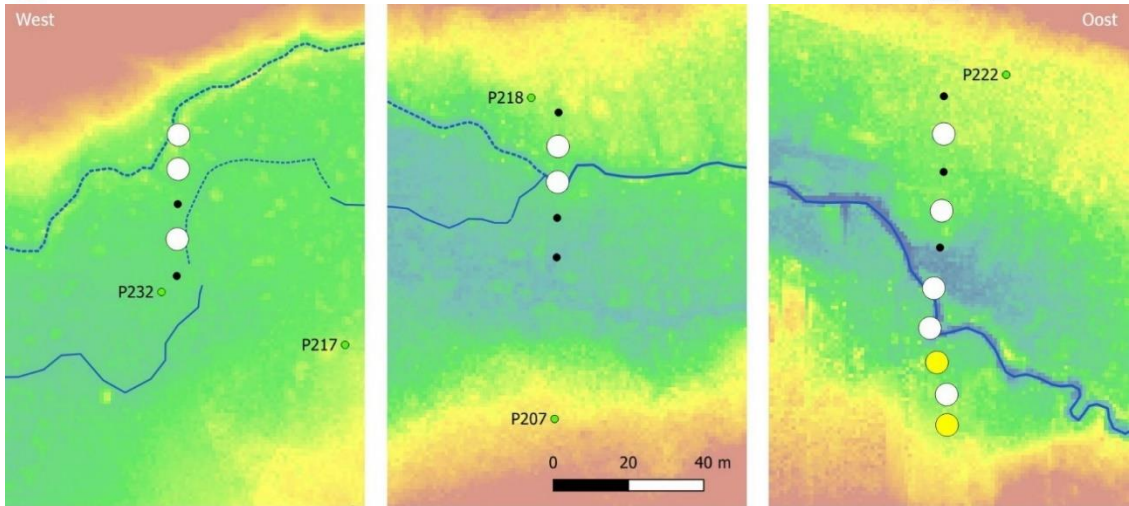
↑ Bedekking *Glyceria fluitans* (mannagras)



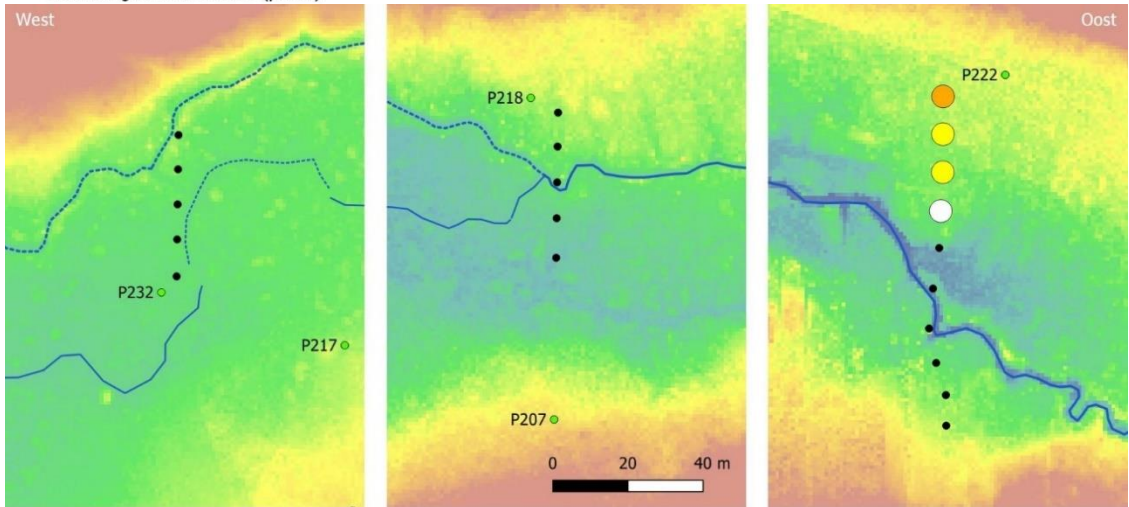
↑ Bedekking *Holcus* (witbol)

- 0
- > 0 - 5
- 5 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100 %

- Meetpunten Watina
● peilbuis/piëzometer
- Hoogte
(m TAW)
68
57

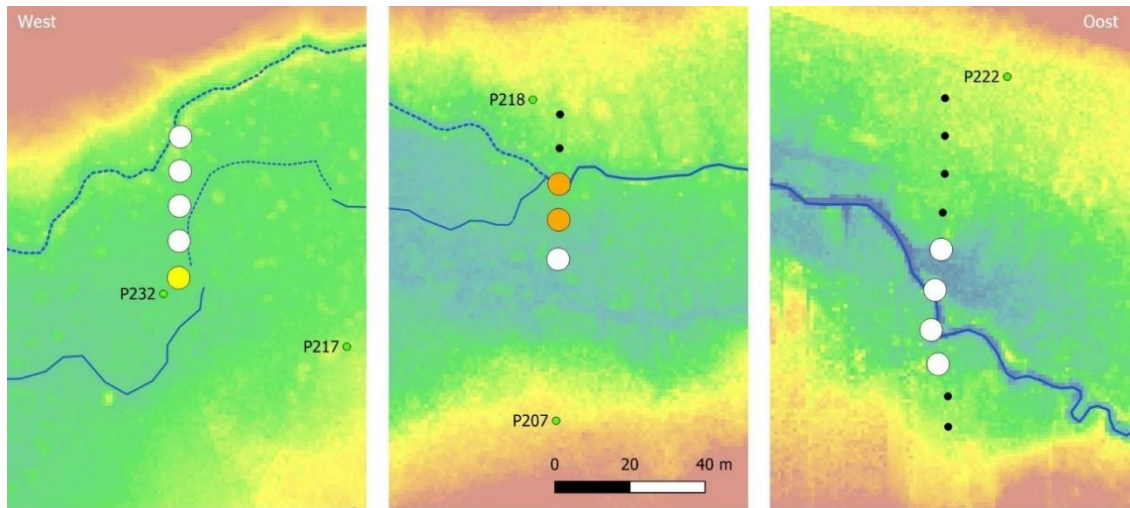


↑ Bedekking *Juncus effusus* (pitrus)



↑ Bedekking *Molinia caerulea* (pijpenstrootje)

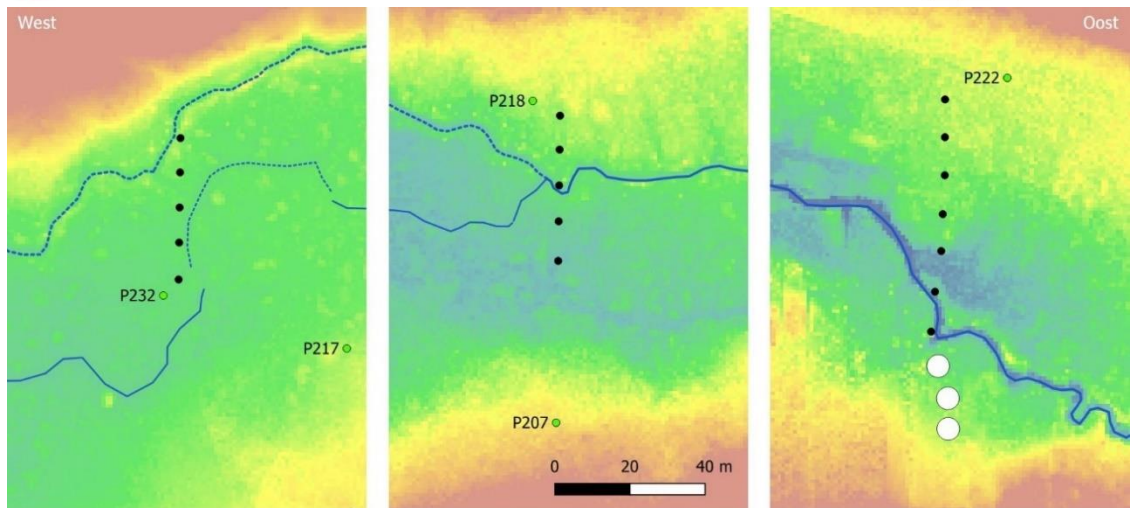




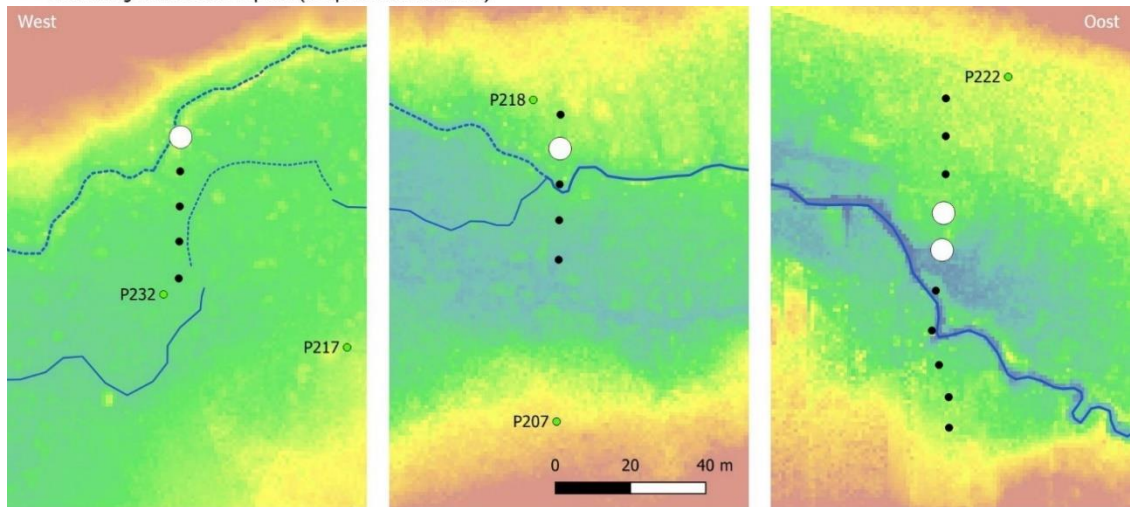
Bedekking *Persicaria hydropiper* (waterpeper)

- 0
- > 0 - 5
- 5 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100 %

- Meetpunten Watina
- peilbuis/piëzometer
- Hoogte (m TAW)
- 68
 - 57

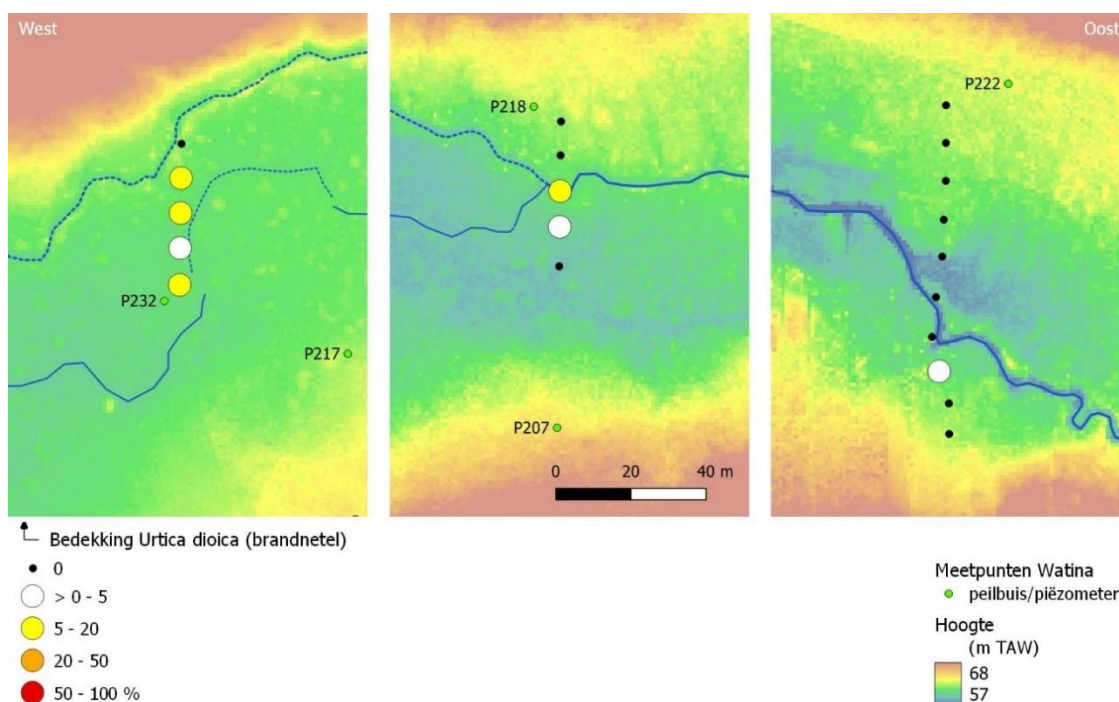


Bedekking *Ranunculus repens* (kruipende boterbloem)



Bedekking *Rubus* (braam)





5.3.3.1.4 Aanbevelingen voor de monitoring

Het lijkt aangewezen om de inventarisatie van de terrestrische flora om de 3 jaar (max 5 jaar) te herhalen. Het is aan te raden om de opnamen telkens rond dezelfde datum uit te voeren om de vergelijkbaarheid tussen de gegevens te vergroten. Vegetatieopnamen dienen sowieso uitgevoerd te worden in het optimale vegetatie seizoen, voor deze broekbossen dus ongeveer tussen mei en augustus.

In bijlage 11 wordt het gevolgde protocol voor vegetatieopnamen gegeven.

5.3.3.2 Bestaande waarnemingen

Naast de specifieke gegevens ingezameld i.h.k.v. deze opdracht bestaan er verschillende datasets met planten/mossen-waarnemingen in het gebied. De meeste gegevens zijn echter afkomstig van losse waarnemingen: de bemonsteringsdichtheid is dus sterk variabel afhankelijk van de beschouwde periode en locatie en laten ons niet toe om definitieve conclusies over de evolutie in de tijd van het voorkomen van indicatoren voor verzuuring/eutrofiëring. Ze worden ter referentie bijgevoegd als kaarten en GIS-bestanden in digitale bijlage 10. Als er in de toekomst specifieke vragen zijn over andere delen van het gebied kunnen deze waarnemingen dan gemakkelijk gebruikt worden.

5.4 IMPACT OP DE AQUATISCHE VEGETATIE

Met bijdragen van An Leyssen en Tom De Dobbelaer

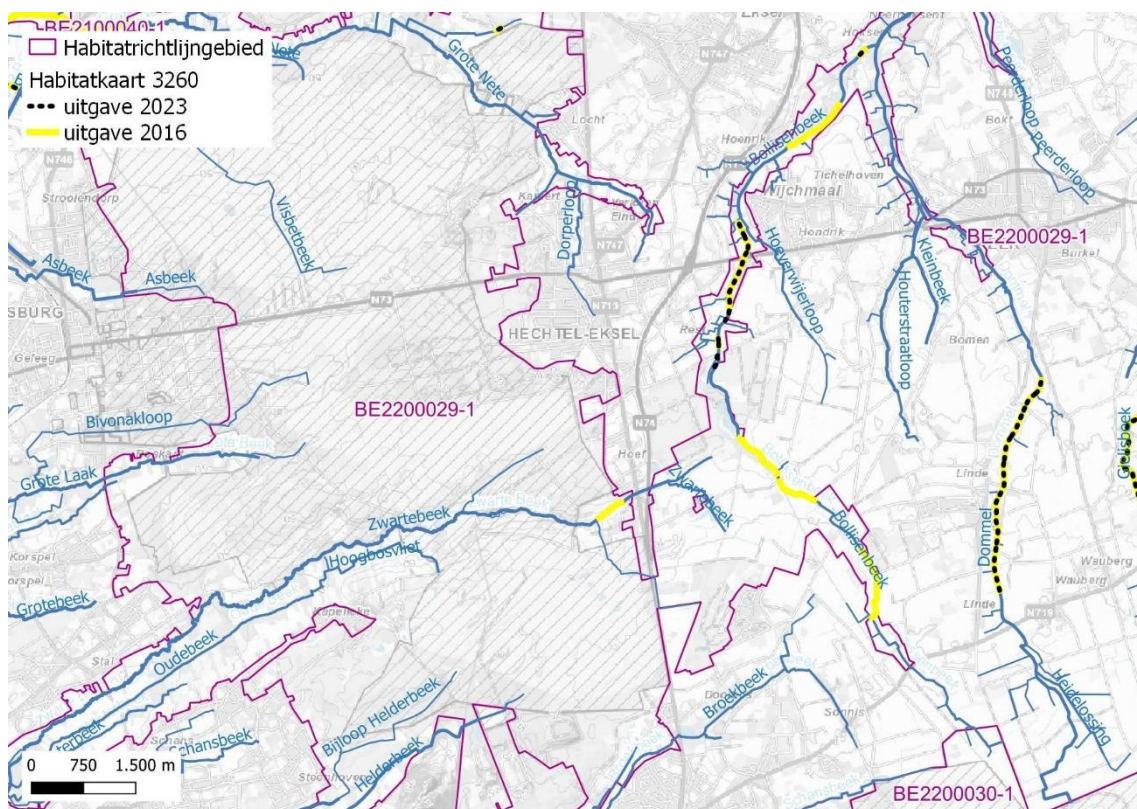
Uit metingen van de VMM blijkt dat de waterkwaliteit in de Zwarte Beek en in de Bolisserbeek niet voldoet aan de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water. Vooral de te hoge nitraatconcentraties en de zuurstofhuishouding vormen een knelpunt, met daarbij ook te hoge fosfaatconcentraties in het brongebied van de Zwarte Beek (Herr et al. 2015, VMM 2022). Men kan zich dus afvragen welke impact dit heeft op de biologische kwaliteit van de beken.



In dit hoofdstuk wordt, op basis van veldinventarisaties in de Zwarte Beek en Bolisserbeek, bekeken in welke mate de waterflora in de waterlopen op eutrofiëring wijst.

5.4.1 Inleiding

De Speciale Beschermingszone “Vallei- en brongebieden van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden” is zeer belangrijk voor het **Natura 2000 habitattype 3260** (submontane - en laaglandrivieren met vegetaties behorende tot het *Ranunculon fluitantis* en het *Callitricho-Batrachion*) in Vlaanderen. Figuur 69 geeft de ruimere situering van het Natura 2000 habitattype 3260 voor de inventarisaties uit 2014-2015 (habitatkaart versie 2016; Leysen & Denys 2016) en de inventarisaties uit 2020-2021 (versie 2023, De Saeger et al. 2023). Het habitattype 3260 wordt voornamelijk gekenmerkt door het voorkomen van waterranonkels (*Ranunculus* subg. *Batrachium*), haaksterrenkroos (*Callitriche hamulata*) en/of bepaalde fonteinkruiden (*Potamogeton* spp.). Wanneer minstens één van deze soorten wordt aangetroffen, wordt het betreffende segment van de waterloop gerekend tot habitattype 3260.



Figuur 69 Situering van habitattype 3260 in de ruime omgeving van het brongebied. Zowel de recentste inventarisaties (zwart onderbroken lijn, uitgave 2023) als de inventarisaties van 2014-2015 (uitgave 2016) (gele lijn) worden weergegeven op de figuur.

Wanneer uitgave 2016 en uitgave 2023 met elkaar worden vergeleken blijken de waterlooptrajecten in het brongebied tijdens de recentste opnameperiode niet meer habitatwaardig te zijn. Stroomafwaarts de Begijnenvijvers is het habitattype nog aanwezig in de Bolisserbeek.

5.4.2 Kwaliteit van de aanwezige vegetaties van stromende wateren

De kwaliteit van de aanwezige vegetatie kan beoordeeld worden aan de hand van twee referentiekaders: de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Habitatrichtlijn.

5.4.2.1 KRW - Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt (EKC)

De Kaderrichtlijn Water definieert de **goede ecologische toestand** van rivieren en beken. Deze wordt onder meer beoordeeld door middel van een aantal biologische kwaliteitselementen, zoals de samenstelling en abundantie van macrofyten, fytobenthos, ongewervelde fauna en visfauna. De beoordeling voor elk biologisch kwaliteitselement wordt uitgedrukt in de vorm van een Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt (EKC; Eng: Ecological Quality Ratio - EQR) die een waarde tussen 0 en 1 kan aannemen, waarbij 1 een zeer goede ecologische toestand vertegenwoordigt en 0 een zeer slechte ecologische toestand.

Box 1: Methodiek Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt (EKC) (naar VMM, 2015 en CIW, 2020)

Een uitgebreide beschrijving van de methodiek voor het kwaliteitselement macrofyten is beschikbaar in Schneiders et al. (2004) en Leyssen et al. (2005). De periode die geschikt is voor de opname van macrofyten in waterlopen loopt van eind mei tot eind september. De inventarisatie gebeurt op trajecten van 100 meter die weinig tot niet beschaduwd zijn (Denys et al. 2016). Op elk traject worden alle aanwezige soorten water- en oeverplanten genoteerd met hun respectievelijke bedekkingsgraad of abundantie. Per deeltraject van 10 meter wordt ook de globale bedekking door submerse (ondergedoken) waterplanten opgetekend.

De Zwarte Beek en de Bolisserbeek zijn beide beken van het type 'Kleine Beek Kempen'. Voor dit waterlooptype worden voor elk traject vier deelmaatlaten berekend. Elke deelmaatlat krijgt een score die varieert tussen 0 (slechtste kwaliteit) en 1 (referentiekwaliteit).

Deelmaatlat **typespecificiteit** geeft een indicatie van de mate waarin de aangetroffen plantengemeenschap kenmerkend is voor het type waterloop.

Deelmaatlat **verstoring** geeft de mate van verstoring aan, voornamelijk door eutrofiëring. Bepaalde soorten gelden immers als indicatoren voor verontreiniging en wanneer hun abundantie toeneemt, zal dat de deelmaatlat negatief beïnvloeden.

Deelmaatlat **groevormen** zegt iets over de structuur van de water- en oevervegetatie. Hoewel waterplanten tot uiteenlopende systematische groepen behoren, kunnen ze vergelijkbare morfologische kenmerken vertonen die in verband staan met de omgeving. Op basis van het geheel van morfologische kenmerken kunnen macrofyten ingedeeld worden volgens hun karakteristieke groeivorm. In deze deelmaatlat wordt gekeken of alle groei- en levensvormen van macrofyten die bij een watertype horen ook effectief aanwezig zijn.

Deelmaatlat **vegetatieontwikkeling** is specifiek gericht op de ontwikkeling van ondergedoken vegetatie in het waterlichaam. Planten met drijfbladeren en oever- en moerasplanten blijven buiten beschouwing. In een waterloop van goede kwaliteit, die niet al te snel stroomt of beschaduwd is, verwachten we een goede ontwikkeling van ondergedoken waterplanten, die aldus frequent tot talrijk aanwezig zullen zijn. Is de vegetatie beperkt tot slechts enkele plukjes of zelfs geheel afwezig, dan zal dat negatief doorwegen op deze deelmaatlat. Een overmatige groei van waterplanten, waarbij de hele waterkolom opgevuld wordt en het water dus nog maar moeizaam kan doorstromen, wordt echter ook negatief gewaardeerd in deze deelmaatlat. Zulke situaties duiden immers op een overaanbod aan nutriënten (eutrofiëring).



In juli 2022 werd een veldcampagne uitgevoerd om de EKC voor macrofyten te bepalen op 5 locaties in of nabij het brongebied van de Zwarte Beek en Bolisserbeek volgens de methodiek van Leyssen 2023. Bij de locatiekeuze werd rekening gehouden met beschikbaarheid van oudere vegetatieopnamen zodat een mogelijke evolutie in de tijd gedetecteerd kan worden. In de Bolisserbeek werden 3 locaties gekozen (BolBe_01, BolBe_02 en BolBe_03), in de Zwarte Beek konden slechts twee locaties worden geselecteerd (ZwaBe_02 en ZwaBe_04). Het bleek niet evident om geschikte locaties te vinden, enerzijds omdat de bovenloop van de Zwarte Beek regelmatig droogvalt en anderzijds omdat beschaduwde zones volgens het protocol niet in aanmerking komen voor opnamen. De gegevens werden opgenomen in INBOveg, de INBO databank voor vegetatieopnamen.

Deze dataset werd aangevuld met de meetgegevens verzameld door VMM op 2 locaties langs de Bolisserbeek (TR99000.2 en TR99000.3).

De locaties worden weergegeven in figuur 70.

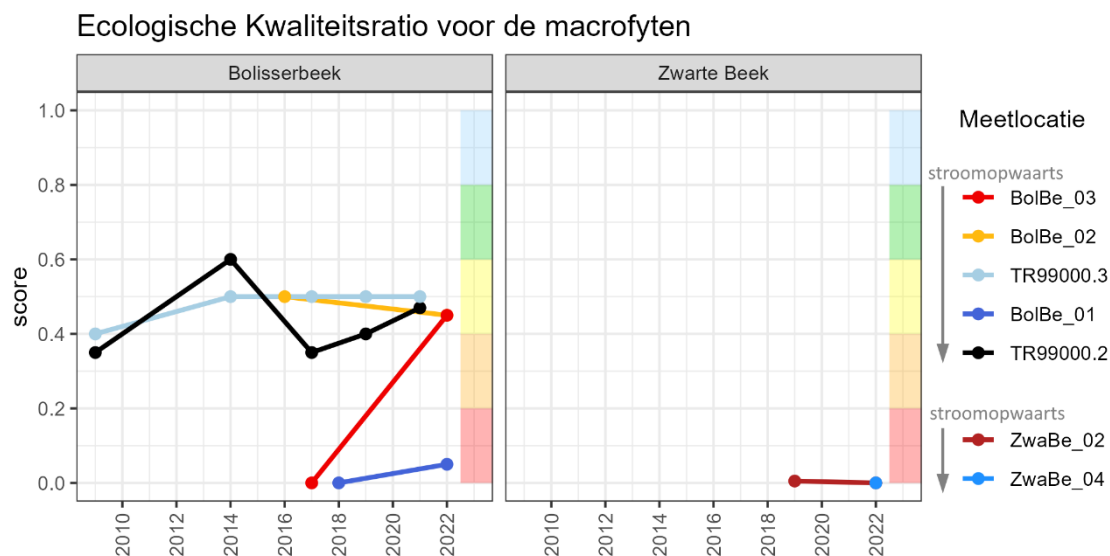


Figuur 70 Overzicht van de locaties waar macrofyten werden geïnventariseerd in 2022 (INBO meetpunten) en meetpunten van de VMM. Met uitzondering van locatie ZwaBe_04 (gelegen bij VMM meetlocatie TR420300.3) zijn er op al deze locaties ook oudere opnames beschikbaar.

Onderstaande figuur geeft de **Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor de macrofyten** van de geïnventariseerde trajecten in de Bolisserbeek en de Zwarte Beek weer (inventarisatie 2022 en ouder). Om de eindscore (variabele EKC) uit de verschillende deelmaatlaten te bepalen, wordt het principe 'one out - all out' gehanteerd. Hierbij geldt de slechtste score van de verschillende deelmaatlaten als eindscore. De klassengrenzen voor het toekennen van de kwaliteitsklassen zijn voor macrofyten voor alle waterlooptypes gelijk, $\geq 0,80$ (zeer goed), $\geq 0,60 - 0,80$ (goed), $\geq 0,40 - 0,60$ (matig), $\geq 0,20 - 0,40$ (ontoereikend) en $< 0,20$ (slecht).

Van de opnames uit 2021-2022 scoren locaties BolBe_03, BolBe_02, TR99000.3 en TR99000.2 een matige kwaliteit. De andere locaties scoren een slechte kwaliteit. De eindscores zijn

vergelijkbaar met de oudere opnames, enkel locatie BolBe_03 heeft een betere eindscore in 2022 t.o.v. 2017 (van 'score' slecht naar 'matig').

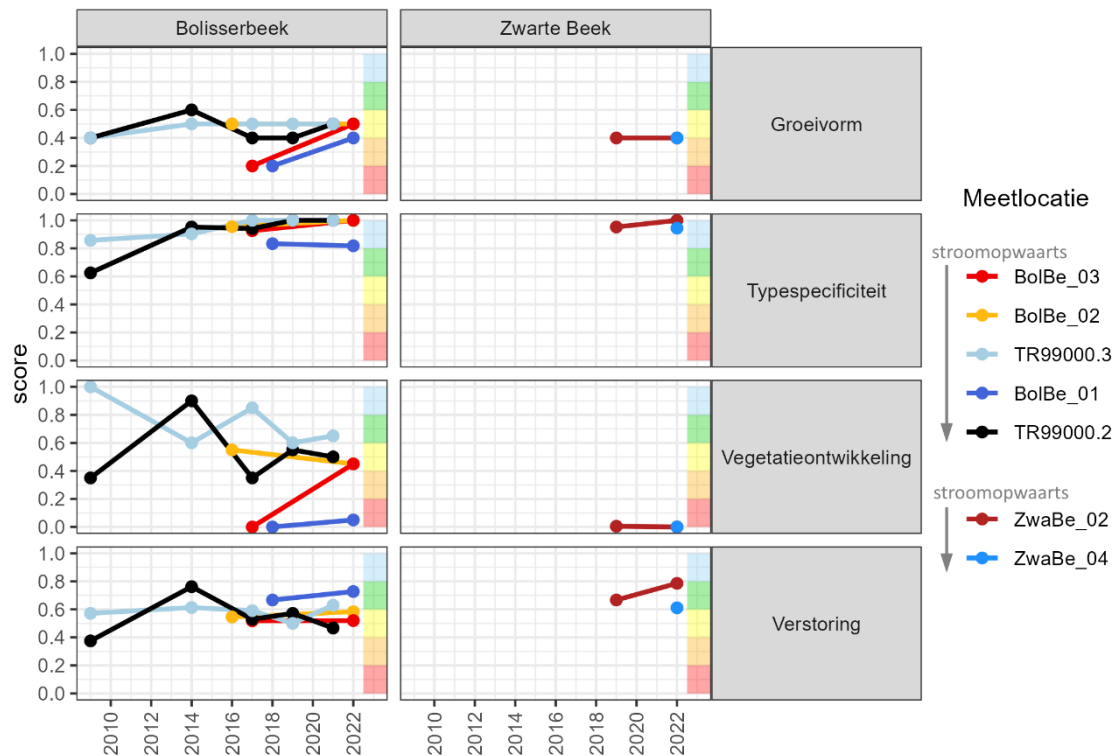


Figuur 71 Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor de macrofyten op 5 locaties langs de Bolisserbeek en 2 locaties langs de Zwarte Beek. TR99000.2 en TR99000.3 maken deel uit van het meetnet van de VMM, de andere locaties zijn geïnventariseerd door INBO. De kleurschaal rechts geeft de eindbeoordeling van de kwaliteit op basis van macrofyten: blauw = zeer goed, groen = goed, geel = matig, oranje = ontoereikend en rood = slecht. Gegevens in bijlage 12.

Belangrijk hierbij te vermelden zijn de uitzonderlijk lage waterpeilen die opgetekend werden tijdens de recentste inventarisaties. Van de INBO opnames had enkel de opname op locatie BolBe_02 uit 2016 een 'normaal' waterpeil. Op locatie BolBe_01 stond de Bolisserbeek in 2018 zelfs grotendeels droog. Daarnaast waren niet alle locaties even geschikt om een EKC-score te berekenen. Zo zijn de beektrajecten ter hoogte van BolBe_01, BolBe_02, ZwaBe_02 en ZwaBe_04 voor meer dan 30 % beschaduwde door bomen of struiken in 2022: te veel schaduw voor een optimale ontwikkeling van de macrofytenpopulatie (Denys et al. 2016).

Onderstaande figuur toont de details per deelmaatlat. Op vlak van 'type-specificiteit' scoren alle locaties in 2021-2022 zeer goed. 'Verstoring' varieert van matig tot goed. Het zijn voornamelijk de deelmaatlaten 'groevormen' (score ontoereikend - matig) en 'vegetatieontwikkeling' (score slecht - matig) die problematisch zijn.

Indicatoren Ecologische Kwaliteit voor de macrofyten

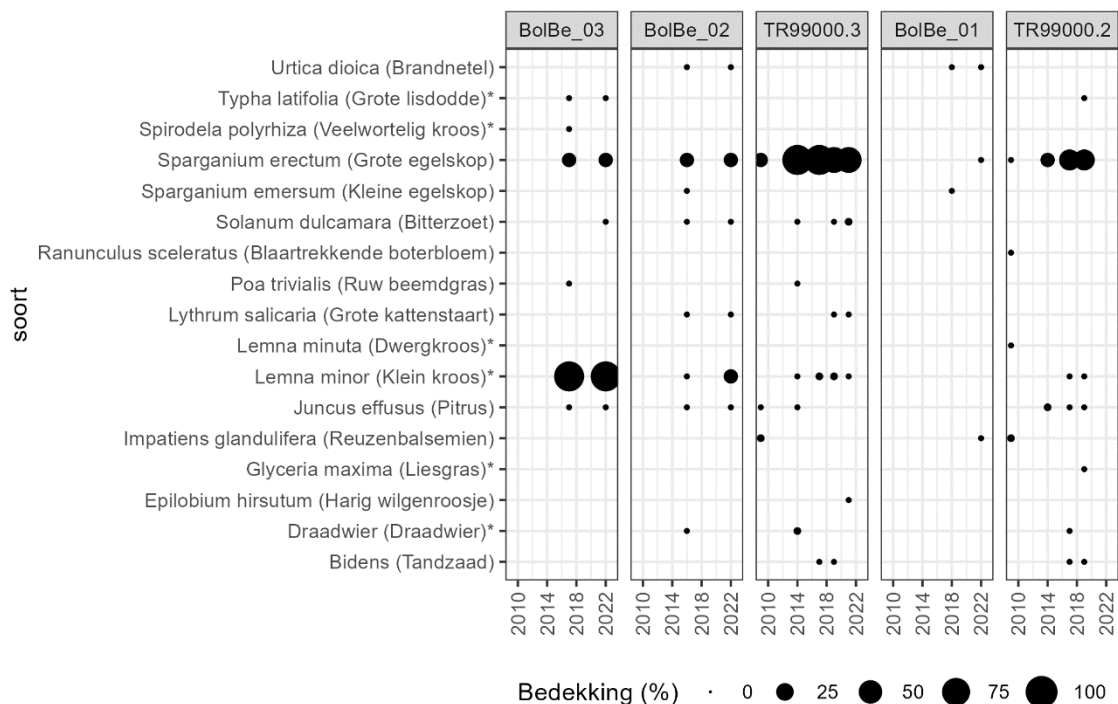


Figuur 72 Deelmaatlaten gebruikt voor de bepaling van de Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor de macrofyten op 5 locaties langs de Bolisserbeek en 2 locaties langs de Zwarte Beek. Voor een verklaring van de deelmaatlaten zie box 1. TR99000.2 en TR99000.3 maken deel uit van het meetnet van de VMM, de andere locaties zijn geïnventariseerd door INBO. De kleurschaal rechts geeft de beoordeling van de kwaliteit op basis van macrofyten: blauw = zeer goed, groen = goed, geel = matig, oranje = ontoereikend en rood = slecht. Gegevens in bijlage 12.

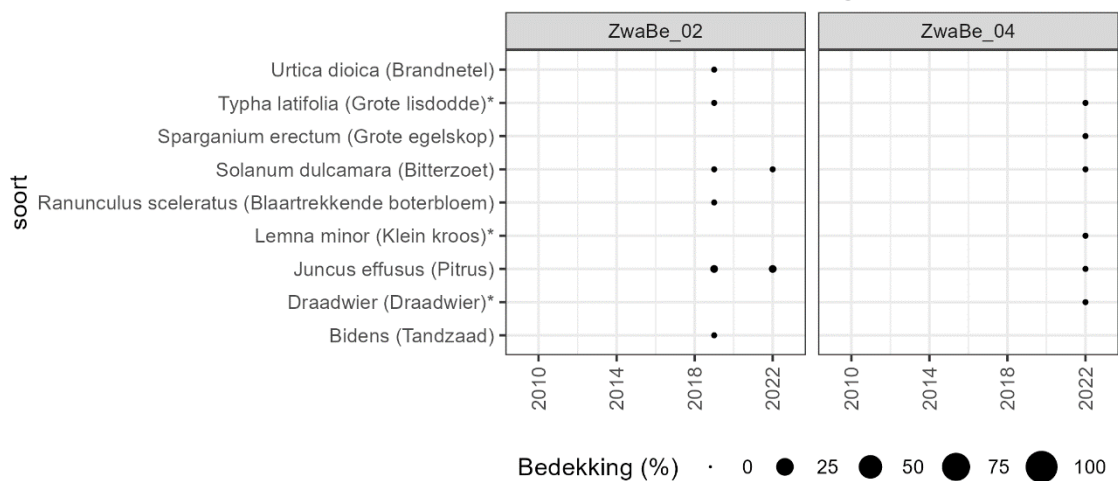
De figuren hieronder geven een overzicht van de aanwezige verstoring indicators per locatie en jaar.

Taxa die op verstoring door eutrofiëring wijzen, werden op alle locaties opgetekend, maar zijn abundanter in de Bolisserbeek dan in de Zwarte Beek. Ze zijn opvallend abundant in het 100 m-traject ter hoogte van BolBe_03, waar soorten als grote egelskop (*Sparganium erectum*) en vooral klein kroos (*Lemna minor*) werden vastgesteld (foto 5). ZwaBe_04 en vooral BolBe_01 zijn de locaties met de laagste aanwezigheid van indicatoren door eutrofiëring maar dat zijn ook de meest beschaduwde locaties waar er in het algemeen weinig aquatische vegetatie voorkomt. Door teveel schaduw ter hoogte van BolBe_01 (95 % van het wateroppervlak) wordt dit traject trouwens als permanent ongeschikt beschouwd voor de monitoring van macrofyten (Denys et al. 2016).

Indicatoren voor verstoring: Bolisserbeek



Indicatoren voor verstoring: Zwarte Beek



Figuur 73 Bedekking van verstoringsindicatoren per locatie en opname volgens de methodiek Ecologische Kwaliteitscoëfficiënt voor macrofyten. Soorten die ook als eutrofiëringsindicator worden beschouwd voor de bepaling van de lokale staat van instandhouding (Oosterlynck et al. 2020) worden aangeduid met een sterretje na de soortnaam (*).



Foto 5 Bolisserbeek. Links: zicht op transect BolBe_02 tijdens de opname van 2016, rechts: beschaduwde BolBe_01 in 2018 (boven), abundantie van klein kroos ter hoogte van BolBe_03 in 2022 (onder). Foto's: A. Leyssen.

5.4.2.2 Habitatrichtlijn

De Habitatrichtlijn definieert voor de natuurlijke habitats een **gunstige staat van instandhouding** die behouden of hersteld moet worden. Sommige criteria om de staat van instandhouding van een habitat te bepalen worden op regionaal niveau beoordeeld (areaal, oppervlakte, toekomstperspectieven), andere zijn bruikbaar om een lokale staat van instandhouding te bepalen. Voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding (LSVI) van het habitattype 3260 worden volgende criteria gebruikt (LSVI versie 3; Oosterlynck et al. 2020):

- Aantal sleutelsoorten
- Horizontale structuur (vegetatievlak: aaneengesloten vlak vegetatie waarin sleutelsoorten meer bedekken dan andere soorten)
- Verticale structuur (bedekking van helofyten⁷)
- Bedekking indicatorsoorten eutrofiëring
- Bedekking invasieve exoten

Van de door INBO geïnventariseerde trajecten is er slechts één met habitatwaardige vegetatie van 3260 (BolBe_02 in 2016, figuur 70). Deze kreeg een ongunstige beoordeling. Er werd niet voldaan aan de criteria voor indicatoren 'horizontale structuur' en 'sleutelsoorten'.

Om de opnamen onderling met elkaar te kunnen vergelijken en de evolutie van de vegetatie te kunnen monitoren, werden de criteria voor 3260 ook toegepast op de andere, niet habitatwaardige, locaties (tabel 29). Uit deze oefening bleek dat geen enkele locatie in gunstige lokale status verkeert voor alle indicatoren. Zoals voor BolBe_02 in 2016 zijn vooral de

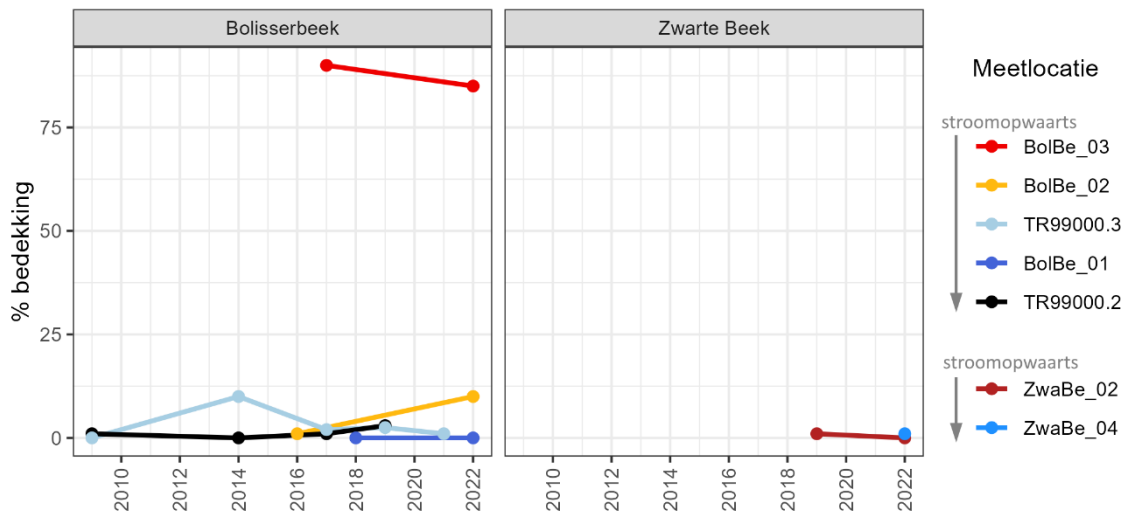
⁷ Een helofyt is een plant die in het substraat wortelt. Het onderste deel met winterknoppen bevindt zich onder de waterspiegel, terwijl het bovenste deel met de stengels en bladen erboven uitsteekt.

indicatoren 'horizontale structuur' en 'sleutelsoorten' problematisch. De **indicator voor eutrofiëring** scoort op alle locaties gunstig behalve op het meest stroomopwaarts gelegen transect BolBe_03 waar vooral *Lemna minor* (klein kroos) dominant aanwezig is en *Typha latifolia* (grote lisdodde) occasioneel aanwezig is (figuur 73).

Tabel 29 LSVI-bepaling voor de verschillende door INBO geïnventariseerde trajecten (bepaald volgens Oosterlynck et al. 2020). . BolBe_02 in 2016: enige habitatwaardige locatie. TRUE = gunstig, FALSE = ongunstig. Tussen haakjes: gemeten waarde voor elke indicator.

Indicator (grenswaarde)	Bolisserbeek						Zwarte Beek		
	stroomafwaarts			stroomopwaarts			afwaarts	opwaarts	
	Bol 01 2018	Bol 01 2022	Bol 02 2016	Bol 02 2022	Bol 03 2017	Bol 03 2022	Zwa 04 2022	Zwa 02 2019	Zwa 02 2022
Horizontale structuur : m ² grootste vegetatievlek (> 10 m ²)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0.5)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)
Verticale structuur : % helofyten uitg. Sleutelsoorten (<= 30 %)	TRUE (1)	TRUE (1)	TRUE (20)	TRUE (15)	TRUE (30)	TRUE (25)	TRUE (1)	FALSE (60)	TRUE (30)
n sleutelsoorten frequent (>= 2)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (1)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)
n sleutelsoorten laag-abundant (>= 1)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)	FALSE (0)
eutrofiëring : % bedekking (<= 30 %)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (1)	TRUE (10)	FALSE (90)	FALSE (85)	TRUE (1)	TRUE (1)	TRUE (0)
invasieve exoten hoogstens zeldzaam	TRUE (0)	FALSE (1)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (0)	TRUE (0)

Bedekking eutrofiëringindicatoren (LSVI versie 3)



Figuur 74 Totale bedekking van eutrofiëringindicatoren per locatie en opname volgens Oosterlynck et al. 2020 (LSVI versie 3).

meetpunten BolBe_01, BolBe_02, ZwaBe_02 en ZwaBe_04 kunnen dus best weggelaten worden. Langs de Bolisserbeek kunnen BolBe_03, TR99000.3 en TR99000.2 behouden worden. Langs de Zwarte Beek is het moeilijker om geschikte punten te vinden omdat de beek grotendeels onder bos of naast bomenrijen stroomt. En waar het niet het geval is (ten oosten van de snelweg) is het debiet in de zomer vaak heel beperkt: plaatselijk valt de beek quasi droog of is er geen stroming meer. We stellen dus voor om geen extra meetpunten voor de Zwarte Beek te voorzien.

Het lijkt aangewezen om de inventarisatie om de 6 jaar te herhalen (zelfde frequentie als de opvolging van de lokale waterlichamen van eerste orde door de VMM) en in de mate van het mogelijke af te stemmen op het meetschema van de VMM voor TR99000.2 en TR99000.3. Het protocol voor vegetatieopname en LSVI-bepaling voor het habitatype 3260 is beschikbaar online (Leyssen 2023).

Als alternatief kan worden overwogen om de focus te leggen op de macro-invertebraten i.p.v. de macrofyten, met als voordeel dat er een beroep kan gedaan worden op reeds geplande inventarisaties door de VMM. Sinds 2013 is de meetstrategie van VMM immers veranderd en zijn macro-invertebraten (Multimetrische macro-invertebratenindex - MMIF) het oriënterende kwaliteitselement voor rivieren. Enkel dit kwaliteitselement wordt dus in alle waterlichamen gemonitord, en pas wanneer de MMIF een matige of een goede kwaliteit aangeeft, worden macrofyten en/of fytobenthos opnieuw gemonitord. Voor het protocol verwijzen we naar het officiële Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water (protocollen WAC/I/A/006 en WAC/V/C/002, beschikbaar online). De Multimetrische Macro-invertebratenindex is gecorreleerd met milieuvariabelen zoals de zuurstofconcentratie en -verzadiging (positieve correlatie) en de stikstof- en fosforconcentratie (negatieve correlatie, Gabriels et al. 2010). De aanwezigheid van heel gevoelige soortengroepen zoals Ephemeroptera, Plecoptera en Trichoptera en van andere soorten gevoelig voor vervuiling wordt apart geregistreerd en kan als indicator dienen voor een goede waterkwaliteit met weinig vervuiling/nutriënten.



- Hill, M.O., Preston, C.D., Bosanquet S. & Roy, D.B. (2007, update 2017) BRYOATT - attributes of British and Irish Mosses, Liverworts and Hornworts, with information on native status, size, life form, life history, geography and habitat. Centre for Ecology and Hydrology and Countryside Council for Wales, Huntingdon, 36 p.
- Hughes, J. D. and Sanford, W. E., 2005, SUTRA-MS a Version of SUTRA Modified to Simulate Heat and Multiple-Solute Transport: U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1207, 141 p.
- Huybrechts W, Batelaan O, De Becker P, Joris I & van Rossum P. (2000). Ecohydrologisch Onderzoek Waterrijke Vallei-ecosystemen. Laboratorium voor Bodem en Water (K.U.Leuven), Instituut voor Natuurbehoud, Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde (V.U.Brussel). IN.R.2000.12. 307 p.
- Huybrechts W., De Becker P., Callebaut J. & De Bie E. (2009). Database Flanders Wetland Sites (FlaWet1.0) Manual. Intern Rapport INBO.IR.2009.1, Instituut voor Natuur & Bosonderzoek, Brussel.
- IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
- Jablonska E, Pawlikowski P, Jarzombkowski F, Chormanski J, Okruszko T & Klosowski S (2011) Importance of water level dynamics for vegetation patterns in a natural percolation mire (rospuda fen, ne poland). *Hydrobiologia* 674 (1): 105-117. 10.1007/s10750-011-0735-z
- Koerselman W, Bakker SA & Blom M (1990) Nitrogen, phosphorus and potassium budgets for two small fens surrounded by heavily fertilized pastures. *Journal of Ecology* 78 (2): 428-442.
- Kreuk, H., Groen, K. (2009) SKB Cahier - Stoftransport. Acacia Water
- Landmax en Bodemkundige Dienst (2023). Mitigatie en sanering van de milieudruk in het brongebied van de Zwarte Beek en de aansluitende vallei van de Bolisserbeek. In opdracht van het Agentschap voor Natuur en Bos.
- Lee, M.S., Lee, K.K., Hyun, Y., Prabhakar Clement, T. and D. Hamilton (2006) Nitrogen transformation and transport modelling in groundwater aquifers. *Ecological Modeling*. 192(206):143-159 doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.07.013
- Leterme, B., Jacques, D., and Neyens, C. (2021) Coupling unsaturated and saturated zone reactive transport : Development and benchmarking of the MTHP tool, 3rd ISMC Conference — Advances in Modeling Soil Systems, online, 18 – 22 May 2021, ISMC2021-70, <https://doi.org/10.5194/ismc2021-70>
- Leyssen, A., Adriaens, P., Denys, L., Packet, J., Schneiders, A., Van Looy, K., Vanhecke, L., 2005, Toepassing van verschillende biologische beoordelingssystemen op Vlaamse potentiële interkalibratielocaties overeenkomstig de Europese Kaderrichtlijn Water – partim “Macrofyten”. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Leyssen, A., Denys, L., 2016, Indicatieve situering van het Natura 2000 habitatype 3260, submontane - en laaglandrivieren met vegetaties behorende tot het Ranunculion fluitantis en het Callitricho-Batrachion. Versie 1.5. Digitaal bestand. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Leyssen A. (2023). Standard field protocols (sfp) INBO: Vegetatieopname en LSVI-bepaling habitat 3260. <https://inbo.github.io/protocols/standard-field-protocols-sfp.html>
- Lommelen E., Oosterlyncck P., Van Spaendonck G., Van Calster H., Van Hove M., Westra T. (2022). LSVI: Rekenmodule Lokale Staat Van Instandhouding van habitattypen.R package version 0.1.1.900, <https://github.com/inbo/LSVI>

////////////////////////////////////

- Londo G. (1975). De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. *Gorteria* 7(7):101-106
- Lucassen E. (2004). Biogeochemische beperkingen voor herstel van verdroogde elzenbroekbossen gevoed met sulfaat verrijkt grondwater. Proefschrift KU Nijmegen.
- Lucassen ECHET, Bobbink R, Smolders AJP, van der Ven PJM, Lamers LPM & Roelofs JGM (2002) Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology* 165 (1): 45-52. 10.1023/A:1021467320647
- Lucassen E, Smolders A, Boedeltje G, van den Munckhof P & Roelofs J (2006) Groundwater input affecting plant distribution by controlling ammonium and iron availability. *Journal of Vegetation Science* 17: 425-434. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02463.x>
- MacDonald JA, Dise NB, Matzner E, Armbruster M, Gundersen P & Forsius M (2002) Nitrogen input together with ecosystem nitrogen enrichment predict nitrate leaching from European forests. *Global Change Biology* 8 (10): 1028-1033. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00532.x>
- Mettrop IS, Cusell C, Kooijman AM & Lamers LPM (2015) Short-term summer inundation as a measure to counteract acidification in rich fens. *PLOS ONE* 10 (12). 10.1371/journal.pone.0144006
- Navratilova J, Navratil J & Hajek M (2006) Relationships between environmental factors and vegetation in nutrient-enriched fens at fishpond margins. *Folia Geobotanica* 41 (4): 353-376.
- Oosterlynck P., De Saeger S., Leyssen A., Provoost S., Thomaes A., Vandevoorde B., Wouters J., & Paelinckx D. (2020). Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura 2000 habitattypen in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (27). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.14061248
- Packet Jo, Denys Luc, De Becker Piet (2010). Advies betreffende mogelijkheden voor het herstel van een zwak gebufferd ven op het militair domein Kamp Beverlo te Houthalen-Helchteren. Advies INBO.A.2010.232, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. 15 pp.
- Parkhurst, D.L. & Appelo, C. (1999) User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *Water-resources investigations report*, 99, 312.
- Pollock, D.W. (2016) User guide for MODPATH Version 7 -- A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1086, 35 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>.
- Rahn, C.R., Zhang, K., Lillywhite, R., Ramos, C., Doltra, J., de Paz, J.M., Riley, H., Fink, M., Nendel, C., Thorup-Kristensen, K., Pedersen, A., Piro, F., Venecia, A., Firth, C., Schmutz, U., Rayns, F., Strohmeyer K. (2007) Development of a model based decision support system to optimise nitrogen use in horticultural crop rotations across Europe—EU-ROTATE N. Final Scientific Report QLK5-2002-01100, Wellesbourne.
- Renaud, L.V., J. Roelsma and P. Groenendijk, 2005. User's guide of the ANIMO4.0 nutrient leaching model. Wageningen, Alterra—Report 224, 184 pp
- Schneiders, A., L. Denys, H. Jochems, L. Vanhecke, L. Triest, K. Es, J. Packet, K. Knuysen and P. Meire (2004). Ontwikkelen van een monitoringstelsel en een beoordelingsmethode voor macrofyten in oppervlaktewateren in vlaanderen overeenkomstig de Europese kaderrichtlijn water, Instituut voor Natuurbehoud.
- Schönert, T. (1994). Die Bruchwälder des westlichen Rheinisches Schiefergebirges. *Dissertationes Botanicae*; Band 228. J. Cramer Verlag, Berlin

- Simunek, J., van Genuchten, M.Th., Sejna, M. (2006). The HYDRUS software package for simulating the two and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variable saturated media. Technical manual. PC Progress, Prague, Czech Rep, pp. 1–213.
- Sinshaw T., Yuan L., Forshay, K.J. (2019). A Review of Watershed and Water Quality Tools for Nutrient Fate and Transport. EPA 600/R-19/232
- Smolders, A.J.P. (1995). Mechanisms involved in the decline of aquatic macrophytes; in particular of *Stratiotes aloides* L. Proefschrift, Katholieke Universiteit Nijmegen
- Van Ballaer B. (2001). Potenties van de blauwgraslanden (*Cirsio dissecti* - Molinietum) in de provincie Antwerpen [Master Licentiaat in de Biologie Zwaartepunt Milieu] Universiteit Antwerpen. Promoter: 84 p.,
- Van Beek C.L. Van der Eertwegh G.A.P.H., Van Schaik F.H., Velthof G.L. & Oenema. O. (2004). The contribution of dairy farming on N and P loading of surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 85-95.
- Van Calster H., Cools N., De Keersmaecker L., Denys L., Herr C., Leyssen A., Provoost S., Vanderhaeghe F., Vandevorste B., Wouters J. en M. Raman (2020). Gunstige abiotische bereiken voor vegetatietypes in Vlaanderen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020 (44). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.19362510
- Van Daele T., Batelaan O. & De Smedt F. (2001) Ontwerp van ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek, Deel II: Hydrologische systeemmodellering. Vrije Universiteit Brussel.
- van Delft SPJ, Jansen PC & Kemmers RH. (2003). Effecten van hydrologische maatregelen tegen verzuring en vermessing op water, bodem en vegetatie in Groot Zandbrink. Evaluatie na twaalf jaar. Wageningen. 34 p.,
- van Dijk G, Loeb R, Brouwer E, Smolders AJP & Eimers N (2015) Standplaats eigenschappen van de veenmosorchis in Nederland. *De Levende Natuur* 116 (5): 208-214.
- van Dijk G, Smolders AJP, Fritz C, Grootjans AP, Straathof N & van Duinen GJA (2012) Ecologische gradiënten op de helling in de Brunsummerheide. *De Levende Natuur* 113 (4): 174.
- van Dijk G, Wolters J, Fritz C, de Mars H, van Duinen GJ, Ettiwig KF, Straathof N, Grootjans AP & Smolders AJP (2019) Effects of Groundwater Nitrate and Sulphate Enrichment on Groundwater-Fed Mires: a Case Study. *Water, Air, & Soil Pollution* 230 (6): 122. [10.1007/s11270-019-4156-3](https://doi.org/10.1007/s11270-019-4156-3)
- van Duren IC, Boeye D & Grootjans AP (1997) Nutrient Limitations in an Extant and Drained Poor Fen: Implications for Restoration. *Plant Ecology* 133 (1): 91-100.
- van Duren IC & Peggel DM (2000) Nutrient limitations in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results. *Plant and Soil* 220 (1): 35-47.
- van Duren IC, Strykstra RJ, Grootjans AP, Heerdt GNJ & Peggel DM (1998) A Multidisciplinary Evaluation of Restoration Measures in a Degraded *Cirsio-Molinietum* Fen Meadow. *Applied Vegetation Science* 1 (1): 115-130. <https://doi.org/10.2307/1479090>
- Verbeiren, B., Batelaan, O., De Smedt, F. (2007) Hydrologische modellering als basis voor het bepalen van potenties voor vegetatie en natuur in het kader van Ecosysteemvisies in Vlaanderen. Water. Congres watersysteemkennis 2006-2007
- Verbeiren, B., Tuccu, S., Batelaan o. & De Smedt, F. (2005) Ontwerp van een ecosysteemvisie voor de vallei van de visbeek-kindernouwebeek. Deelrapport 1: hydrologische systeemmodellering. Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde (VUB).



- Verhoeven JTA, Beek S, Dekker M & Storm W (1983). Nutrient dynamics in small mesotrophic fens surrounded by cultivated land. I. Productivity and nutrient uptake by the vegetation in relation to the flow of eutrophicated ground water. *Oecologia* 60 (1): 25-33. [10.1007/BF00379316](https://doi.org/10.1007/BF00379316)
- Vlaamse Milieumaatschappij (2015), Meetstrategie en methodiek macrofyten.
- Vlaamse Milieumaatschappij (2022), Nutriënten in oppervlakte- en grondwater in landbouwgebied, resultaten 2021-2022.
- Voss C. I., and Provost A.M. (2002). SUTRA, A model for saturated-unsaturated variable-density ground-water flow with solute or energy transport, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4231, 291 p.
- Waarnemingen.be (2023). Waarnemingen afkomstig van Waarnemingen.be, de website voor natuurinformatie van Natuurpunt en Stichting Natuurinformatie (dataset met referentiecode INBODATAVR-323, 21-02-2023).
- Walraevens, K., De Neve, S., Van Camp, M., De Waele, J. (2021). Project nitraatrijke bronnen. Deelverslag LUIK 3 - Valorisatie van de methode. Studie in opdracht van VLM. TGO 17/2.
- Wassen MJ & Barendregt A (1992) Topographic position and water chemistry of fens in a Dutch river plain. *Journal of Vegetation Science* 3 (4): 447-456. [10.2307/3235801](https://doi.org/10.2307/3235801)
- Wassen MJ, Barendregt A, Bootsma MC & Schot PP (1989) Groundwater chemistry and vegetation of gradients from rich fen to poor fen in the Naardermeer (the Netherlands). *Vegetatio* 79: 117-132. <https://doi.org/10.1007/BF00044904>
- Wassen MJ & Joosten JHJ (1996) In search of a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland). *Vegetatio* 124 (2): 191-209.
- Wassen MJ, van Diggelen R, Wolejko L & Verhoeven JTA (1996) A comparison of fens in natural and artificial landscapes. *Vegetatio* 126 (1): 5-26. [10.1007/BF00047758](https://doi.org/10.1007/BF00047758)
- Wey, H. (1988). Die Vegetation von Quellgebieten im Raum Trier und ihre Beeinflussung durch landund forstwirtschaftliche Bodennutzung der Einzugsgebiete. *Dissertationes Botanicae; Band 125*. J. Cramer Verlag, Berlin.
- Winston, R.B., Konikow, L.F., and Hornberger, G.Z., 2018, Volume-weighted particle-tracking method for solute-transport modeling; Implementation in MODFLOW–GWT: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A58, 44 p., <https://doi.org/10.3133/tm6A58>
- Wolf, J., Beusen, A., Groenendijk, P., Kroon, T., Rötter, R. & Van Zeijts, H. (2003). The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. *Environmental Modelling & Software*, 18, 597-617. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00036-7)
- World Health Organization (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Zhang, Y. C., C. P. Slomp, H. P. Broers, H. F. Passier, and P. Van Cappellen (2009) Denitrification coupled to pyrite oxidation and changes in groundwater quality in a shallow sandy aquifer. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 73:6716-6726. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.08.026>
- [Zhang Y.C., Prommer, H., Broers, H.P., Slomp, C.P., Greskowiak, J., Grift, van de B. and P. Van Cappellen \(2013\) Model-Based Integration and Analysis of Biogeochemical and Isotopic Dynamics in a Nitrate-Polluted Pyritic Aquifer. *Environ. Sci. Technol.* 47-18: 10415-10422. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4023909>](https://doi.org/10.1021/es4023909)

Zheng, C. and Wang P. (1999). MT3DMS - A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. U.S. Army Engineer Research and Development Center. Washington DC, United States



Bijlage 1 Boxplots van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat in het ondiepe grondwater

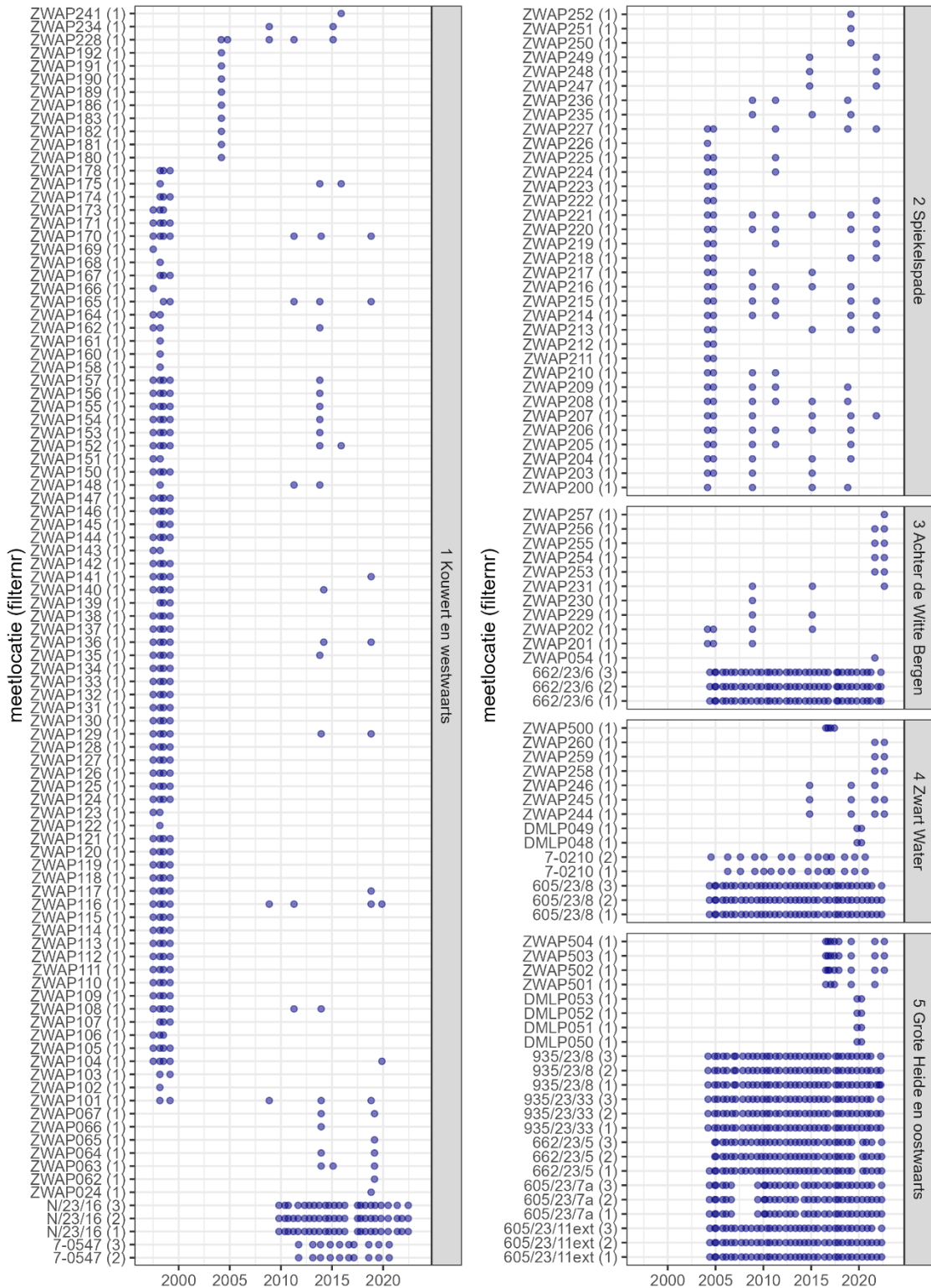
Dataset standplaatsonderzoek INBO (FlaVen databank 28/03/2023)

DIGITALE BIJLAGE

- Per bodemtype
- Per landbouwstreek
- Per ecoregio



Bijlage 2 Beschikbaarheid metingen grondwaterchemie (nutriënten)



Bijlage 3 Tijdreeksen van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter (diepte)

DIGITALE BIJLAGE

Bijlage 4 Kaarten van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten voor 1997-2022

DIGITALE BIJLAGE

Bijlage 5 Kaarten van de concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten per periode van 5 jaar

DIGITALE BIJLAGE

- 1997-2002
- 2003-2007
- 2008-2012
- 2013-2017
- 2018-2022

Bijlage 6 Dwarsdoorsnedes door het landschap met concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten voor 1997-2022

DIGITALE BIJLAGE

Bijlage 7 Dwarsdoorsnedes door het landschap met concentraties orthofosfaat, ammonium, nitriet, nitraat en sulfaat per meetpunt en filter, resultaten per periode van 5 jaar

DIGITALE BIJLAGE

- 1997-2002
- 2003-2007
- 2008-2012
- 2013-2017
- 2018-2022

Bijlage 8 Situatieschetsen van de proefvlakken

DIGITALE BIJLAGE

Bijlage 9 Resultaten vegetatietransecten in Spiekelspade

DIGITALE BIJLAGE



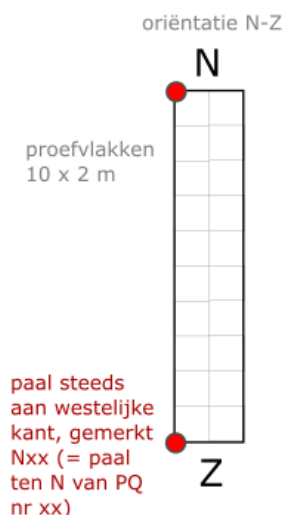
Bijlage 10 Bestaande losse waarnemingen vegetatie

DIGITALE BIJLAGE

Bijlage 11 Protocol vegetatieopnamen

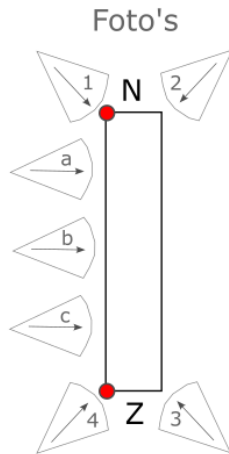
Vorbereiding terreinwerk

- De transecten zijn gelegen in de nabijheid van de bestaande piëzometersraaien (zie figuur 55). Coördinaten worden ingelesen in een GPS (WGS84 !) of in Fieldmap, indien voorhanden. Zo kan er makkelijker genavigeerd worden naar het specifieke punt. Een GIS bestand met de hoekpunten van de kwadranten wordt als digitale bijlage ter beschikking gesteld.
- Elk kwadrant is een rechthoek van 10 m x 2 m, met de langste kant in N-Z richting.
- Het is aan te raden om de opnamen telkens rond dezelfde datum uit te voeren om de vergelijkbaarheid tussen de gegevens te vergroten. Vegetatieopnamen dienen sowieso uitgevoerd te worden in het optimale vegetatieseeizoen, voor deze broekbossen dus ongeveer tussen mei en augustus.
- Historische vegetatieopnames of soortenlijsten kunnen mee op terrein genomen worden. Aan de hand van oude opnames een globale soortenlijst van het gebied samenstellen is aan te raden om op voorhand vertrouwd te geraken met de soorten.



Foto's

Er worden in totaal 7 foto's genomen: 4 foto's vanuit de hoekpunten naar het centrum van het proefvlak en 3 foto's naar het proefvlak. Om problemen te vermijden bij de latere verwerking wordt aangeraden om op de foto een duidelijk zichtbare identificatiecode van het proefvlak en oriëntatie weer te geven. Het is ook mogelijk om het invulformulier mee op de foto te zetten (of als eerste te fotograferen).



Vegetatieopname

Structuur

Bij een gelaagde vegetatie wordt de bedekking van de verschillende structuurlagen, zijnde strooisellaag, algenlaag, moslaag, kruidlaag, struiklaag en boomlaag geschat.

- De moslaag betreft alle terrestrische mossen, inclusief veenmossen.
- De kruidlaag bevat alle niet-houtige kruiden, en alle houtige planten met een hoogte tot maximaal 0.8 m. Kiemplanten en zaailingen van houtige gewassen aanwezig in de kruidlaag worden genoteerd met vermelding kiemplant (k) bij de fenologie.
- Tot de struiklaag worden de houtige planten van 0.8 tot 6 m gerekend.

De totale bedekkingen van (strooisellaag, algenlaag) moslaag, kruidlaag, boom- en struiklaag worden afzonderlijk ingeschat met telkens maximaal 100% bedekking. Daarnaast wordt ook de totale bedekking over de lagen heen ingeschat (dit is 100% min de bedekking van onbedekte bodem).

Soortensamenstelling

De opname van de soorten wordt beperkt tot de moslaag en kruidlaag. Alle vaatplanten binnen het proefvlak worden systematisch genoteerd, alsook de mossen die minstens ca 3% van het proefvlak bedekken.

De vegetatieopnames binnen de PQ's worden beschreven door de decimale schaal van Londo (Londo, 1975). Via deze schaal worden voor soorten met een bedekking onder de 5 % een indicatie gegeven van het aantal exemplaren van die soort:

Code	Bedekking	Aantalschatting
x1	< 1%	waarbij x =
x2	1 - 3	r = sporadisch (1-2 exemplaren)
x4	3 - 5	p = weinig talrijk (3-20 exemplaren)
		a = talrijk (21-100 exemplaren)
		m = zeer talrijk (> 100 exemplaren)
1-	6-10 %	geen
1+	11-15 %	
2	16-25 %	



Zwarte Beek

Soort	Zwa 02 2019	Zwa 02 2022	Zwa 04 2022
<i>Bidens</i> (Tandzaad)	o		
Draadwier*			r
<i>Juncus effusus</i> (Pitrus)	f	f	o
<i>Lemna minor</i> (Klein kroos)*			r
<i>Ranunculus sceleratus</i> (Blaartrekkende boterbloem)	r		
<i>Solanum dulcamara</i> (Bitterzoet)	o	r	o
<i>Sparganium erectum</i> (Grote egelskop)			r
<i>Typha latifolia</i> (Grote lisdodde)*	r		o
<i>Urtica dioica</i> (grote brandnetel)	o		

