Normoverschrijdende metalen in het beheergebied van HHNK

Ecofide
Natuurlijk vertrouwen

Normoverschrijdende metalen in het beheergebied van HHNK

Datum:	30-10-2024
Opdrachtgever:	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Contactpersoon opdrachtgever:	Mevr. S van Dam
Projectnummer:	193
Auteur(s):	JF Postma & CM Keijzers
Status:	Eindrapport

Ecofide
Rauwenhoffweg 5
8162 PK, Epe
KvK: 32134487
info@ecofide.nl
www.ecofide.nl

Ecofide
Natuurlijk vertrouwen

Inhoudsopgave

Samenvatting 1
1 Inleiding 3
2 Monitoring en huidige toestand 5
2.1 Onderzoeksopzet 5
2.2 Huidige toestand 6
2.3 Evaluatie van de beschikbare toetsingen 7
3 Ruimtelijke variatie 11
3.1 Nadere toelichting voor barium 17
3.2 Nadere toelichting voor metalen in zeekleigebieden 19
3.3 Andere metalen 27
4 Regionale achtergrondconcentraties 31
5 Doelbereik en handelingsperspectief 41
6 Referenties 45
7 Bijlagen 47

Samenvatting

Om de waterkwaliteitsdoelen tijdig te kunnen realiseren heeft het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier behoefte aan actueel inzicht in de noodzaak tot en mogelijke invulling van aanvullende maatregelen. Als onderdeel hiervan heeft HHNK de afgelopen jaren op uitgebreide schaal de metaal concentraties in haar beheergebied gemonitord. In het voorliggend rapport zijn de monitoringsresultaten geëvalueerd en beoordeeld om zo antwoord te geven op de drie binnen de meetcampagne gestelde onderzoeksvragen:

i) Wat is de huidige toestand?
ii) Leiden de nieuwe inzichten vanuit het landelijk project naar regionale achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024 in prep.) tot een nuancering van de huidige toestand? en
iii) Welk handelingsperspectief is er om (waar nodig) de toestand van deze metalen te verbeteren?

Huidige toestand

In Nederland zijn er voor 22 metalen normen voor oppervlaktewater vastgesteld. Uit de eindoordelen van de toetsingen in juli 2024 blijkt dat tien metalen in alle 51 waterlichamen aan de normen voldoen. Dit zijn antimoon, beryllium, cadmium, chroom, koper, kwik, molybdeen, telluur, thallium en titaan. Voor 11 metalen varieert het aantal normoverschrijdende waterlichamen tussen de 1 en 51 (Tabel 1). Arseen, kobalt en seleen overschrijden de normen in ≥40 waterlichamen. Aan de andere kant van het spectrum zijn er barium, lood en nikkel, die in ten hoogste drie waterlichamen nog niet aan de normen voldoen. De toestand van tin ten slotte is overal als 'niet toetsbaar' beoordeeld en behoeft nieuwe monitoring met een voldoende lage rapportagegrens (waarbij de verwachting is dat aan de normen wordt voldaan).

Tabel 1 Samenvattend overzicht van doelbereik 2027 en benodigde vervolgacties.

	Waterlichamen >norm		Vervolgactie	Verwachte toestand 2027
	Toetsing juli 2024	Huidige project[1)]		
Lood	1	0	evalueer monitoring	<norm
Nikkel	3	0	evalueer monitoring	<norm
Tin	51* niet toetsbaar	0	gebruik lagere rapportagegrens	<norm
Seleen	49	0	hertoets met P_{90}-waarde	<norm
Uranium	11	0	hertoets met P_{90}-waarde	<norm
Barium	1	1	" inclusief 1 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
Boor	18	6	" inclusief 6 lokale analyses	waarschijnlijk <norm
Kobalt	43	3	" inclusief 3 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
Vanadium	5	1	" inclusief 1 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
Arseen	51	48	reduceer antropogene bronnen	klein en/of onzeker
Zink	5	4	reduceer antropogene bronnen	klein en/of onzeker
Zilver	29	29	(landelijke) bronnenanalyse	klein en/of onzeker
Totaal >norm	**216**	**92 (-57%)**		

[1)] deels afhankelijk van door HHNK nog uit te voeren controles en evaluaties

Nadere beoordeling

Als eerste stap zijn de toetsingen van juli 2024 geëvalueerd. Voor verschillende metalen zijn hieruit een aantal aandachtspunten naar voren gekomen. Deze zijn in §2.3 besproken en leiden in enkele gevallen tot een lichte toename of juist afname van het aantal normoverschrijdende waterlichamen. HHNK wordt aanbevolen om deze bevindingen te bezien, maar deze zijn in de samenvatting verder niet besproken. De evaluatie leidde ook tot een meer algemeen aandachtspunt, namelijk de constatering dat het watertype dat aan een monitoringslocatie is toegekend geregeld verschilt van dat van het waterlichaam als geheel. Daarbij gaat het meestal om verschillen tussen zoet dan wel brakwater en juist deze verschillen in zoutgehalte zijn zeer relevant bij de beoordeling van de huidige toestand van metalen. HHNK wordt daarom aanbevolen om al deze situaties te evalueren en zo na te gaan of een andere monitoringslocatie niet een betrouwbaarder beeld van de huidige toestand in het waterlichaam kan geven. Overigens heeft HHNK in eerdere jaren al de eerste stappen hierin gezet, bijvoorbeeld rondom de monitoring van metalen bij de Helsdeur in Den Helder. Ten slotte werd uit de evaluatie ook geconcludeerd, dat er voor lood en nikkel geen normoverschrijdende waterlichamen meer zijn.

Ook het toepassen van de adviezen vanuit het landelijk metaal project leidt tot een daling van het aantal normoverschrijdende waterlichamen (Tabel 1). Voor seleen en uranium werd geconstateerd dat er niet langer van normoverschrijdende waterlichamen sprake is, terwijl het aantal normoverschrijdingen voor barium, boor, kobalt en vanadium (soms flink) zal afnemen. Voor deze laatste vier metalen zijn er nog enkele uitzonderingen, maar het nader analyseren van de lokale situatie zou alsnog tot het oordeel voldoet kunnen leiden. In het huidige rapport worden hier al verschillende aanzetten toe gegeven.

Doelbereik en handelingsperspectief

Daarmee resteren er slechts drie metalen waar verdergaande acties voor nodig zijn, namelijk arseen, zink en zilver. Voor arseen en zink ligt de nadruk in eerste instantie op het reduceren van de nog aanwezige antropogene emissies. Dit vergt deels landelijke maatregelen, die binnen het lopende KRW-impuls programma ook worden benoemd. Daarnaast kan ook HHNK extra stappen zetten. Deze richten zich ook op emissie-reducerende maatregelen (bijv. in een eventuele verdere optimalisatie van het verwijderingsrendement bij RWZI's), maar daarnaast zijn er ook mogelijkheden om via Nader Onderzoek de lokale situatie nauwkeuriger te beoordelen. Voor waterlichamen waar bijvoorbeeld de afwezigheid van arseen-emissies voldoende kan worden onderbouwd, resteert de natuurlijke achtergrond en zou de toestand wellicht alsnog als voldoet beoordeeld kunnen worden.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat van de 216 normoverschrijdingen in de toetsingen van juli 2024 (waterlichaam * stof combinaties) er 92 komen te vervallen (afname van 57%). Hierbij moet als kanttekening worden gezegd, dat de voorstellen vanuit het landelijke metaal project thans nog slechts in concept beschikbaar zijn. HHNK wordt aanbevolen om de huidige evaluatie na te lopen als het eindrapport van dit project beschikbaar is gekomen.

1 Inleiding

Aanleiding

Om de waterkwaliteitsdoelen tijdig te kunnen realiseren heeft het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier behoefte aan een actueel overzicht van de noodzaak en mogelijke invulling van aanvullende maatregelen. Achterliggende processen zijn de toenemende urgentie, zoals die in de landelijke tussenevaluatie wederom naar voren kwam, de voortvarendheid waarmee het landelijke KRW-impulsprogramma tot voorstellen voor aanvullende maatregelen leidt en een groeiend inzicht in de eigen, regionale problematiek. Zo heeft het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier de afgelopen jaren een uitgebreide monitoring van metaalconcentraties uitgevoerd om zo de ruimtelijke variatie binnen haar beheergebied beter in beeld te krijgen. Hiermee wordt het inzicht in de huidige toestand versterkt en kunnen de adviezen vanuit het landelijke onderzoek naar de natuurlijke achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024, in prep.) beter op waarde worden geschat.

Doelstelling

In het voorliggend rapport zijn deze meetgegevens uitgewerkt en beoordeeld om zo antwoord te geven op de drie onderzoeksvragen, waarvoor deze meetcampagne is uitgevoerd:

i) Wat is de huidige toestand?
ii) Leiden de nieuwe inzichten vanuit het landelijk project naar regionale achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024 in prep.) tot een nuancering van de huidige toestand? en
iii) Welk handelingsperspectief is er om (waar nodig) de waterkwaliteit van deze metalen te verbeteren?

Leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt het uitgevoerde monitoringsprogramma gekarakteriseerd en wordt ingegaan op de huidige toestand van het oppervlaktewater. Vervolgens wordt in hoofdstuk drie aandacht besteed aan de ruimtelijke variatie binnen het beheergebied en de vraag of deze variatie begrepen kan worden vanuit factoren als de aard van de ondergrond en meer algemene waterkwaliteitsparameters zoals de concentraties van calcium en chloride. Deze inzichten zijn ondersteunend aan de voorstellen vanuit het landelijk project naar de regionale achtergrondconcentraties van metalen, die in hoofdstuk vier worden besproken. Het rapport sluit af met conclusies rondom het doelbereik 2027 en de vraag voor welke metalen een verdere verbetering van de waterkwaliteit nodig is en welke emissies hiervoor aandacht behoeven.

2 Monitoring en huidige toestand

De uitgevoerde monitoring was gericht op het verkrijgen van meer inzicht in de huidige waterkwaliteit en in de mate, waarin deze waterkwaliteit binnen het beheergebied van HHNK varieert. In het onderzoek zijn alle 22 genormeerde metalen bestudeerd (4 prioritaire en 18 specifieke verontreinigende). De onderzoeksopzet is in §2.1 samengevat. De verzamelde meetgegevens zijn ondertussen door HHNK meegenomen in de landelijke toetsronde uit juli 2024. In §2.2 zijn deze toetsresultaten samengevat. Daarnaast zijn deze toetsresultaten en de achterliggende meetgegevens kritisch geëvalueerd (§2.3). Dit leidde tot een aantal aandachtspunten, waarmee de monitoring en toestandsbeoordeling verder kan verbeteren.

2.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoek is op alle 63 KRW-rapportagepunten (=OM-locaties, waarvan 5 ook T&T-locatie zijn) uitgevoerd. In eerste instantie richtte het onderzoek zich op de vier prioritaire metalen (Cd, Hg, Pb en Ni), aangevuld met vier vaker geanalyseerde specifieke verontreinigende metalen (Cu, Zn, As, Cr). Vanwege de prioritaire metalen werden er maandelijks monsters genomen. Daarbij zijn de 63 locaties in drie groepen ingedeeld, die in respectievelijk 2019 (19 locaties), 2020 (24 locaties) en 2021 (20 locaties) zijn gemonitord (tabel 2.1). In 2019 werd besloten om vanaf 2020 ook seleen en uranium te analyseren. Voor deze twee metalen werd vier keer per jaar gemonsterd, waarbij de drie groepen van locaties in 2020, 2021 en 2022 zijn onderzocht. Ten slotte werd tot een tweede uitbreiding van het analysepakket besloten, waarbij ook de concentraties van de resterende 12 genormeerde metalen (Ag, B, Ba, Be, Co, Mo, Sb, Sn, Te, Ti, Tl en V) werden vastgesteld. Ook dit betreft specifieke verontreinigende metalen, waardoor er vier monsters per jaar werden geanalyseerd en waarbij de drie groepen van locaties oorspronkelijk in de jaren 2022, 2023 en 2024 gemonitord zouden worden. Later is besloten om de uitvoering van 2024 naar 2023 te vervroegen (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Samenvattend overzicht van het uitgevoerde onderzoek.

Aantal metalen	Aantal locaties 2019	2020	2021	2022	2023	
8	19	24	20			
2		24	20	19		
12				19	24	20[1)]

[1)] De groep van 20 locaties was voor 2024 gepland maar is naar voren gehaald.

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek zijn ook nog enkele kleinere wijzigingen opgetreden.

* *Locatie wijzigingen*
  -BDV048 is in 2019 bemonsterd maar vanwege de bereikbaarheid vanaf 2022 vervangen door 808002
  -135802 (ook T&T-locatie) is vanwege zout invloeden vanaf 2022 vervangen door 135701
  -208006 is in 2021 bemonsterd maar vanwege een verplaatst gemaal vanaf 2022 vervangen door 208017
  -485103 is in 2021 bemonsterd, maar komen te vervallen omdat het watertype afwijkt van het waterlichaam
* *Verschillen in aantal jaarlijkse monsters*
  Arseen, chroom, koper en zink werden in 2019-2021 simultaan met de prioritaire metalen bemonsterd. Conform het Protocol Monitoring en Toestandsbeoordeling zijn deze vier specifieke verontreinigende stoffen meestal in vier monsters geanalyseerd. Uitzonderingen zijn 18 locaties in 2019 voor arseen en chroom en 25 locaties in 2019-2021 voor koper en zink, waarbij soms maandelijkse monsters zijn geanalyseerd.

2.2 Huidige toestand

Aantal en ernst van de normoverschrijdingen

In Nederland zijn er voor 22 metalen normen voor oppervlaktewater vastgesteld. Dit zijn vier prioritaire (Hg, Cd, Ni, Pb) en 18 specifieke verontreinigende metalen. Uit de eindoordelen van de toetsingen in juli 2024 blijkt dat tien metalen in alle 51 waterlichamen aan de normen voldoen. Dit zijn antimoon, beryllium, cadmium, chroom, koper, kwik[1], molybdeen, telluur, thallium en titaan. Voor 11 metalen varieert het aantal normoverschrijdende waterlichamen tussen de 1 en 51 (tabel 2.2[2]). Arseen, kobalt en seleen overschrijden de normen in ≥40 waterlichamen. Aan de andere kant van het spectrum zijn er barium, lood en nikkel, die in ten hoogste drie waterlichamen nog niet aan de normen voldoen.

Tabel 2.2. Aantal normoverschrijdende waterlichamen op basis van de eindoordelen uit juli 2024.

	Eindoordelen		
	Voldoet	Niet toetsbaar	Voldoet niet
Arseen			51
Barium	50		1
Boor	33		18
Kobalt	8		43
Lood	50		1
Nikkel	48		3
Seleen	2		49
Tin		51[1)]	
Uranium	40		11
Vanadium	46		5
Zilver	22		29
Zink	46		5

[1)] Tin kan momenteel voldoende gevoelig geanalyseerd worden (laagste RG=0,02 µg/l).

De resultaten van tabel 2.2 zijn gebaseerd op de eindoordelen en dus inclusief eventuele projectieregels, deskundigenoordelen en/of zaken als het middelen van concentraties als er meerdere locaties in een waterlichaam zijn gemonitord. Voor de normoverschrijdende metalen zijn daarom ook de resultaten van de 63 individuele locaties (afkomstig uit 51 waterlichamen) samengevat (Tabel 2.3). Voor ieder metaal geeft deze tabel een overzicht van de normwaarde voor de JG-MKN alsmede van de gemiddelde, minimale en maximale concentraties alsmede van de 10 en 90-percentiel concentraties (P_{10}, P_{90}). Ten slotte is aangegeven in hoeveel locaties de JG-MKN wordt overschreden.

Alhoewel de exacte getallen iets verschillen tussen de beoordeling van waterlichamen (tabel 2.2) en die van individuele locaties (tabel 2.3) leiden beide werkwijzen tot een vergelijkbaar beeld. Zo wordt de JG-MKN van arseen, kobalt en seleen in 54-60 van de 63 onderzochte locaties overschreden, terwijl dit voor barium, lood en nikkel telkens om slechts één (onderling verschillende) locatie gaat. Verder blijkt uit tabel 2.3 dat het verschil tussen de P_{90}-concentratie en de JG-MKN (+AC)[3] tussen een factor <1 en 7 varieert. Niet onverwacht correleert dit verschil met het aantal normoverschrijdende locaties. Voor barium, lood, nikkel en zink is deze factor <1 en ligt het aantal normoverschrijdende locaties tussen de 1 en 6. Voor metalen, met een verschilsfactor tussen de 1 en 2 (U en V), bedraagt het aantal normoverschrijdende locaties 7 tot 18 en voor metalen waar dit verschil tussen de P_{90}-waarde en de JG-MKN (+AC) groter is dan 2 (Ag, As, B, Co, Se) varieert het aantal normoverschrijdende locaties tussen 24 en 60.

[1] De eindoordelen van kwik (alles voldoet) zijn niet op de monitoring in oppervlaktewater gebaseerd, maar op een eerder uitgevoerde biotamonitoring in het waterlichaam Waterrijk Waterland waar aan de biotanorm werd voldaan (STOWA, 2022; Ecofide, 2024a). Dit oordeel is naar alle andere waterlichamen geprojecteerd. Momenteel wordt er aanvullende biotamonitoring uitgevoerd om deze werkwijze bij enkele waterlichamen te verifiëren.
[2] Tin kent geen normoverschrijdingen en is overal als niet toetsbaar beoordeeld.
[3] Hiermee wordt bedoeld dat de concentraties telkens zijn vergeleken met de JG-MKN, die indien toegestaan met de landelijke achtergrond concentratie (AC) is verhoogd.

Tabel 2.3. Samenvattend beeld van de verkregen onderzoeksresultaten. Voor de normoverschrijdende metalen is de gemiddelde opgeloste concentratie over alle 63 monitoringslocaties opgenomen, alsmede de min-max, de 10- en 90-percentiel en het aantal locaties met een gemiddelde concentratie boven de JG-MKN (of de JG-MKN+AC als dat in de toetsing is toegestaan). Alles in µg/l. Bij de P_{90} is tussenhaakjes aangegeven bij hoeveel locaties deze waarde boven de JG-MKN (+AC) ligt.

	JG-MKN + AC [1)]	Gemiddelde conc	Minimum	Maximum	10-percentiel	90-percentiel	Aantal locaties >JG-MKN (+AC)
Arseen	0,5 + 0,5	3,82	0,28	14,0	2,1	6,0 (6)	57
Barium	93	22,2	4,0	230	7,7	34,6 (<1)	1
Boor	180 + 27	250	32	630	110	417 (2)	36
Kobalt	0,2	0,40	0,05	1,70	0,13	0,66 (3)	54
Lood	1,2 + 0,2	0,21	0,05	3,3	0,05	0,48 (<1)	1
Nikkel	4 + 1	2,62	0,14	6,0	1,3	3,7 (<1)	1
Seleen	0,052	0,20	0,04	0,77	0,10	0,29 (6)	60
Tin	0,6 + 0,0002	<2	<2	<2	<2	<2 (-)	onbekend
Uranium	0,17 + 0,8	0,77	0,02	2,3	0,23	1,5 (1,5)	18
Vanadium	3,5 + 0,8	2,9	0,1	14,0	1,0	4,4 (1)	7
Zilver	0,01	0,023	0,003	0,130	0,003	0,071 (7)	24
Zink	7,8 + 1,0	4,3	1,0	11,9	2,3	8,7 (<1)	6

[1)] Er is in dit overzicht nog geen rekening gehouden met eventuele 2de lijnstoetsingen (Zn, Ni, Pb) of zoutafhankelijke toetsingen (B, U).

2.3 Evaluatie van de beschikbare toetsingen

Als eerste vervolgstap zijn alle meetgegevens en toetsingen kritisch geëvalueerd. Hierbij is ondermeer gekeken naar opvallende uitschieters, missende meetgegevens, ontbrekende 2de-lijnstoetsingen en eventuele verschillen tussen locaties binnen hetzelfde waterlichaam. Deze beoordeling is in twee stappen uitgevoerd:

Stap 1: Toetsresultaten zijn beschikbaar voor iedere combinatie van locatie, jaar en toetsparameter (JG of MAC). Bij het samenvoegen van deze toetsingen tot een oordeel over de locatie als geheel is voor de JG-MKN gekeken naar de gemiddelde concentratie over de laatste drie gemonitorde jaren en voor de MAC-MKN naar de 3-jarige maximale concentratie.

Stap 2: Als er meerdere locaties in een waterlichaam zijn bemonsterd zijn de uitkomsten van stap 1 over de locaties gemiddeld voor de JG-MKN dan wel is het maximum hiervan genomen voor het oordeel over de MAC-MKN van het waterlichaam.

Vervolgens zijn deze oordelen over de huidige toestand vergeleken met de formele eindoordelen van de toetsing uit juli 2024 (tabel 2.4). Hieruit blijkt dat er voor zes metalen enige verschillen optreden. Voor arseen en zink leidt de uitgevoerde evaluatie tot iets minder normoverschrijdingen en voor uranium en vanadium juist tot iets meer. Voor nikkel en lood lijken de normoverschrijdingen in hun geheel te kunnen vervallen. De bevindingen zijn hieronder per metaal in meer detail besproken. HHNK wordt aanbevolen om deze nadere beoordeling te evalueren en waar nodig zaken rondom locatie keuzes en toetsingen in het beoordelingsproces aan te passen. Verder wordt HHNK ook aanbevolen om voor het niet toetsbare tin de komende monitoring uit te besteden aan een laboratorium, die de benodigde lage rapportagegrens kan realiseren. Als dergelijke monitoring niet voor 2025 in de planning staat wordt HHNK aanbevolen om dit alsnog te overwegen door bijvoorbeeld de vijf T&T-locaties gedurende één jaar vier keer te bemonsteren. Daarmee zijn de monitoringsresultaten nog in 2026 beschikbaar en worden ze meegenomen in de eindoordelen van 2027. Aangezien de toestand van tin in alle andere 674 waterlichamen in Nederland aan de normen voldoet (toetsingen 2023), lijkt een vergelijkbare uitkomst voor HHNK waarschijnlijk.

Tabel 2.4. Aantal normoverschrijdende waterlichamen per metaal op basis van de eindoordelen uit juli 2024 (linker drie kolommen; idem aan tabel 2.2) en de toetsresultaten per locatie uit juli 2024 (rechter kolommen).

	Eindoordelen			Evaluatie toetsresultaten				
	Voldoet	Niet toetsbaar	Voldoet niet	Voldoet	Niet toetsbaar	Voldoet niet	>norm JG-MKN	>norm MAC-MKN
Arseen			51	3		48	48	7
Barium	50		1	50		1	1	0
Boor	33		18	33		18	18	7
Kobalt	8		43	8		43	43	3
Lood	50		1	51		0	-	-
Nikkel	48		3	50 of 51[1)]		0 of 1[1)]	-	-
Seleen	2		49	2		49	49	0
Uranium	40		11	38		13	13	0
Vanadium	46		5	45		6	6	-
Zilver	22		29	22		29	24	29
Zink	46		5	47		4	0	4

[1)] afhankelijk van nog uit te voeren evaluatie.

Evaluatie toetsingen arseen

1) Het eindoordeel over de toestand van waterlichaam NL12_810 is 'voldoet niet', maar in het bestand met toetsingen is geen toetsing aanwezig. Uit de ruwe meetgegevens blijkt dat de arseen concentraties in 2019 op locatie 4N0804 zijn gemonitord. De gemiddelde concentratie was 0,28 en de maximale 0,4 µg /l. Daarmee wordt aan zowel de JG- als MAC-MKN voldaan en voldoet de toestand. HHNK wordt geadviseerd na te gaan waarom dit toetsresultaat in de toetsingen ontbreekt.
2) In de brakke waterlichamen NL12_520 en _630 liggen de gemiddelde arseen concentraties tussen de 0,58 en 0,60 µg/l (locaties 770304, 802004 en 802024). Deze concentraties voldoen aan de toetswaarde van de JG-MKN + AC (namelijk 0,5 + 0,5 µg/l). Toch leidt de Aquokit toetsing tot een 'voldoet niet'. Dit komt doordat de toetswaarde op 0,5 µg/l staat en niet met de achtergrondconcentratie van 0,5 µg/l is verhoogd. Dit blijkt voor alle brakke waterlichamen (M30 of M31) op te treden (alleen heeft het voor de meeste geen consequenties aangezien de meeste arseen concentraties >1 µg/l zijn). Dit lijkt te komen door de manier waarop saliniteitsgegevens worden aangeleverd. Uit terugkoppeling van IHW blijkt dat het promille teken (‰) door Aquokit alleen geïmporteerd kan worden als het aangeboden bestand voldoen aan de UTF-8 (tekenset)codering. Na correctie voldoen ook deze twee waterlichamen aan de normen.

Evaluatie toetsingen lood

1) De enige normoverschrijding voor lood is in 2020 vastgesteld bij locatie 440023 in waterlichaam NL12_250 (>JG-MKN). In datzelfde jaar en waterlichaam is ook locatie 440020 bemonsterd. Hier werd geen normoverschrijding vastgesteld. Verder blijkt uit de toetsingen dat er voor de normoverschrijdende locatie 440023 geen 2de-lijnstoetsing is uitgevoerd. Zou dit wel zijn gedaan, dan was aan de toestand voldaan (normfractie = 0,046). Het is niet direct duidelijk waarom deze 2de-lijnstoetsing ontbreekt, want er zijn wel gegevens van de DOC-concentratie aanwezig (gem. 27,3 mg/l). Wel valt op dat er een verschil in het watertype tussen de locaties bestaat. Volgens de informatie vanuit de onderzoeksopzet is aan 440020 watertype M30 toegekend en aan 440023 watertype M10. Dit watertype M10 is ook aan het waterlichaam als geheel toegekend. Bij watertype M30 zou het ontbreken van een 2de-lijnstoetsing zijn te begrijpen (in brakwater kan de 2de-lijnstoetsing niet worden uitgevoerd), maar dit is nu juist locatie 440020 waar de toestand voldoet. HHNK wordt aanbevolen om na te gaan, waarom deze 2de-lijnstoetsing ontbreekt. Opname van deze 2de-lijnstoetsing zou er voor zorgen dat lood in alle waterlichamen aan de normen voldoet.
   Noot: HHNK heeft ondertussen ook de keuze van de M30-locatie 440020 geëvalueerd en besloten om dit meetpunt vanaf 2025 te verplaatsen[4].

[4] In het algemeen is het streven om binnen één waterlichaam niet verschillende watertypen te hanteren.

Evaluatie toetsingen nikkel

De drie normoverschrijdende waterlichamen betreffen NL12_260, _280 en _340. Hierbij zijn bij drie van de vier gemonitorde locaties overschrijdingen van de JG-MKN vastgesteld. De MAC-MKN wordt nergens overschreden.

1) NL12_260: De monitoring betreft locatie 517017 (>norm in 2020 en 2021) en 519003 (geen overschrijdingen). Bij een nadere beoordeling blijkt de toestand van dit waterlichaam te voldoen en wel om twee redenen.
   i) De (over de jaren) gemiddelde concentratie bedraagt 4,2 voor 517017 en 3,7 µg/l voor 519003. Het gemiddelde van deze twee locaties bedraagt 3,95 µg/l en voldoet aan de JG-MKN van 4 µg/l.
   ii) Het is een zoet waterlichaam (M10), waardoor de toestand ook op een 2de-lijnstoetsing kan worden gebaseerd. In de toetsresultaten is deze 2de-lijstoetsing niet aanwezig, maar DOC-concentraties zijn voor alle nikkel monsters aanwezig. Als de toetsingen overnieuw worden uitgevoerd blijkt de toestand van nikkel op basis van de 2de-lijstoetsing te voldoen (normfractie=0,12). HHNK wordt daarom aanbevolen om na te gaan, waarom deze 2de-lijnstoetsing ontbreekt.
2) NL12_340: De monitoring is op locatie 531002 in 2020 uitgevoerd (>JG-MKN). Zowel de locatie als het waterlichaam is als M30 gekarakteriseerd, waardoor er geen 2de-lijnstoetsing is toegestaan. Het ontbreken van zo'n 2de-lijnsoordeel is daarmee begrijpelijk. Als een 2de-lijnstoetsing op biobeschikbaarheid niet mogelijk is, kan men echter altijd nog corrigeren voor de landelijke achtergrondconcentratie. Deze bedraagt voor nikkel 1 µg/l, terwijl de jaargemiddelde concentratie op locatie 531002 4,3 µg/l was. De JG-MKN + AC is daarmee 4 + 1 µg/l, waarmee de toestand in waterlichaam NL12_340 voldoet.
3) NL12_280: Voor waterlichaam NL12_280 is de monitoring in 2020 op locatie 475104 uitgevoerd en werd een overschrijding van de JG-MKN vastgesteld. Er is in de toetsingen van juli 2024 geen 2de-lijnstoetsing beschikbaar. Dit komt doordat de locatie binnen het aanvullende monitoringsonderzoek als watertype M30 is aangemerkt en een 2de-lijnstoetsing niet is toegestaan voor brakke wateren. Aan het waterlichaam NL12_280 is echter watertype M10 toegekend, waardoor zo'n 2de-lijnstoetsing wel zou mogen. Een aanvullend uitgevoerde toetsing laat zien, dat de toestand van nikkel op basis van zo'n 2de-lijnstoetsing zou voldoen (normfractie bedraagt 0,15 en ligt daarmee aanzienlijk lager dan de grens van 1). De vraag is dan hoe legitiem de toepassing van de 2de-lijnstoetsing is. De jaargemiddelde chloride concentratie op deze locatie bedraagt 458 mg/l (>GEP van 300 mg/l voor M10) en nikkel is minder toxisch in zouter water (JG-MKN$_{zoet}$ = 4; JG-MKN$_{zout}$ = 8,6 µg/l). Verder zijn nikkel concentraties boven het jaargemiddelde van 6 µg/l alleen in de periode nov – april aangetroffen. Dit zijn juist de maanden met de laagste chloride concentraties (gem 358 mg/l). Deze gemiddelde chloride concentratie ligt slechts 20% hoger dan de GEP-waarde van 300 mg/l, waarbij een 2de-lijnstoetsing wél zou worden toegepast. Tegelijkertijd is de voor biobeschikbaarheid gecorrigeerde waarde meer dan een factor 6 lager dan de grens, waarboven er sprake is van een normoverschrijding. In verhouding met de relatief kleine verhoging van chloride, lijkt dit verschil zo groot dat een ecologisch nadelig effect onwaarschijnlijk is. Dit is een deskundigenoordeel. Een belangrijkere optie is om te evalueren of de huidige locatie, met iets verhoogde chloride concentraties, de meest geschikte locatie is voor de chemische monitoring van een waterlichaam met watertype M10. Aanvullende monitoring op een locatie met watertype M10 leidt waarschijnlijk tot een meer betrouwbaarder oordeel over de huidige toestand van nikkel.

Evaluatie toetsingen uranium

In de toetsingen van juli 2024 zijn elf normoverschrijdende waterlichamen aangetroffen. Dit betreft telkens een overschrijding van de JG-MKN. Overschrijdingen van de MAC-MKN zijn nergens aangetroffen. De evaluatie van de toetsingen geeft verschillende aandachtspunten.

1) In de toetsingen van juli 2024 lijken de meetgegevens van 2021 te ontbreken. Hertoetsing geeft normoverschrijdingen voor NL12_430, _490, _530 en _540.
   Noot. Dit is mogelijk een gevolg van het feit dat de metingen in de ruwe data de parametercode U238 hebben gekregen (geldt overigens voor meer jaren). U238 wordt ingelezen in Aquokit maar niet getoetst doordat norm aan 'U' is gekoppeld.
2) Bij de brakke waterlichamen NL12_340 en _620 wordt volgens de toetsingen niet aan de norm voldaan. Uit de meetgegevens blijkt echter dat de jaargemiddelden telkens <0,97 (JG van 0,17 + AC van 0,8 µg/l), maar aan de normwaarde van 0,17 µg/l zijn getoetst. Dit komt wellicht door een foutieve invoer van de parameter saliniteit.
   Noot 1). Bij NL12_620 (803016) zijn de data van 2022 aan een normwaarde van 1,4 µg/l getoetst. Wellicht is in dat jaar de AC-correctie wel juist doorgevoerd. Noot 2). Ook voor NL12_312 (485307) ontbreekt de toetsing van 2021 maar daar voldoet de toestand (conc 0,56 µg/l).

Evaluatie toetsingen vanadium

1) Volgens de eindoordelen zijn er in vijf waterlichamen normoverschrijdingen geconstateerd, namelijk NL12_130, _430, _540, _550 en _610. In de toetsresultaten zijn echter ook nog normoverschrijdingen voor NL12_110 aanwezig. Dit betreft locatie 135701[5] met normoverschrijdingen in 2022 en 2023. Deze normoverschrijdingen zijn echter niet in de eindoordelen terug te vinden. HHNK wordt aanbevolen om deze toetsingen te evalueren.

Evaluatie toetsingen zink

1) In vijf waterlichamen zijn normoverschrijdingen geconstateerd, namelijk NL12_201, _250, _510, _520 en _620. In alle vijf gevallen betreft het uitsluitend een overschrijding van de MAC-MKN.
   Tot nu toe kon er bij de MAC-MKN geen rekening met de biobeschikbaarheid gehouden worden. Hier gaat verandering in komen. Dit borduurt voort op een voorstel, dat in 2015 werd gedaan in het rapport over de chemische toestand van de waterlichamen van Wetterskip Fryslân (Ecofide, 2015) en recent in een studie voor Rijn-west verder is toegepast (Ecofide, 2023a). De kern van deze redenering is de stelling, dat een concentratie waarvan kan worden aangenomen dat deze bij een langdurige blootstelling niet tot chronische effecten zal leiden (in andere woorden: voldoet aan de JG-MKN), logischerwijs ook niet voldoende hoog kan zijn om acute effecten te veroorzaken (in andere woorden: een overschrijding van de MAC-MKN). Ondertussen wordt dit voorstel inhoudelijk door zowel RIVM als de Wetenschappelijke Klankbordgroep Normstelling ondersteund. De verwachting is dan ook dat deze methodiek binnenkort als optionele mogelijkheid voor de toestandsbepaling van zink beschikbaar komt.
   Om vooruitlopend hierop het effect alvast te kunnen beoordelen is deze aanvullende toetsing uitgevoerd door ieder monster met een zink-concentratie groter dan de MAC-MKN nogmaals in Aquokit in te voeren, maar dan met een eigen (dummy) locatie-code. Zo bestaat iedere 'locatie' telkens uit één monster en wordt er niet zozeer naar de MAC-MKN maar vooral naar de JG-MKN gekeken[6]. Hierbij kan ook nog rekening worden gehouden met de acuut – chronische ratio van een factor 2. Dat betekent dat niet alleen de MAC-MKN op biobeschikbaarheid gecorrigeerd kan worden, maar ook dat er pas van een MAC-overschrijding sprake is als de overschrijdingsfactor ten minste 2 bedraagt (zie nadere toelichting in Ecofide, 2023a).

   Op basis van deze aanvullende 2de fase toetsing voldoet de MAC-MKN voor alle vijf waterlichamen. Dit is de rekenkundige uitkomst. De biobeschikbaarheidscorrectie is echter alleen voor zoetwater gevalideerd. Voor waterlichaam NL12_201 (Alkmaardermeer; M20) betekent dit dat de toestand van zink voldoet. Ook waterlichaam NL12_250 is als zoetwater getypeerd (M10), maar de locatie 440020 (waar de normoverschrijding in is vastgesteld) is als brakwater getypeerd (M30; open verbinding met Noordzeekanaal). De maximaal vastgestelde concentraties in de laatste drie meetjaren waren 14, 20 en 26 µg/l, waarbij de normfractie van de laatste twee een factor 2-3,5 onder de grenswaarde lagen, terwijl de zink-concentraties ten hoogste 57% boven de MAC-MKN lagen. Daarmee lijken de ecologische risico's gering, maar kan het oordeel voldoet formeel niet worden toegekend. HHNK wordt daarom aanbevolen (zie ook lood) om na te gaan of de brakwater locatie 440020 niet beter kan komen te vervallen en vervangen worden door bijvoorbeeld 440023, zodat de locatie en het waterlichaam eenzelfde watertype hebben.

   De drie resterende waterlichamen NL12_510, _520 en _620 zijn alle drie als brakwater getypeerd (M30 of M31). Vanuit de aanvullend uitgevoerde 2de-lijnstoetsingen op de MAC-MKN (voldeden allen), lijken de ecologische risico's gering, maar kan het oordeel 'voldoet' formeel niet worden toegekend.
   Voor NL12_510 en _520 zou continuering van de monitoring in 2025 wellicht soelaas bieden, aangezien er in de laatste twee jaar (2022 en 2023) aan de JG- en MAC-MKN werd voldaan (of wellicht al in 2024 al er ook dit jaar is gemonitord). Voor NL12_620 is er ook in 2023 nog een overschrijding van de MAC-MKN vastgesteld.

[5] Ook op locatie 135802 zijn normoverschrijdingen aangetroffen, maar vanwege de zouteffecten bij de Helsdeur heeft deze locatie niet langer invloed op het eindoordeel voor het waterlichaam.
6 Ondanks het feit dat de betreffende concentratie in feite een MAC betreft wordt er bij de beoordeling niet naar de MAC-MKN maar juist naar de uitkomsten voor de JG-MKN gekeken. Bij de JG-MKN toetsing geeft Aquokit tenslotte antwoord op de vraag of er risico's zijn als de betreffende zink-concentratie langdurig aanwezig zou zijn geweest.

3 Ruimtelijke variatie

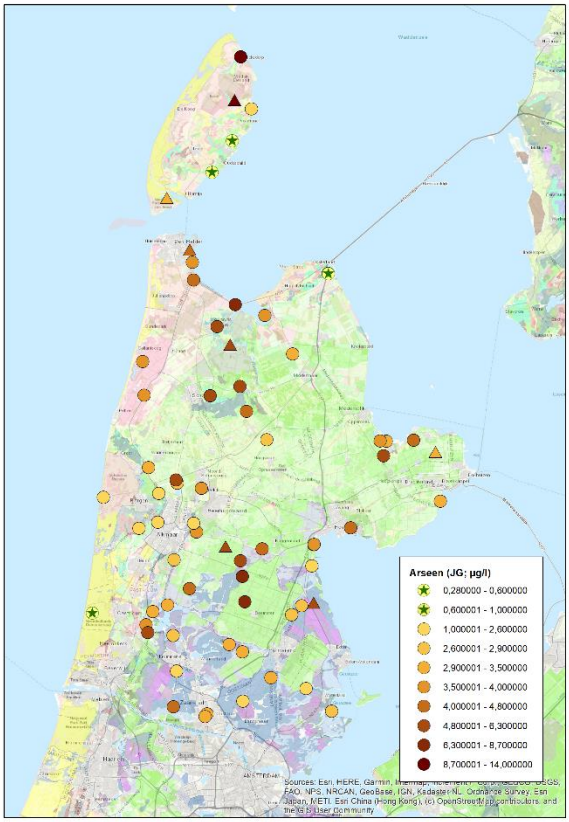
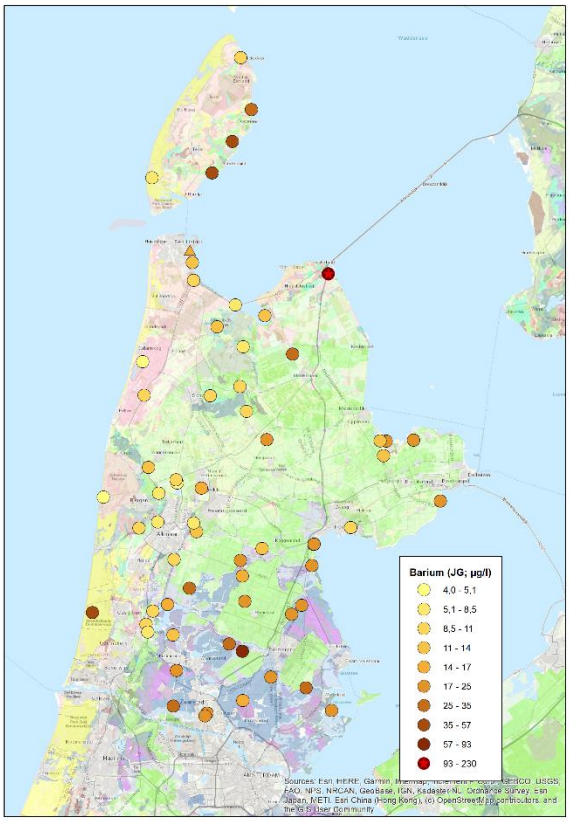
Als eenmaal is vastgesteld waar welke metalen nog niet aan de normen voldoen, is de logische vervolgvraag wat er aan kan worden gedaan. Bij de hiervoor benodigde kennis zal het meestal om een samenspel van informatiebronnen gaan. Eén daarvan is inzicht in de ruimtelijke variatie. Ruimtelijke variatie kan bijvoorbeeld inzicht geven in mogelijke relaties met de hoogteligging of bodemsoort. Daarnaast werkt inzicht in ruimtelijke variatie ondersteunend bij het interpreteren van mogelijke correlaties tussen metalen onderling en/of andere meer basale waterkwaliteitsparameters zoals chloride of calcium. Daarnaast worden er in de voorstellen vanuit het landelijke project naar regionale achtergrondconcentraties ook bínnen Noord-Holland nog verschillende ruimtelijke regio's onderscheiden.

Ruimtelijk beeld

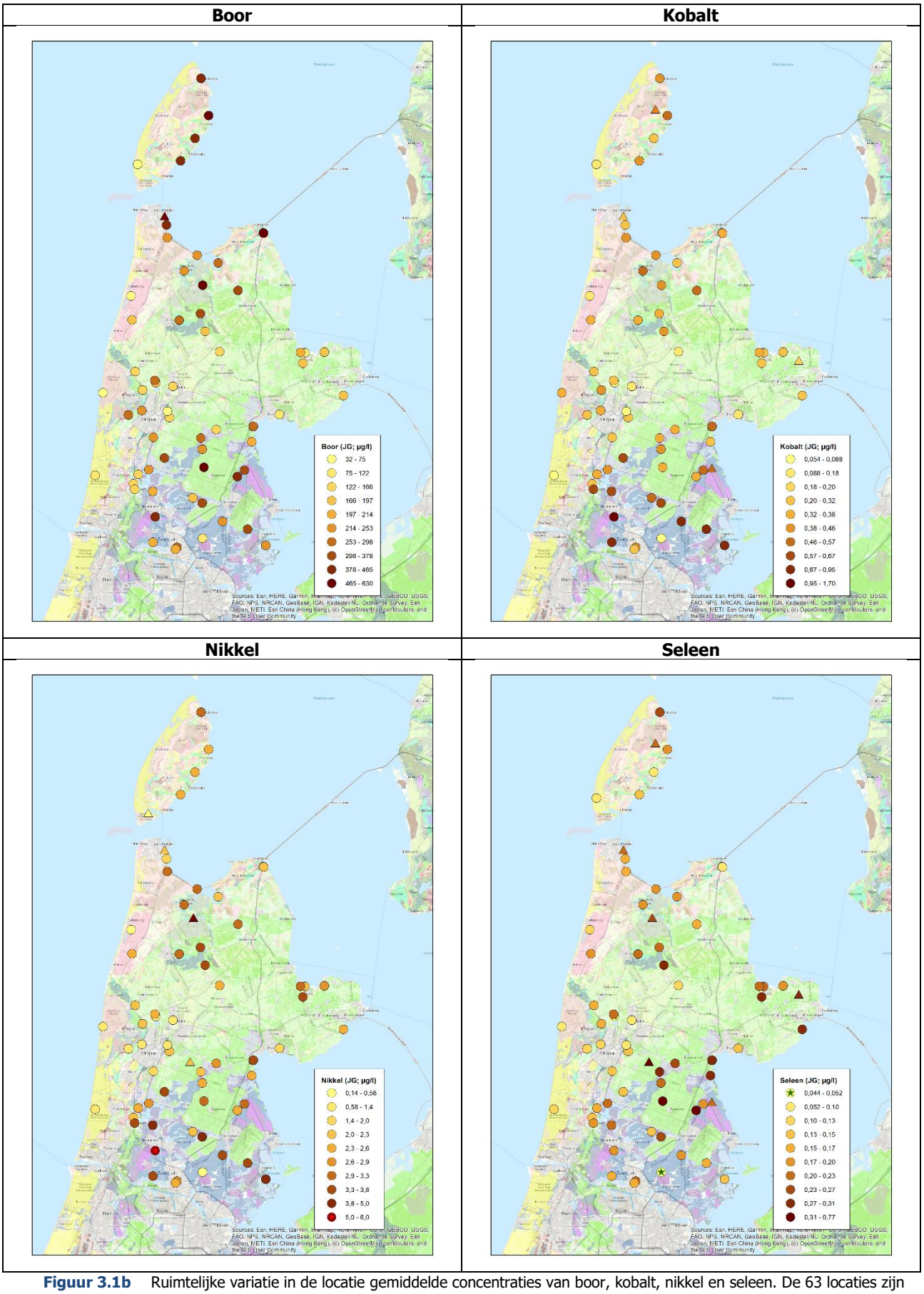
In figuur 3.1 is het ruimtelijke beeld van de 10 normoverschrijdende metalen[7] gegeven (dezelfde figuren zijn in bijlage 1 opgenomen op A4-formaat). Voor arseen, barium, boor, seleen, uranium, vanadium en zilver illustreren deze kaarten dat hoge(re) concentraties opvallend vaak in de regio Den Helder/Wieringermeer/Texel (bijv. barium) of juist in het zeekleigebied worden aangetroffen. Voor kobalt en (in mindere mate) nikkel worden hoge(re) concentraties juist meer in de veengebieden rondom Amsterdam aangetroffen. De oorzaken van dergelijke ruimtelijke verschillen kunnen per metaal verschillen. In §3.1-3.3 wordt dan ook in meer detail ingegaan op de situatie in de regio Den Helder/Wieringermeer/Texel (§3.1), het zeekleigebied (§3.2) en enkele resterende metalen (§3.3).

Om meer onderscheid in het ruimtelijke beeld te krijgen zijn de metaal concentraties in figuur 3.1 telkens opgedeeld in 10 categorieën met oplopende concentraties en niet op basis van al dan niet normoverschrijdend. Wel is de JG-MKN (+AC) telkens als één van de grenswaarden tussen twee categorieën gehanteerd.

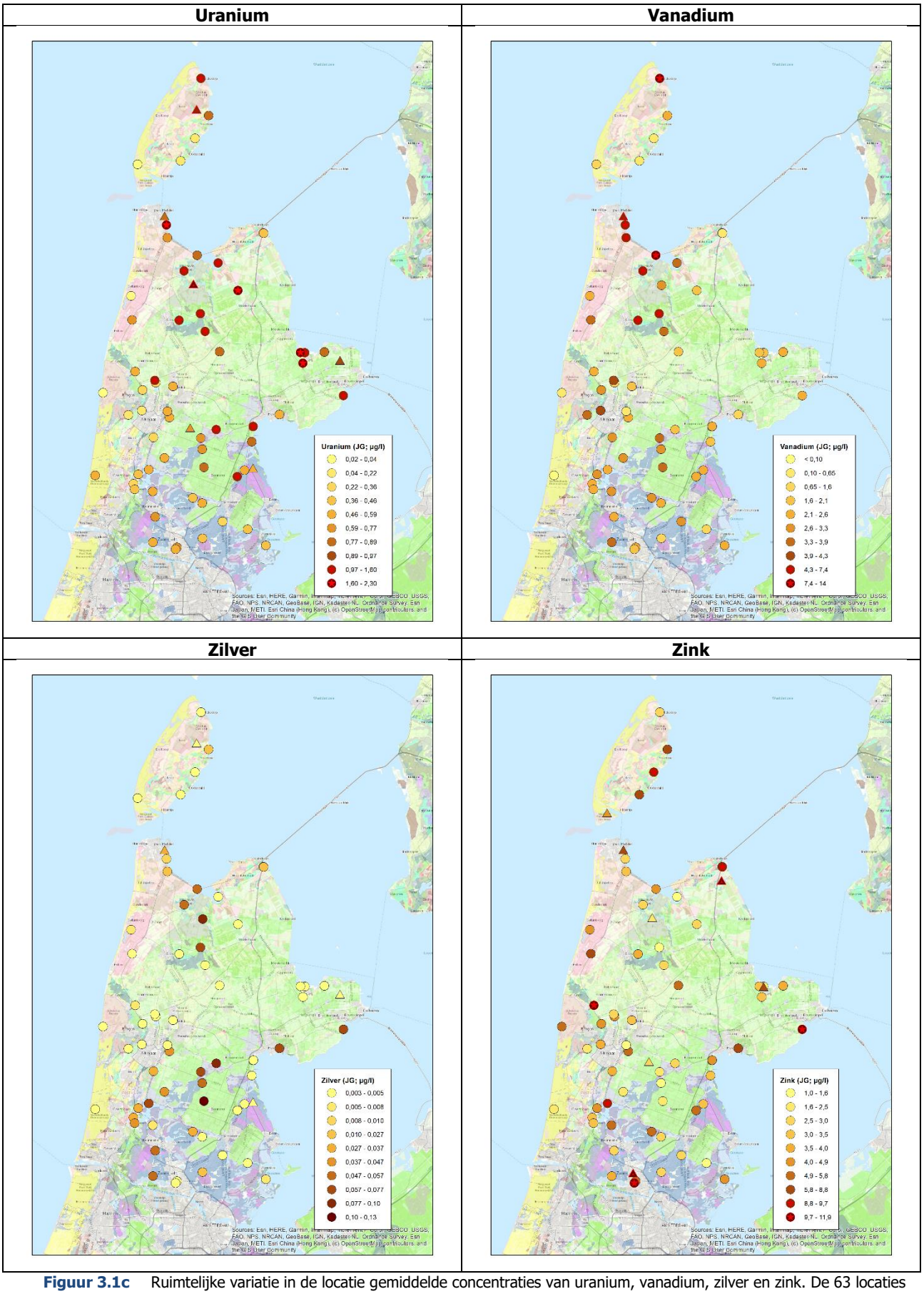
[7] De 12 uit tabel 2.2 minus tin (niet toetsbaar) en lood (niet langer normoverschrijdend; §2.3)

Arseen	Barium
	

Figuur 3.1a Ruimtelijke variatie in de locatie gemiddelde concentraties van arseen en barium.
De 63 locaties zijn weergegeven als cirkels. Eventueel aanwezige gegevens van andere locaties zijn opgenomen als driehoeken. Ondergrond is de BOFEK2020. Groene kleuren hebben codes in de 4000 serie (kleigronden); de paars/blauwe in de 1000 serie (veengronden). Met sterretjes in de cirkel is voor sommige metalen ook het oordeel over de huidige toestand aangeduid. Bij metalen met weinig normoverschrijdingen duiden de rode sterren op locaties met een normoverschrijding. Voor een metaal met veel normoverschrijdingen duiden de groene sterren op locaties waar aan de normen wordt voldaan.



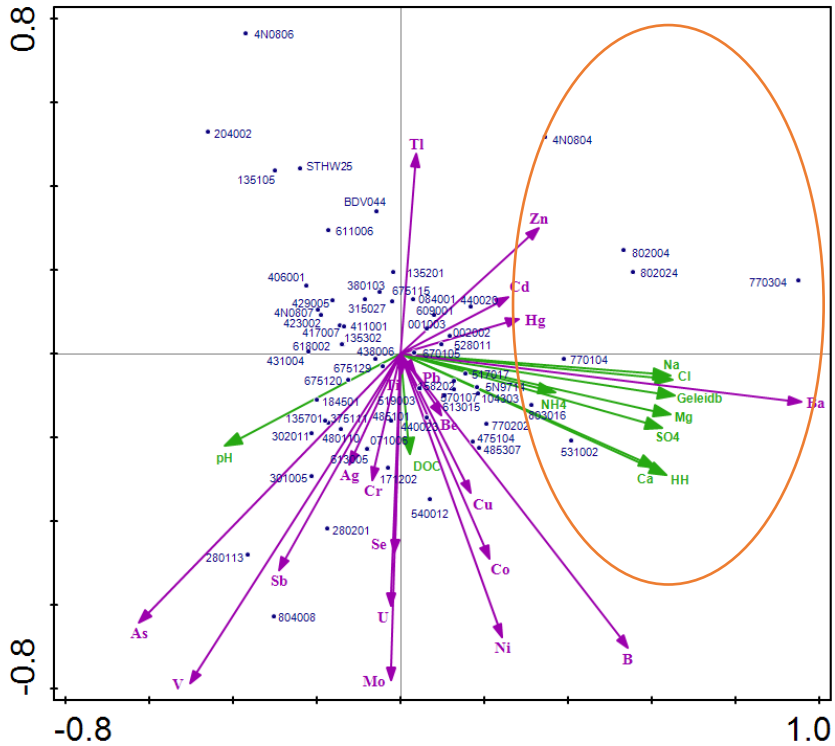
Figuur 3.1b Ruimtelijke variatie in de locatie gemiddelde concentraties van boor, kobalt, nikkel en seleen. De 63 locaties zijn weergegeven als cirkels. Eventueel aanwezige gegevens van andere locaties zijn opgenomen als driehoeken.



Figuur 3.1c Ruimtelijke variatie in de locatie gemiddelde concentraties van uranium, vanadium, zilver en zink. De 63 locaties zijn weergegeven als cirkels. Eventueel aanwezige gegevens van andere locaties zijn opgenomen als driehoeken.

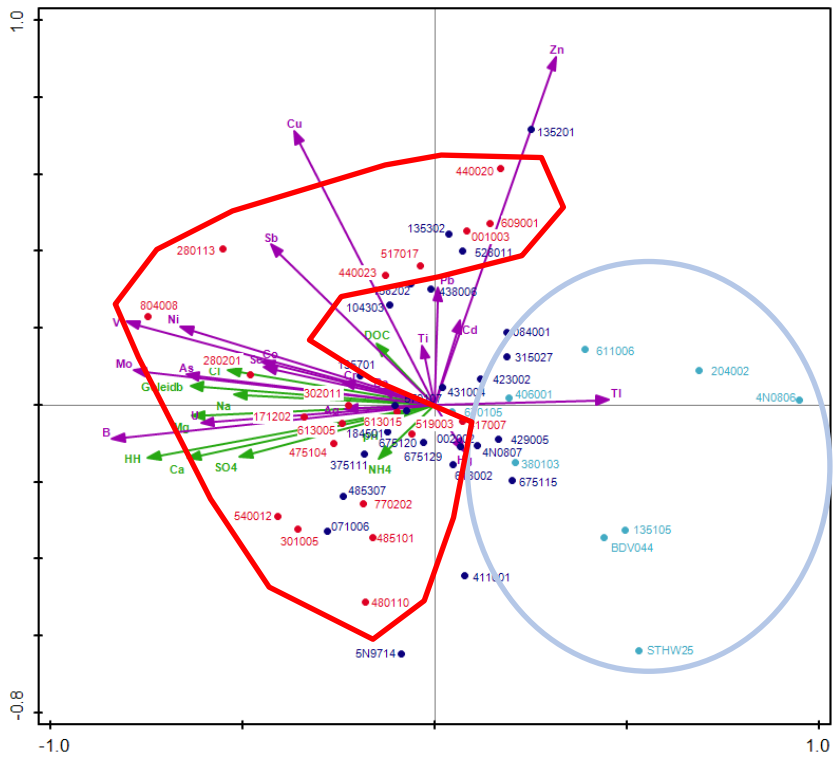
Om deze ruimtelijke variatie beter te kunnen duiden is een multivariate analyse uitgevoerd. Hiermee zijn de locaties en metalen onderling geordend en is ook gekeken naar de vraag in welke mate de aanwezige variatie door de meer basale waterkwaliteitsparameters kan worden verklaard (Figuur 3.2). Doordat niet ieder metaal en parameter in ieder monster is geanalyseerd (§2.1) is deze multivariate analyse uitgevoerd op basis van de 63 locatie gemiddelde waarden. De aanwezige seizoensvariatie (zie figuur 3.12 in §3.2) is daarmee buiten beschouwing gebleven.

Bij de interpretatie van dergelijke multivariate analyses wordt primair gekeken naar de parameters met de langste pijlen, waarbij de lengte van de pijlen op de x-as meer variatie verklaren dan de lengte van pijlen op basis van de y-as. Als eerste valt in figuur 3.2 op, dat de situatie voor barium sterk afwijkt van die van de andere metalen (paarse pijlen). Dit wordt ondersteund doordat de meeste verklarende factoren (groene pijlen) in dezelfde richting als barium wijzen. Verder valt op dat een beperkt aantal locaties relatief ver aan de rechterkant van de figuur zijn gepositioneerd en daarmee waarschijnlijk sterk bijdragen aan dit afwijkende beeld voor barium. Dit is vooral de locatie 770304 en in mindere mate 802004, 802024, 803016, 770104, 531002 en 4N0804 (liggen binnen de oranje elips).

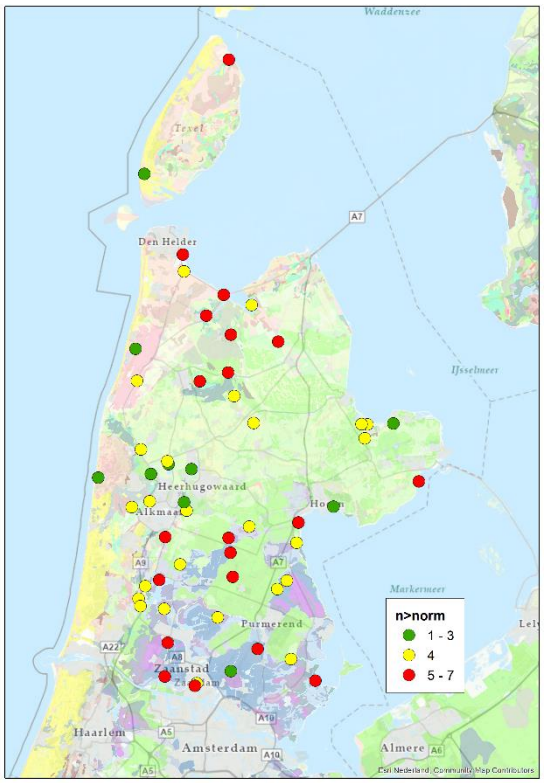


Figuur 3.2 Multivariateanalyse waarmee verbanden tussen locaties, metaal concentraties en verklarende factoren inzichtelijker worden. De oranje ellips illustreert de ligging van zeven locaties met verhoogde barium concentraties (zie tekst).

Door deze hoge barium concentraties op een beperkt aantal locaties wordt het onderscheidend vermogen voor de andere metalen beperkt. Daarom is de situatie rondom barium nader geduid (§3.1), waarna een nieuwe multivariate analyse is uitgevoerd zonder deze zeven opvallend afwijkende locaties. Deze tweede multivariate analyse (Figuur 3.3) geeft wederom een beeld, waarbij veel pijlen dezelfde kant op wijzen. Dit geldt voor zowel meerdere metalen (paarse pijlen naar links voor Ni, Co, Se, As, U, B) als meerdere verklarende factoren (groene pijlen voor bijv. Ca, Cl, hardheid en SO_4). Als vervolgens naar de ligging van de locaties wordt gekeken dan valt op dat de negen locaties in waterlichamen met maximaal 3 normoverschrijdende metalen allemaal aan de rechterkant van de figuur liggen (licht blauw gemarkeerd in figuur 3.3), terwijl de locaties in waterlichamen met 5 of 6 normoverschrijdende metalen vooral aan de buitenranden van het linkerdeel zijn gelegen (rood gemarkeerd). Gelet op het feit dat veel van de pijlen voor zowel metalen als verklarende factoren dezelfde kant op wijzen, kan verwacht worden dat er onderling ook allerlei correlaties zullen bestaan. Als vervolgens naar de geografische ligging van deze locaties wordt gekeken (Figuur 3.4) dan valt op dat een groot deel van de locaties met 5 of 6 normoverschrijdende metalen in het (zee)klei gebied van de provincie liggen. Ook de situatie in het zeekleigebied is daarom nader geduid (§3.2).



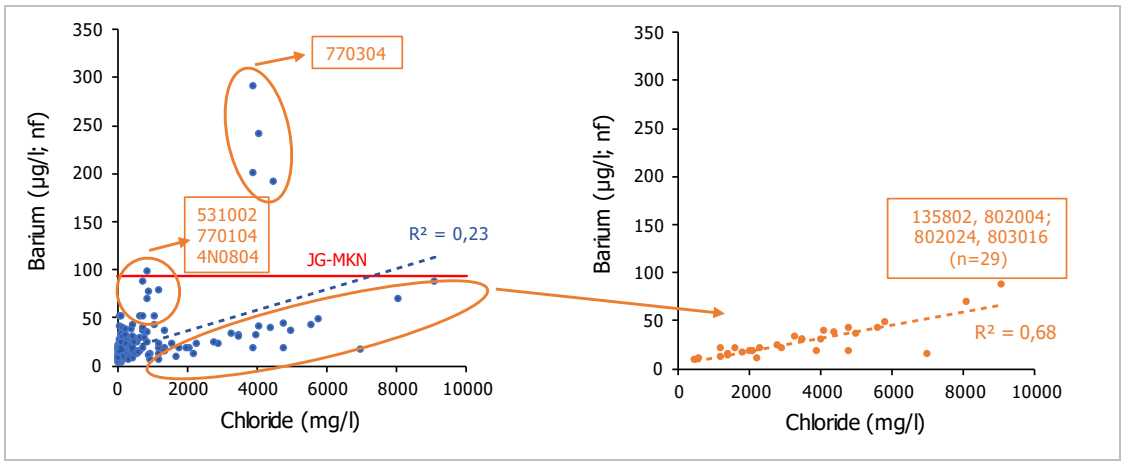
Figuur 3.3 Multivariateanalyse waarmee verbanden tussen locaties, metaal concentraties en verklarende factoren inzichtelijker worden. De rode lijn (en rode locatie codes) illustreert de ligging van locaties uit waterlichamen met ≥5 normoverschrijdende metalen. De licht blauwe lijn (en licht blauwe locatie codes) illustreert de ligging van locaties uit waterlichamen met ≤3 normoverschrijdende metalen.



Figuur 3.4
Ligging van locaties in waterlichamen met weinig (≤3), gemiddeld (4) of veel (≥5) normoverschrijdende metalen. Ondergrond is de BOFEK2020. Groene kleuren hebben codes in de 4000 serie (kleigronden); de paars/blauwe in de 1000 serie (veengronden).

3.1 Nadere toelichting voor barium

Normoverschrijdingen van barium zijn alleen vastgesteld bij meetpunt 770304 in waterlichaam NL12_520 (waterdelen Wieringermeer-Oost). Verder laat figuur 3.1a zien dat er ook op enkele andere locaties sprake is van verhoogde (maar niet normoverschrijdende) barium concentraties. Deze zijn te vinden langs de oostrand van Texel, in de Wieringermeerpolder (770304) en op enkele locaties in de zuidelijke helft van N-Holland. Uit figuur 3.2 blijkt vervolgens, dat verschillende verklarende parameters verband met deze barium concentraties houden. Een nadere beoordeling geeft aan dat vooral de chloride concentraties een belangrijke invloed hebben. Daarom zijn de relaties tussen chloride en barium in figuur 3.5 nader geïllustreerd.



Figuur 3.5 Relatie tussen de chloride (x-as) en barium concentraties (y-as) in individuele monsters.

Figuur 3.5 illustreert vooral, dat de verbanden tussen barium en chloride sterk tussen de locaties kunnen verschillen. Deze constatering, dat voor barium N-Holland niet als een homogeen gebied kan worden beschouwd, betekent waarschijnlijk ook dat er wezenlijke verschillen in de oorzaken en/of emissieroutes bestaan. Vanuit deze figuur zijn de 63 locaties in vier groepen op te delen:

1) <u>Locatie 770304</u>
   Met een gemiddelde barium concentratie van 230 µg/l zijn de concentraties op locatie 770304 ruim hoger dan bij alle andere locaties. Dit betekent dat in het oostelijk deel van de Wieringermeer de herkomst en/of omvang van de barium emissies een sterk afwijkend karakter heeft.
2) <u>Locaties 135802, 802004, 802024 en 803016</u>
   Deze vier locaties liggen allen in het noordelijke deel van de provincie, namelijk langs de oostrand van Texel (802004, 802024, 803016) en bij Den Helder (135802)[8]. Met een globale range van 1000 tot meer dan 6000 mg/l zijn de chloride concentraties ruim hoger dan bij de andere locaties (excl. 770304) en correleren ze zeer goed met de barium concentraties (R^2 0,68; Figuur 3.5).
3) <u>Locaties 531002, 770104 en 4N0804</u>
   Deze locaties liggen verspreid over de provincie en wel nabij Purmerend (531002), Wieringermeer (770104) en in een infiltratieplas bij Castricum (4N0804). Ten opzichte van de andere locaties hebben deze een vergelijkbare chloride concentratie, maar zijn de barium concentraties wel duidelijk hoger (maar niet normoverschrijdend).
4) <u>Alle andere locaties</u>
   In circa 85% van de monsters van deze locaties ligt de barium concentratie <25 µg/l en de chloride concentratie <300 mg/l.

De vervolgvraag is in hoeverre de oorzaken van deze regionaal verschillende patronen geduid kunnen worden. Allereerst blijkt dat de relatie tussen barium en chloride niet uniek is voor HHNK. Zo zijn dergelijke positieve correlaties met het zoutgehalte ook aangetroffen bij Waterschap Zuiderzeeland en Hollandse Delta (Ecofide, 2024 b,c). Ook bij deze twee studies viel op, dat deze correlaties met chloride niet overal en ook niet in gelijke mate optraden. Zo ging het bij Waterschap Zuiderzeeland over een chloride range oplopend tot 1500 mg/l, waarbij de barium concentraties tot waarden van 200-300 µg/l konden toenemen. *Ter vergelijk*: bij deze range aan chloride concentraties liggen de barium concentraties bij HHNK telkens onder de 100 µg/l. Ook bij Waterschap Hollandse

[8] 135701 heeft 135802 als TT punt vervangen (vanaf 2022) vanwege de zoute invloeden op 135802.

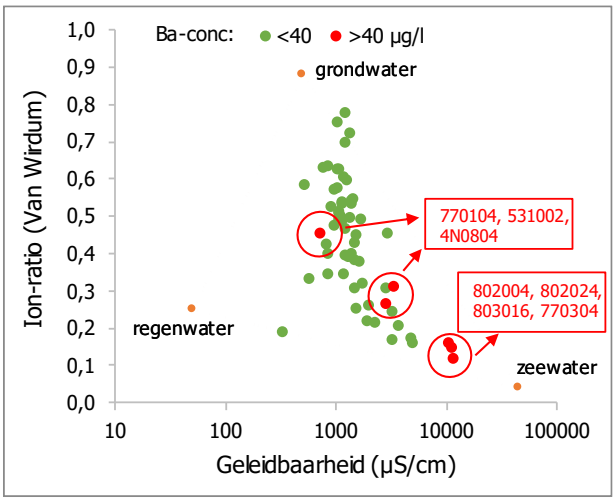
Delta betrof het een correlatie met chloride concentraties tot aan 1500 mg/l, met barium concentraties die tot zo'n 140 µg/l konden oplopen. Ook verschillende aan zout gecorreleerde parameters, zoals boor, calcium, magnesium en natrium, lieten bij waterschap Hollandse Delta positieve verbanden met de barium concentraties zien (identiek met HHNK, zie figuur 3.2). Dit gold ook voor mangaan, dat meestal als indicator voor een invloed van grondwater wordt gezien. Helaas zijn in de monitoring van HHNK geen mangaan concentraties opgenomen. Ten slotte is er nog een data-analyse voor Waterschap Drents Overijsselse Delta beschikbaar (Ecofide, 2024b), waarbij niet zozeer de chloride maar juist de hardheid een duidelijke correlatie met de barium concentraties liet zien en werd er bij de studie voor Waterschap Hollandse Delta een zwak positieve correlatie aangetroffen met de hoeveelheid regen, die over een periode van 2,5 maand voorafgaand aan de monstername was gevallen (en niet of minder bij kortere perioden).

Verder heeft RHDHV (2020) in een studie naar de achtergrondconcentraties van metalen bij Waterschap Zuiderzeeland gekeken naar het gedrag van barium in de ondergrond. Zij beschrijven, dat het geochemisch gedrag van barium in grond en grondwater grotendeels wordt bepaald door de aanwezigheid van sulfaat en constateren dat '*onder sulfaatreducerende omstandigheden, wanneer het sulfaat wordt gereduceerd naar sulfide, Ba^{2+} mobiel is. Dit verklaart waarom in het diepere grondwater in Flevoland sterk verhoogde concentraties barium worden gemeten. Dit verband is goed te zien in de grondwatertypering. Bijna alle plekken met hoge bariumconcentraties hebben een zwavel-gereduceerde grondwatertypering. Dit verband is ook te zien uit de resultaten van de clustering in watertypes. Watertypes 2 (zout/brak) en watertype 5 (brak mineralisatie) hebben relatief lage sulfaatgehaltes en hoge bariumconcentraties*'. Ook lijkt er een verband met zoet-zout verschillen. De auteurs beschrijven bijvoorbeeld '*Er lijkt daarnaast een verband tussen de zoet-zout verdeling en het voorkomen van barium in verhoogde concentraties. In de regio's waar het ondiepe grondwater zout is, komen ook de verhoogde bariumconcentraties voor, terwijl de bariumconcentraties in het grondwater over het algemeen lager zijn waar het ondiepe grondwater zoet is. Dit hangt ook samen met de achtergrondconcentratie van barium in het grondwater, waar brak water een hogere achtergrondconcentratie heeft dan zoet water*'. Vanuit deze verbanden concluderen de auteurs dat verhoogde bariumconcentraties in het oppervlaktewater voor een belangrijk deel zijn veroorzaakt door de bijdrage van grondwater via kwel.

Deze studie bij Waterschap Zuiderzeeland geeft wellicht ook een verklaring voor de normoverschrijdingen van barium in de Wieringermeer (locatie 770304), aangezien de oorsprong van de polders (ingepolderde Zuiderzee) vergelijkbaar is. Wel valt op dat er een groot verschil is in zowel de barium als chloride concentraties tussen de twee meetpunten bij gemaal Leemans (locaties 770104 en 770304; zie figuur 3.5). Locatie 770304 ligt in het oostelijke aanvoerkanaal en heeft een veel hoger zoutgehalte dan locatie 770104, die in het westelijke aanvoerkanaal ligt. Dit duidt op een verschillende invloed vanuit (zouter) grondwater en zou daarmee overeenkomen met de conclusies uit het onderzoek voor waterschap Zuiderzeeland. Het plan van HHNK om in de toekomst het zoete en zoute(re) oppervlaktewater binnen deze polder nog beter te gaan scheiden (Schutte, 2023), zal waarschijnlijk tot lagere barium concentraties op locatie 770104 leiden. Als meer inzicht (bijv. voor een lokale analyse op locatie 770304) wenselijk is, kan HHNK overwegen om in het achterliggende gebied van beide waterlichamen enkele grondwater monsters (enkele locaties en enkele dieptes) op barium te laten analyseren. Variatie in de herkomst en samenstelling van de verschillende grondwaterlagen in N-Holland vormen wellicht ook een verklaring voor de constatering, dat verbanden tussen barium en verklarende parameters tussen de locaties kan verschillen. Ook een aanvullende analyse van (minimaal) de chloride, calcium en barium concentraties in het oppervlaktewater in kwelgebieden, die water toeleveren aan het oostelijk dan wel westelijk aanvoerkanaal kan nuttig inzicht opleveren.

Ten slotte is gekeken naar het zogenaamde Van Wirdum diagram (STOWA, 2017). Op basis van de geleidbaarheid en de zogenaamde ion-ratio krijgen locaties een plaats in dit diagram (Figuur 3.6). Locaties in de linkeronderhoek zijn vooral beïnvloed door regenwater, rechtsonder door zeewater en boven door grondwater. De ion-ratio wordt berekend als de calcium conc gedeeld door de Ca + Cl conc. Beide concentraties worden uitgedrukt in mmol en omdat het om ionen gaat worden de calcium conc (Ca^{2+}) met twee vermenigvuldigd. Dit figuur illustreert dat zowel de drie locaties, die goed met chloride correleren (802004, 802024 en 803016; figuur 3.5) als de afwijkende, normoverschrijdende locatie 770304 een duidelijke invloed van zeewater hebben, hetgeen overeenkomt met de analyse van RHDHV (2020) bij waterschap Zuiderzeeland. Overigens hoeft deze invloed niet per se betrekking te hebben op de directe bovengrondse instroom van zeewater maar kan het evengoed om oudere, zoute grondwaterlagen en kwelsituaties gaan. De drie andere in figuur 3.5 (en 3.6) gemarkeerde locaties hebben een zoeter karakter en ontvangen hun licht verhoogde barium concentraties waarschijnlijk ook vanuit het grondwater.

Ook hier kan het overigens nog steeds om brak kwelwater gaan, zolang de kweldruk en verdunning maar zodanig is dat lage chloride concentraties hieruit resulteren.



Figuur 3.6
Ligging van de 63 locaties in het Van Wirdum diagram, waarbij de rode cirkels de locaties met een barium concentratie >40 µg/l betreffen.

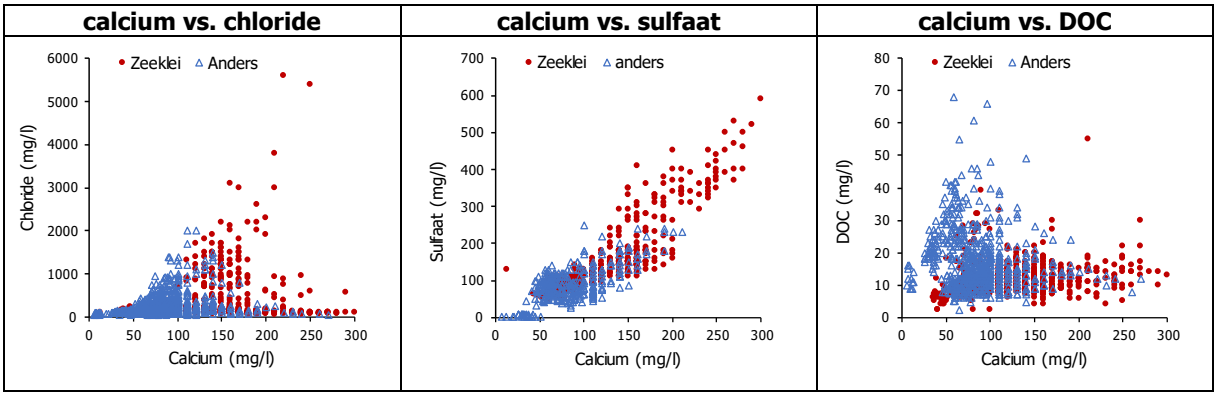
3.2 Nadere toelichting voor metalen in zeekleigebieden

In het landelijke project naar regionale variaties in de achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024 in prep.) is voor meerdere metalen geïllustreerd, dat de situatie in (sommige) zeekleigebieden in negatieve zin opvalt. In wisselende mate betreft dit metalen als arseen, boor, seleen, uranium en vanadium.
Door de vroegere aanwezigheid van zoutwater zijn metalen als arseen, seleen, uranium en vanadium (alsmede in enigerlei mate kobalt, nikkel en zink) in de loop van de tijd opgeslagen in de anaerobe ondergrond (vaak in ijzersulfide verbindingen als pyriet[9]). Bij veranderende omstandigheden kunnen ze daar ook weer uit vrijkomen. Dit treedt bijvoorbeeld op wanneer zuurstof door het uitgevoerde peilbeheer dieper in de bodem kan doordringen (leidend tot oxidatie van pyriet). Daarnaast kunnen aan zeeklei geadsorbeerde metalen worden gemobiliseerd via competitieve uitwisseling met van nature aanwezig bicarbonaat en mogelijk fosfaat. Voor arseen zou dit weleens een belangrijkere route kunnen zijn dan pyrietoxidatie. Ten slotte kan ook de aanwezigheid van zoute kwel in zeekleigebieden tot verhoogde concentraties van bijvoorbeeld boor, uranium en (in enigerlei mate) seleen leiden. Vanuit deze afwijkende situatie in zeekleigebieden zijn er in het landelijke project naar de achtergrondconcentraties van metalen ook (soms zeeklei) specifieke achtergrondconcentraties vastgesteld. Dit geldt voor arseen, uranium en vanadium. Daarnaast is er tussen de genoemde metalen een verschil in de gevoeligheid voor redox-processen. Dit maakt dat de relaties tussen de concentraties in grond, grondwater en oppervlaktewater ook onderling kunnen verschillen. Zo is de oplosbaarheid van geoxideerd uranium zeer hoog, maar geldt het tegenovergestelde voor arseen. De seizoenspatronen zijn daarom vaak tegengesteld (zie ook figuur 3.12).

Voor HHNK liet figuur 3.4 al zien, dat veel waterlichamen met normoverschrijdingen voor 5 of meer metalen in het zeekleigebied liggen. Dit kan komen door een wezenlijk ander karakter van deze gebieden (zie hierboven), maar ook doordat het eenvoudigweg om een groot deel van het oppervlak gaat. Om hier meer inzicht in te krijgen is de data-analyse verfijnd door alle locaties in twee categorieën in te delen, namelijk 'ligt in zeeklei gebied' of 'anders'. Deze indeling is in GIS uitgevoerd met de BOFEK bodemfysische eenhedenkaart als ondergrond, waarbij voor iedere locatie is gekeken naar de ligging alsmede naar de ligging van het waterlichaam waar de locatie onderdeel van uitmaakt. Als de locatie zelf én het waterlichaam als geheel in het zeekleigebied ligt is de indeling eenvoudig. Ditzelfde geldt voor locaties in bijvoorbeeld de duinen. Er zijn echter ook allerlei tussenvarianten mogelijk, waarbij bijvoorbeeld de locatie in een zeekleigebied ligt, maar het waterlichaam ook deels door gebieden met meer venige bodems loopt. Met meer hydrologische kennis zal zo'n indeling waarschijnlijk verfijnd kunnen worden, maar situaties met een gemengde invloed vanuit meerdere bodemtypen zullen blijven bestaan. Bij de data-analyse is de groep 'locaties in zeeklei gebied' daarom beperkt tot locaties waar die indeling een grote zekerheid kent. Dit betekent *vice versa* dat de groep 'anders' ook locaties zal bevatten met een variërende invloed vanuit het zeekleigebied.

[9] Dit geldt niet voor boor.

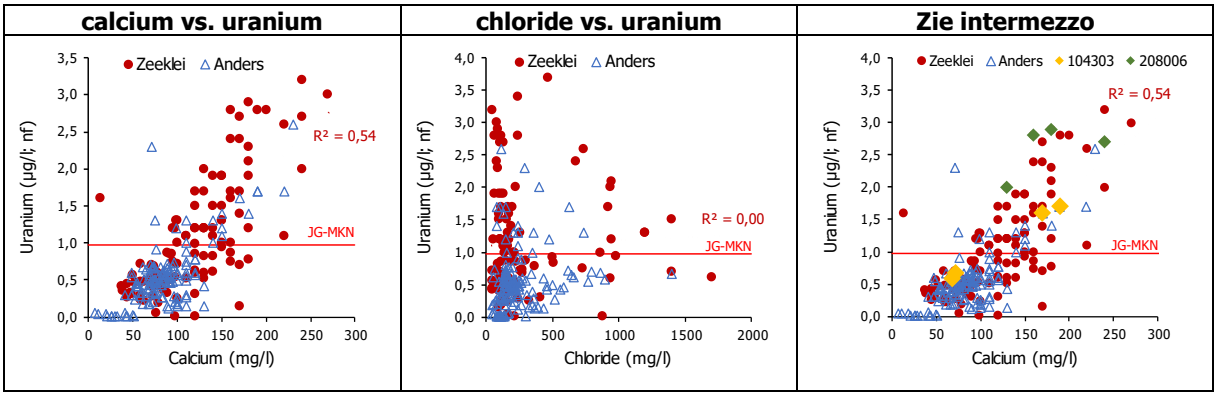
Allereerst is gekeken naar de vraag of de concentraties van enkele meer basale waterkwaliteitsparameters verschillen tussen het zeekleigebied en locaties met een andere ligging (Figuur 3.7). Hieruit blijkt dat locaties met een (naar verhouding) hoge calcium of chloride concentratie voor het merendeel in het zeekleigebied liggen. Locaties met een hoge chloride concentratie zijn overigens (deels) andere locaties dan die met een hoge calcium concentratie. Dat betekent dat er ook binnen het zeekleigebied ruimtelijke variatie bestaat, die wellicht ook in de concentraties van normoverschrijdende metalen is terug te zien. Ook bij andere waterkwaliteitsparameters valt op dat het zeekleigebied duidelijk verschilt met de rest van het beheergebied. Zo zijn de sulfaat concentraties aanmerkelijk hoger en de gemiddelde DOC-concentraties juist lager. Dat laatste komt waarschijnlijk doordat de DOC-concentraties in de veengebieden veelal hoger zijn.



Figuur 3.7 Variaties in de concentraties van meer basale waterkwaliteitsparameters tussen locaties in het zeekleigebied en locaties met een andere ligging.

Uranium

Als vervolgens ook naar de normoverschrijdende metalen wordt gekeken dan blijkt dat onderlinge correlaties ook inzicht in oorzaken en herkomst kunnen geven. Voor uranium zijn er bijvoorbeeld twee bronnen. De eerste is de directe binnenkomst van zeewater (bijv. via sluizen of ondiepe, zoute kwel), aangezien de uranium concentraties in zeewater hoger zijn dan in zoetwater[10]. Zoals hierboven aangegeven kan uranium in de loop van de tijd ook zijn opgeslagen in de anaerobe ondergrond en daar weer uit vrijkomen. Uit figuur 3.8 blijkt dat deze tweede route voor HHNK de belangrijkste is[11]. De uranium concentraties in het zeekleigebied vertonen namelijk een goede correlatie met de calcium concentraties, terwijl er geen correlatie met de chloride concentraties bestaat.



Figuur 3.8 Correlaties tussen de concentraties van calcium en chloride met die van uranium met een onderscheid tussen locaties in het zeekleigebied en andere locaties.

[10] Natuurlijke achtergrond concentraties zijn 2,7 en 0,8 µg/l respectievelijk.
[11] Op specifieke locaties bij bijvoorbeeld sluizen kan de directe binnenkomst van zeewater belangrijk(er) zijn.

Intermezzo uranium

Van de 13 normoverschrijdende waterlichamen liggen de meeste in de bij het landelijk project gespecificeerde regio (o.a omgeving West-Friesland, Wieringermeer en Texel; de uitzondering is NL12_120). Voor dit gebied geldt een regionaal verhoogde achtergrondconcentratie van 2,4 µg/l als P_{90}-waarde, waardoor er aan een waarde van 2,57 µg/l getoetst mag worden ($JG+AC_{kust}$ = 0,17+2,4). Vrijwel alle normoverschrijdende locaties voldoen aan deze aangepaste toetsing, waarmee deze waterlichamen aan de goede toestand voldoen. Er zijn twee uitzonderingen:

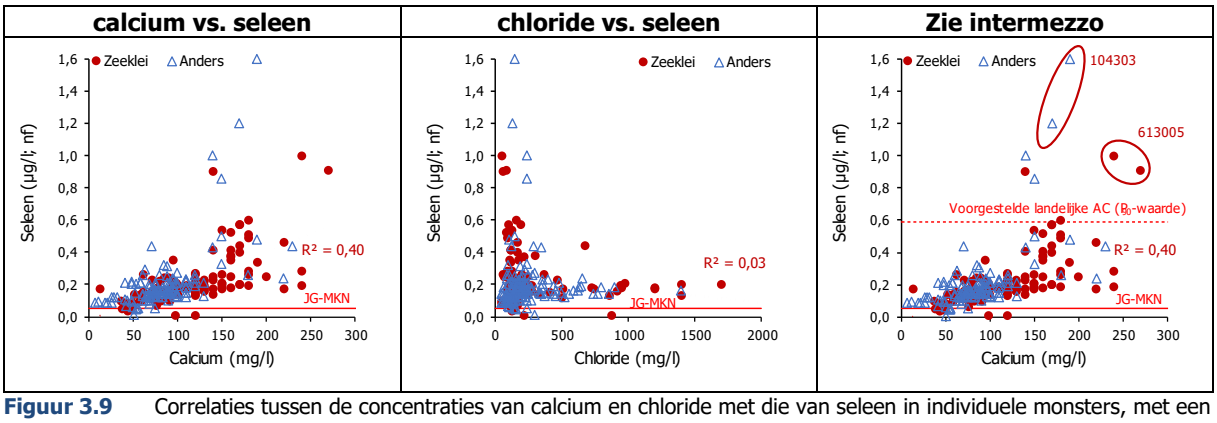
* locatie 104303 (NL12_120) is een grensgeval en lijkt net buiten het zeekleigebied te liggen. Waterlichaam NL12_120 is echter een groot waterlichaam, waardoor er wellicht toch invloed vanuit het zeekleigebied bestaat. De concentraties liggen (ruim) onder de 2,57 µg/l en het gemiddelde van de drie locaties in dit waterlichaam NL12_120 (naast 104303 ook 158202 en 002002) voldoet aan de standaard JG+AC van 0,97 µg/l, waarmee het waterlichaam aan de goede toestand voldoet.
* locatie 208006 (NL12_530). In 2021 was de gemiddelde uranium concentratie 2,6 µg/l, waarmee die net boven de toetswaarde van 2,57 µg/l zou liggen (tenzij de waarde van de AC toch nog iets veranderd in de definitieve versie van het rapport). Deze locatie ligt in het zeekleigebied.

In het rechterdeelfiguur van figuur 2.8 zijn de individuele monsters van beide locaties gemarkeerd. De monsters van 104303 liggen exact op de regressielijn tussen calcium en uranium. Dit is een aanvullend argument om te veronderstellen dat deze grensgeval locatie toch onderdeel van het aangeduide gebied uitmaakt.

De monsters van 208006 liggen er iets boven, maar binnen de aanwezige band aan variatie. Daarnaast is dit een brakwater (M30) waardoor de iets hogere uranium concentraties wellicht ook door een directe zoutinvloed zijn beïnvloed. Het verschil tussen de concentratie van 2,6 en de toetswaarde van 2,57 µg/l is echter zo gering, dat er niet van een overschrijding kan worden gesproken.

Seleen

Net zoals voor uranium geldt ook voor seleen dat de concentraties (enigszins) door zoutwater beïnvloed kunnen zijn, aangezien de achtergrondconcentratie van seleen in zeewater met 0,059 µg/l iets hoger is dan de 0,04 µg/l in zoetwater. Een andere overeenkomst is dat beide elementen bij de vorming van pyriet kunnen worden ingevangen (Diener *et al.*, 2012; Qafoku *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 2007). Dat betekent dat ook beide elementen kunnen vrijkomen als pyriet in de bovengrond door bijvoorbeeld peilverlaging oxideert. Voor seleen geldt daarbij wel de verbijzondering, dat waar andere metalen precipiteren met sulfide, seleen in de bodem juist kan voorkomen als vervanger van sulfiden (Geochem, 2003). Uit figuur 3.9 blijkt vervolgens dat ook de herkomst van seleen beter aan bodemprocessen (goede correlatie met calcium) is te koppelen dan aan de invloed van zeewater (geen correlatie met chloride).



Figuur 3.9 Correlaties tussen de concentraties van calcium en chloride met die van seleen in individuele monsters, met een onderscheid tussen locaties in het zeekleigebied en andere locaties.

Intermezzo seleen

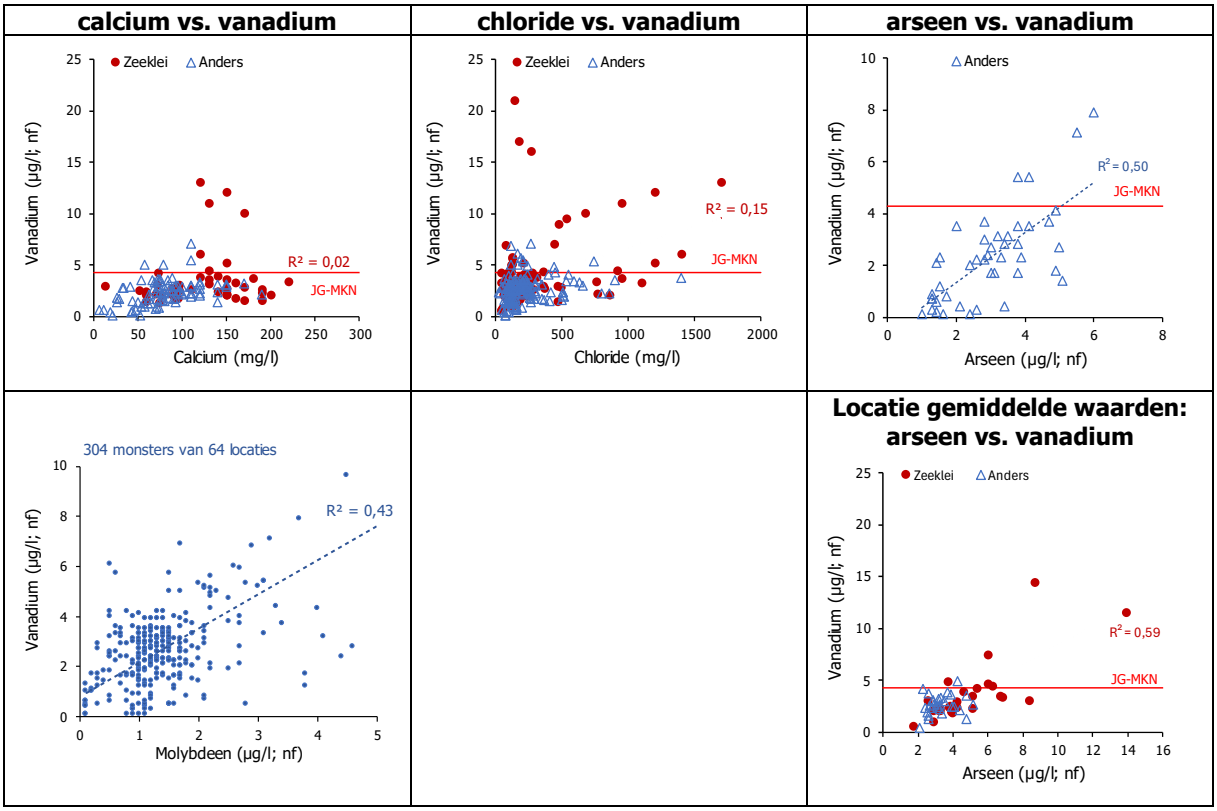
In het landelijke project (Deltares & Ecofide, 2024 in prep) wordt een achtergrondconcentratie van 0,59 µg/l voorgesteld (landelijke P_{90}-waarde). Van de 49 normoverschrijdende waterlichamen hebben er 48 een jaargemiddelde concentratie ≤0,59 µg/l (613005 = 0,59 µg/l). De enige uitzondering is locatie 104303 in NL12_120 met een seleen concentratie van 0,77 µg/l. Deze locatie is in 2020 gemonitord met twee hoge concentraties in de winter (1,2 en 1,6 µg/l in feb en nov) en twee lage in de zomer (0,12 en 0,17 µg/l in aug en mei). Dit seizoensverschil met hoge concentraties in de winter treedt overigens bij meer situaties op (bijvoorbeeld ook voor 613005; zie ook figuur 3.12).

In dit waterlichaam NL12_120 zijn de seleen-concentraties niet alleen op locatie 104303 maar ook op locaties 158202 en 002002 gemonitord. Bij deze andere twee locaties ligt de seleen concentratie onder de 0,59 µg/l (3-jarig gem van 158202 is 0,22 en voor 002002 0,37 µg/l), waarmee het gemiddelde van de drie locaties op 0,45 µg/l ligt en ook dit waterlichaam daarmee aan bovengenoemde achtergrondconcentratie van 0,59 µg/l voldoet. Overigens blijft vooralsnog onduidelijk waarom het beeld van locatie 104303 afwijkt van de andere twee locaties. Dit zou nader onderzoek vergen, maar heeft verder geen invloed op het eindoordeel.

Vanadium

Voor vanadium geldt hetzelfde als voor uranium en seleen. Zowel een verhoogd zoutgehalte als het mobiliseren van vanadium in de ondergrond kan bijdragen aan verhoogde concentraties in het oppervlaktewater (Deltares & Ecofide, 2024 in prep). Vanuit de logistieke opzet van het uitgevoerde metaal-onderzoek lopen de data-analyses echter tegen beperkingen op. Zo zijn de vanadium concentraties in 260 monsters geanalyseerd[12]. In (op één na) al deze monsters zijn ook de chloride concentraties vastgesteld, maar voor calcium geldt dit voor slechts de helft van de monsters. Zo zijn er geen calcium concentraties bekend in de drie monsters met de hoogste vanadium concentraties (locatie 280113; > 15 µg/l; figuur 3.10). Voor een andere mogelijk interessante parameter als sulfaat (zie figuur 3.7) geldt dat er voor slechts 96 monsters zowel vanadium als sulfaat concentraties beschikbaar zijn. Zou men de correlaties tussen sulfaat en andere metalen als As, Se of U willen onderzoeken dan zijn er respectievelijk 48 tot 64 monsters beschikbaar.

De (mogelijke) consequenties hiervan zijn in figuur 3.10 geïllustreerd. Zo is er geen correlatie tussen de vanadium en calcium concentraties en zou het zeker interessant zijn geweest om de calcium concentraties te kennen in de drie monsters met een vanadium concentratie >15 µg/l (locatie 280113). Verder lijken normoverschrijdende vanadium concentraties vaak voor te komen bij chloride concentraties >500 mg/l[13], maar geldt dat nu net weer niet voor de drie hoogste concentraties. Het laatste deelfiguur laat echter wel een correlatie zien tussen de vanadium en arseen concentraties. In dit geval is die correlatie echter alleen gebaseerd op locaties buiten het zeekleigebied of ten hoogste grensgevallen. Voor locaties, die zonder twijfel in het zeekleigebied liggen, zijn er helaas geen monsters waar simultaan zowel arseen als vanadium is geanalyseerd. Deze correlatie tussen arseen en vanadium in individuele monsters is vervolgens gecontroleerd op basis van de locatiegemiddelde waarden (figuur 3.10), die wederom laten zien dat de hoogste vanadium concentraties worden aangetroffen bij locaties met de hoogste arseen concentraties (maar deze correlatie wordt wel beïnvloed door een beperkt aantal locaties met hoge(re) concentraties). Vergelijkbare correlaties worden ook aangetroffen tussen molybdeen en vanadium, maar de achterliggende oorzaken zijn niet verder uitgezocht.



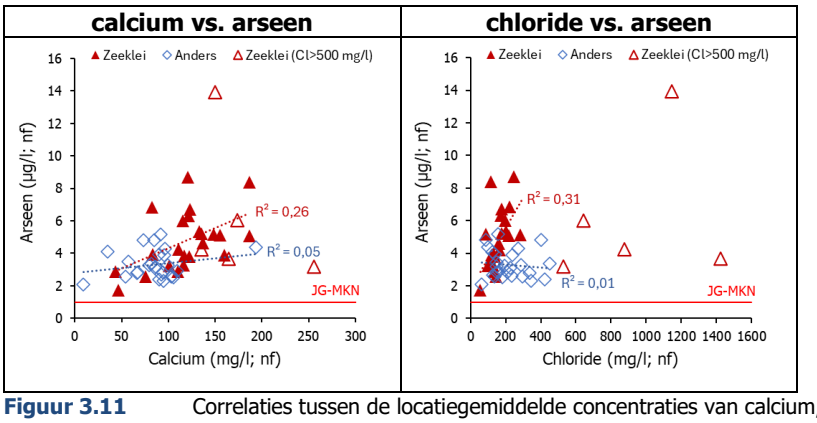
Figuur 3.10 Correlaties tussen de concentraties van calcium, chloride, molybdeen en arseen met die van vanadium.

[12] Exclusief de 44 geanalyseerde monsters op de acht locaties, die in §3.1 over barium zijn besproken.
[13] Ook is er een redelijke correlatie tussen de molybdeen en vanadium concentraties (Figuur 3.10).

Arseen

Voor 184 monsters in het zeekleigebied en nog eens 180 monsters buiten het zeekleigebied zijn de arseen concentraties beschikbaar. Van deze 184 monsters in het zeekleigebied zijn er 76 ook op uranium en seleen geanalyseerd en is er geen enkele op vanadium geanalyseerd. De data-analyse heeft zich daarom op locatie gemiddelde waarden gericht (Figuur 3.11).

Uit deze figuur blijkt allereerst dat er in het zeekleigebied een zwakke correlatie is tussen de calcium en arseen concentraties. Dit wordt vooral geïllustreerd door de constatering, dat bij calcium concentraties boven de 120 mg/l de arseen concentraties altijd groter zijn dan 3 µg/l. Bij deze locaties met een calcium concentratie >120 mg/l bedraagt de gemiddelde arseen concentratie 5,8 µg/l, terwijl de gemiddelde arseen concentratie 3,8 µg/l bedraagt bij locaties met een calcium concentratie onder de 120 mg/l. Desondanks blijft er sprake van een grote variatie tussen locaties. Datzelfde blijkt ook uit de relatie tussen bijvoorbeeld chloride en arseen. In het zeekleigebied is er een zwak positieve correlatie (R^2=0,31), waar dat niet het geval is bij locaties met een andere ligging. Die zwak positieve correlatie tussen chloride en arseen geldt echter alleen voor locaties waar de chloride concentratie in het zoete traject ligt (<300 mg/l). Bij de vijf locaties met een chloride concentratie >500 mg/l is dit verband met arseen niet langer zichtbaar. Dit duidt op een situatie, waarbij er ook binnen het zeekleigebied variatie in concentraties en mogelijk ook oorzaken bestaat.



Figuur 3.11 Correlaties tussen de locatiegemiddelde concentraties van calcium, chloride met die van arseen.

Deze variatie kan door zowel antropogene als natuurlijke factoren worden veroorzaakt. Bij antropogene factoren gaat het vooral om de nog resterende antropogene emissies. Deze vormen zo'n 30-40% van het totaal (de andere 60-70% is afkomstig uit de af- en uitspoeling van bodems) en betreffen vooral emissies vanuit al dan niet gezuiverd rioolwater[14] en vanuit de categorie 'verkeer en vervoer'. Voor arseen heeft deze laatste categorie betrekking op de (mogelijke) aanwezigheid van gewolmaniseerd hout in oeverbeschoeiingen. Gewolmaniseerd hout is tot 2000 geplaatst en heeft een levensduur van zo'n 40 jaar. Als al het gewolmaniseerd hout aan het einde van de levensduur wordt verwijderd, zou de bron in 2040 verdwenen zijn, maar het is onbekend waar gewolmaniseerd hout is geplaatst en het is met het blote oog niet te zien of hout gewolmaniseerd is. Als het gewolmaniseerd hout blijft staan en wegrot, kan er nog een grote hoeveelheid arseen uit vrijkomen.
Bij (meer) natuurlijke factoren kan aan verschillende aspecten gedacht worden. Zo valt te verwachten dat zowel de kweldruk als de oorsprong van de grond(water)lagen belangrijke factoren zijn. Daarnaast bestaan er verschillen in de concentraties tussen maanden en tussen watertypen. Beiden zijn hieronder nader toegelicht.

[14] De emissieregistratie geeft aan dat zo'n 88% van het arseen in rioolwater afkomstig is van huishoudelijk afvalwater. Onduidelijk is of (en zo ja in welke mate) arseen ook via de af- en uitspoeling van bodems in het rioolwater terecht kan komen.

Temporele variatie

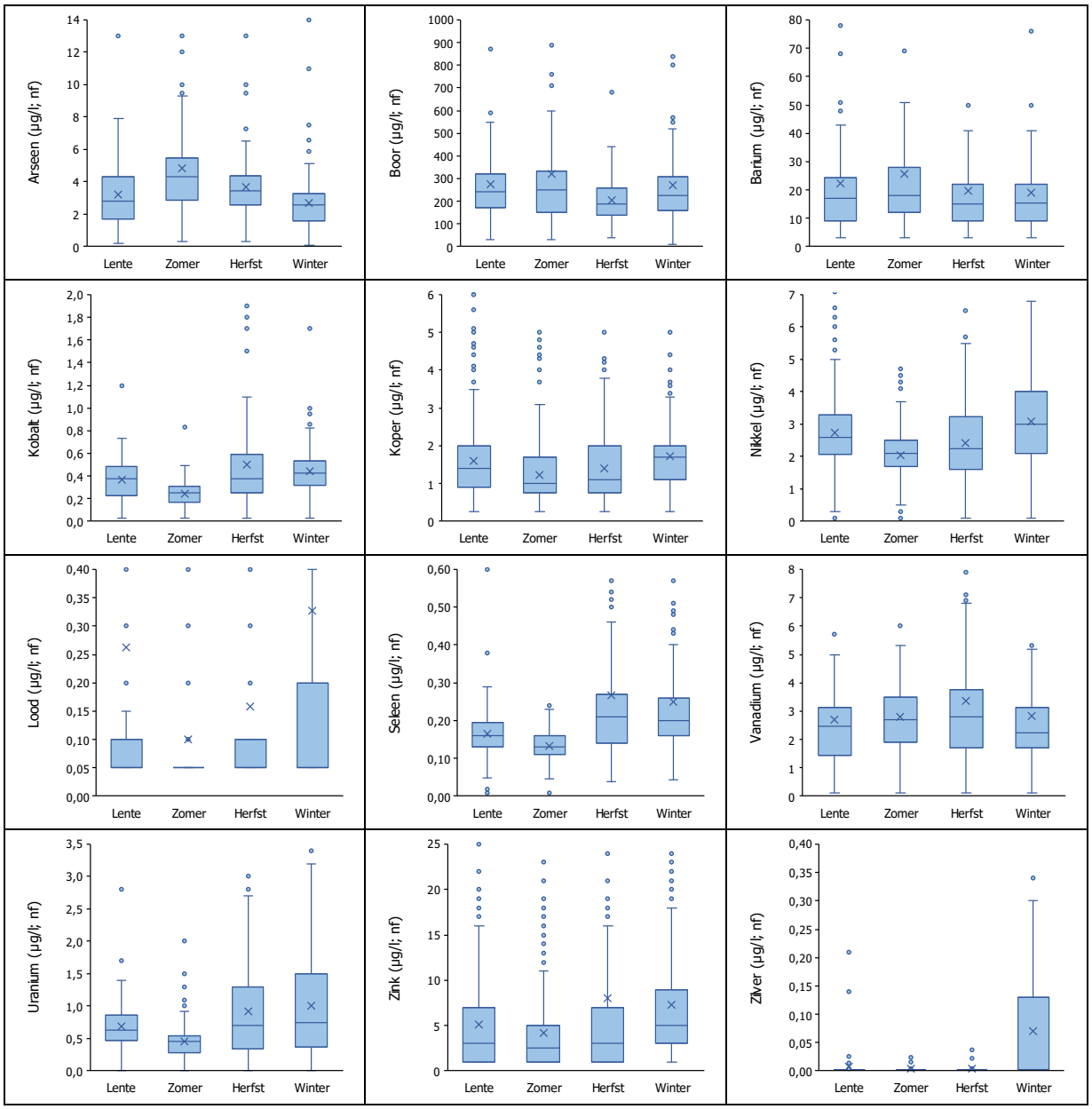
Om een beeld van de seizoensvariatie te kunnen geven zijn alle meetgegevens van de ruim 2100 monsters uit 63 locaties op basis van het betreffende seizoen samengenomen (Figuur 3.12)[15]. Voor arseen blijken de concentraties in de zomer het hoogst en in de winter het laagst (mediane concentratie 4,3 versus 2,6 µg/l). Dit patroon met de hoogste concentraties in de zomer wijkt af van de meeste andere metalen. Alleen bij barium zou men dit patroon enigszins kunnen veronderstellen, maar de verschillen tussen de seizoenen zijn beduidend kleiner. Bij metalen als kobalt, nikkel, lood, seleen, uranium en zink zijn de concentraties in de zomer juist het laagst. Aangezien onduidelijk is door welke factoren deze seizoensvariatie wordt veroorzaakt[16], is het goed mogelijk dat de mate waarin deze seizoensvariatie optreedt ook tussen jaren kan verschillen[17]. Een correlatie tussen bijvoorbeeld de maandelijks geanalyseerde arseen concentraties in het ene jaar en de vier jaarlijks gemeten uranium concentraties in een ander jaar levert daardoor voor een data-analyse ongewenste variatie op.
Kennis van deze seizoensvariatie helpt bij een verdere analyse van herkomst en bronnen, aangezien het geheel van emissies (rioolwater, af- en uitspoeling bodems en gewolmaniseerd hout), de optredende verdunning in oppervlaktewater (hydrologie, verblijftijden etc) en eventuele veranderingen in de redoxpotentiaal en biologische beschikbaarheid tot een goede verklaring van dit seizoenspatroon moet leiden. Zo is het onlogisch om te veronderstellen dat alleen het proces van af- en uitspoeling en optredende verdunning tot verschillende seizoenspatronen leidt (hoogste concentraties van arseen in zomer en voor bijvoorbeeld seleen in de winter). Dit zou middels een specifiek onderzoek nader in beeld gebracht kunnen worden, waarbij een deel op landelijke schaal kan worden beoordeeld (bijv. hoe accuraat is de emissieschatting vanuit gewolmaniseerd hout) en een deel op regionale schaal (vanwege het meer gedetailleerde inzicht in zaken als hydrologie, kweldruk etc.

Verschillen tussen watertypen

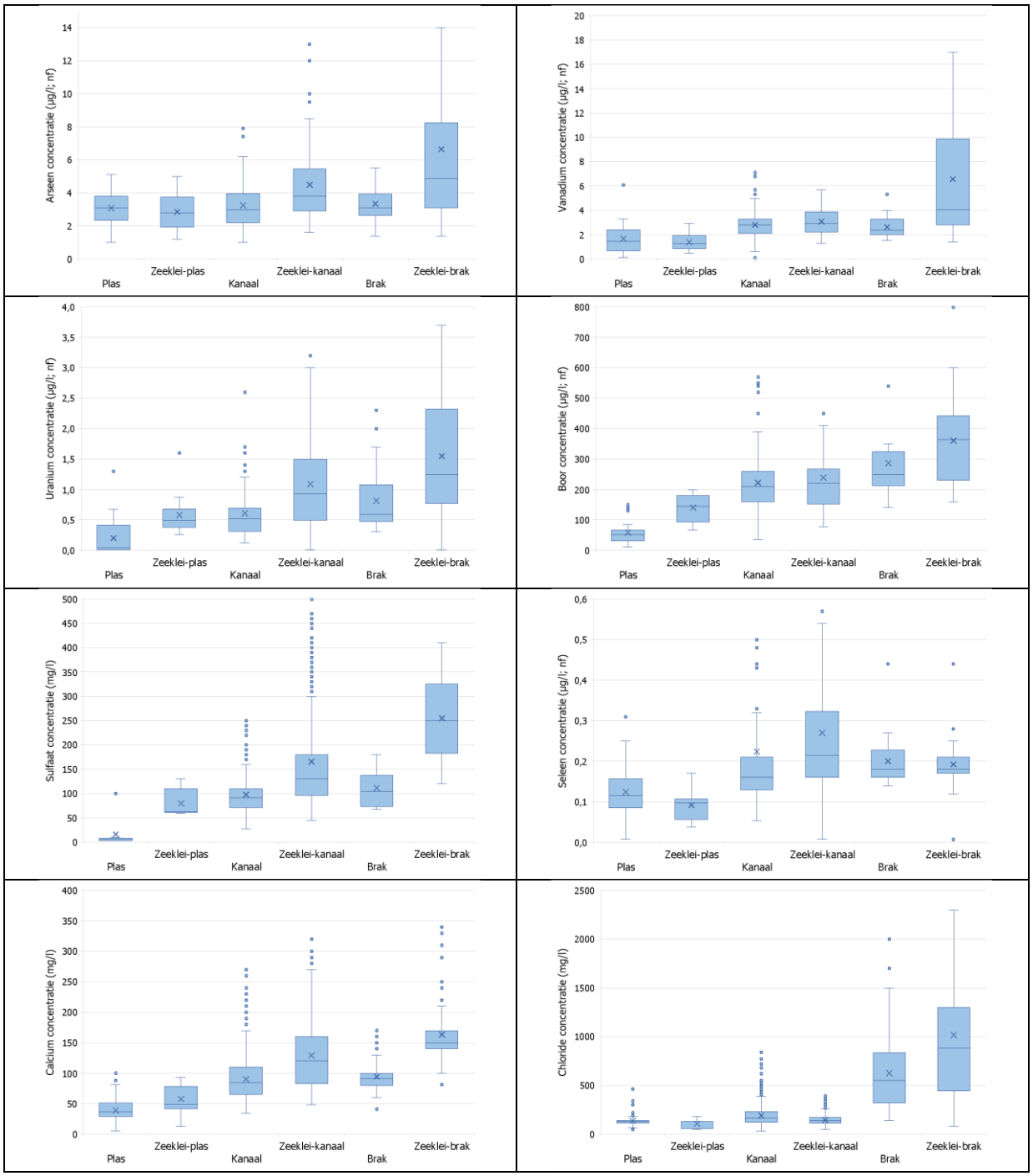
In figuur 3.13 is geïllustreerd hoe de concentraties van verschillende metalen (As, U, V, Se, B) en basale waterkwaliteitsparameters (Cl, Ca, SO_4) variëren met een onderscheid in enkele groepen van watertypen en in de ligging van de locatie in het zeekleigebied dan wel in een ander gebied (excl. de zeven locaties die in §3.1 voor barium al zijn besproken). Tot de groep 'plassen' behoren locaties met watertypen M11, M14, M20 en M25, tot de groep kanalen horen M3, M6, M7 en M10 en brakwater betreft vooral M30 (en een enkele M1b). Als de concentraties tussen watertypen verschillen kan dat komen door verschillen in de emissies, door de hydrologie (verdunning van emissies) of beiden.

Het zeekleigebied wordt ondermeer gekenmerkt door gemiddeld hogere calcium en sulfaat concentraties (zie figuur 3.7). Dit effect is watertype-onafhankelijk aangezien de calcium en sulfaat concentraties in zowel plassen, kanalen als brakke wateren telkens hoger zijn als de locaties in het zeekleigebied liggen. Ditzelfde patroon is duidelijk terug te zien bij uranium, hetgeen ook werd verwacht aangezien de calcium en uranium concentraties in het zeekleigebied goed aan elkaar zijn gecorreleerd (Figuur 3.8). Voor arseen, seleen en vanadium is deze een op een correlatie met calcium in het zeekleigebied minder sterk (Figuren 3.9-3.11). Ook dit is deels terug te zien bij de verschillen tussen watertypen. Zo zijn de arseen concentraties in het zeekleigebied hoger in het geval van kanalen en brakke wateren, maar niet bij plassen. Voor vanadium zijn deze hogere concentraties in het zeekleigebied vooral zichtbaar in de brakke wateren en geldt dit voor seleen juist alleen bij kanalen.

[15] Veel metalen zijn vier keer per jaar bemonsterd. Een onderscheid tussen de maanden heeft daarmee geen toegevoegde waarde.
[16] Verschillen in de redox-gevoeligheid tussen de metalen spelen hier wellicht een rol in.
[17] Denk bijvoorbeeld aan situaties waar de hoeveelheid regen niet alleen de afspoeling maar ook de uitspoeling (kweldruk) kan beïnvloeden.



Figuur 3.12 Seizoensvariatie voor de normoverschrijdende metalen (en koper) op basis van alle 63 onderzochte locaties. De y-as is zo ingesteld, dat het verschil in de boxen zo groot mogelijk is. Daarmee vallen enkele uitschieters buiten beeld.



Figuur 3.13 Variatie in de concentraties van As, V, U, B, Se, sulfaat, calcium en chloride bij verschillende watertypen en een onderscheid tussen de ligging in het zeekleigebied en in andere gebieden.

3.3 Andere metalen

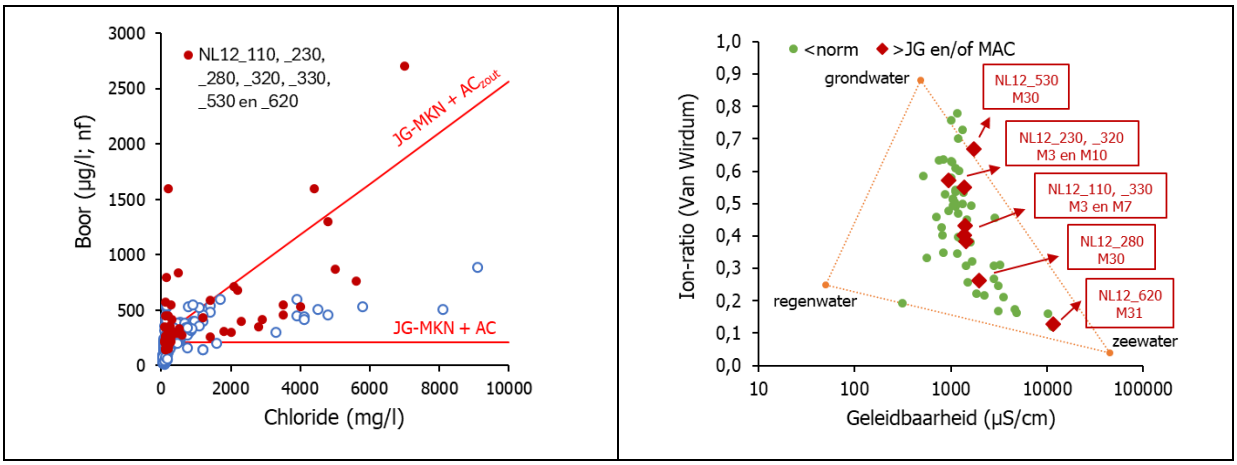
Van de 11 normoverschrijdende metalen in tabel 2.2 (§2.2) zijn lood, nikkel en zink besproken in §2.3, barium in §3.1 en arseen, seleen, uranium en vanadium in §3.2. Daarmee resteren boor, kobalt en zilver. Deze zijn hieronder toegelicht.

Boor

In het landelijke project werd geconcludeerd dat boor in oppervlaktewater sterk aan zout is gecorreleerd, een natuurlijke oorsprong heeft en de volgende relatie kent: AC_{boor} (µg/L) = 81,3 + 0,23 * chloride (mg/L). Voor HHNK zijn deze chloride afhankelijke achtergrondconcentraties voor ieder normoverschrijdend monster berekend en is de toetsing voor zowel de JG- als MAC-MKN opnieuw uitgevoerd (B conc / [B_{norm} + AC_{zout}]). Als deze berekeningen vervolgens worden samengenomen tot een eindoordeel per waterlichaam dan blijkt dat 44 waterlichamen aan zowel de JG- als MAC-MKN van boor voldoen. De resterende zeven waterlichamen kennen een overschrijding van de JG-MKN (NL12_330), een overschrijding van de MAC-MKN (NL12_110 en _620) of van beide normen (NL12_230, _280, _320 en _530). Uit figuur 3.14 blijkt vervolgens dat normoverschrijdende monsters bij zowel lage chloride concentraties (<500 mg/l) als bij relatief hoge chloride concentraties (4400-7000 mg/l) worden aangetroffen. De twee normoverschrijdende monsters bij hoge chloride concentraties komen uit de waterlichamen NL_110 en _620 en betreffen alleen overschrijdingen van de MAC-MKN. Voor de andere vijf waterlichamen zijn er 13 normoverschrijdende monsters, waarbij concentraties variëren tussen 320-1600 µg/l boor en 91-510 mg/l chloride.

Vervolgens is voor deze zeven waterlichamen ook naar de ligging in het Van Wirdum diagram gekeken (Figuur 3.14 rechts). Hieruit blijkt dat de samenstelling van het oppervlaktewater in waterlichaam NL12_620 (locatie ligt bij gemaal Krassekeet op Texel) sterk op dat van zeewater lijkt, waarbij deze invloed waarschijnlijk door een vrij directe binnenkomst van het zeewater gaat. Aan de andere kant van het diagram ligt locatie 208017 uit waterlichaam NL12_530 (waterdelen polder Wieringerwaard). Deze locatie blijkt vooral door grondwater te zijn beïnvloed. Verder valt op dat deze locatie als M30 is gekarakteriseerd, terwijl aan het waterlichaam NL12_530 als geheel watertype M3 is toegekend. Net zoals bij eerdere vergelijkbare situaties wordt HHNK ook voor deze situatie aanbevolen om na te gaan of locatie 208017 (M30) niet beter kan worden vervangen door een locatie die qua watertype overeenkomt met dat van het waterlichaam als geheel.

Ditzelfde geldt voor de normoverschrijding van waterlichaam NL12_110, waar de normoverschrijding werd vastgesteld op locatie 135802 (watertype M31), die in een eerder stadium al door een andere locatie is vervangen. Zo voldoet de toestand van boor op de locaties 135201 en 135302. Op locatie 135701 is wel een overschrijding van boor vastgesteld, maar gemiddeld over deze drie locaties voldoet boor aan de goede toestand. Dit waterlichaam NL12_110 kan daarom voor boor als 'voldoet' worden beschouwd.



Figuur 3.14 Relatie tussen de chloride en boor concentraties.
Links: scatterplot met alle ruim 2100 monsters van de 63 onderzochte locaties. Rode cirkels betreffen monsters uit de zeven normoverschrijdende waterlichamen. De cirkels met een blauwe rand betreffen alle andere locaties.
Rechts: De ligging van de zeven normoverschrijdende waterlichamen in het Van Wirdum diagram.

Ten slotte valt op dat van de zes MAC-overschrijdingen er vier in de wintermaanden zijn vastgesteld[18]. Ook voor de JG-overschrijding bij NL12_330 geldt dat de hoogste concentratie wederom in de winter is vastgesteld. Dit duidt op temporele variatie over het jaar, die wellicht is gekoppeld aan de mate waarin de locatie door grondwater is beïnvloed (Figuur 3.14). Dit zou betekenen, dat er niet alleen voor uranium maar ook voor boor een onderscheid gemaakt moet worden tussen locaties waar het zoute water min of meer direct binnenkomt (denk aan een openverbinding, sluis of een ondiepe kwelstroming) en locaties waar de zoutinvloed (waarschijnlijk) een gevolg is van een in de diepere ondergrond aanwezige zoutere grondwaterlaag.

Kobalt

In het landelijk project naar de regionale achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024 in prep.) wordt geconstateerd, dat voor kobalt zo'n 90% van de belasting van het oppervlaktewater afkomstig is uit de af- en uitspoeling van bodems. In een directe correlatie tussen kobalt en calcium komt zo'n relatie echter niet duidelijk naar voren (Figuur 3.15; linksboven; invloed van grondwater is vaak terug te zien in verhoogde calcium concentraties). Eén van de mogelijke factoren is de DOC-concentratie. Net zoals voor zink, nikkel, koper en lood geldt ook voor kobalt, dat de concentraties goed aan DOC zijn gerelateerd (Figuur 3.15; rechtsboven). Overigens wordt de in dit figuur opgenomen R^2-waarde van 0,41 sterk beïnvloed door de twee monsters met een DOC concentratie boven de 30 mg/l en een kobalt concentratie boven de 0,8 µg/l (deze komen uit een venig gebied). Ook uit de eveneens opgenomen box-plot (Figuur 3.15; rechtsmidden) blijkt echter, dat de 75-percentiel concentratie (bovenkant van de blauwe box) steeds groter wordt naarmate de DOC-concentratie toeneemt. Dit bevestigt het verband tussen DOC en kobalt concentraties.

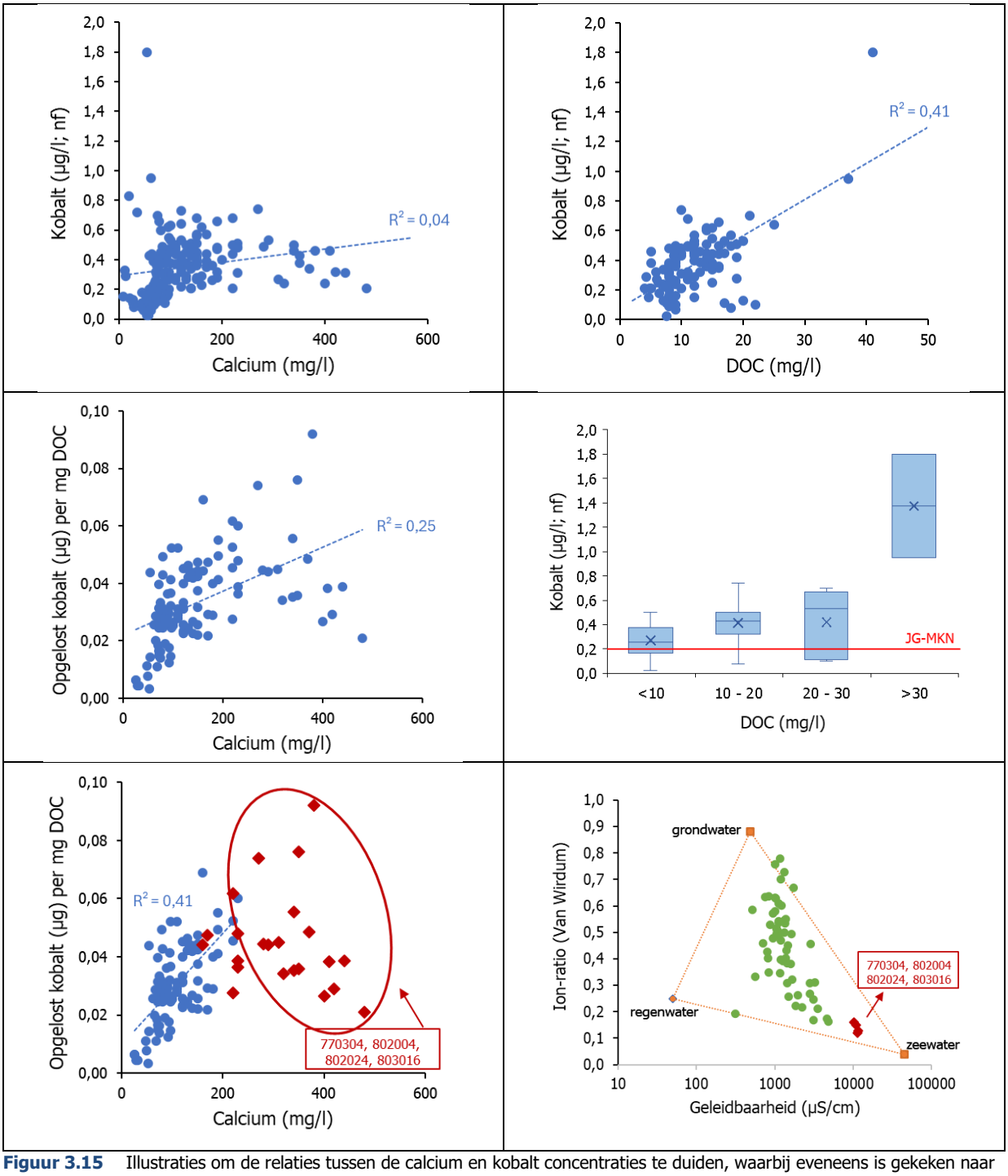
DOC heeft daarom wel invloed op de kobalt concentratie in oppervlaktewater maar geeft geen inzicht in de herkomst van dit kobalt. De DOC-concentraties zijn eerder watertype afhankelijk (zijn bijvoorbeeld hoog bij venige bodems). Vanwege deze invloed van DOC is de relatie tussen kobalt en calcium nogmaals in beeld gebracht (Figuur 3.15; linksmidden), maar nu door de kobalt concentraties uit te drukken per mg DOC (kobalt conc in µg/l gedeeld door DOC in mg/l). Dit levert zoals verwacht een aanzienlijke verbetering in de relatie tussen kobalt en calcium, waarbij de R^2-waarde van 0,04 naar 0,25 is toegenomen. Desondanks is er nog steeds veel spreiding en met name bij de hogere calcium-concentraties. Deze monsters komen van vier locaties, die in het Van Wirdum diagram (Figuur 3.15; rechtsonder) sterk aan zeewater zijn gerelateerd. In die gevallen is de verhoogde calcium-concentratie dus ook geen indicatie van een grondwaterinvloed. In het figuur 3.15 linksonder zijn deze vier locaties daarom uit de relatie tussen calcium en kobalt verwijderd (wel geïllustreerd als rode ruiten), waarbij de R^2-waarde verder toeneemt van 0,25 naar 0,41.

Samenvattend betekent dit dat de hoogte van de kobalt-concentratie in het oppervlaktewater in N-Holland wordt beïnvloed door zowel de DOC-concentratie als de oorsprong van het water (langs een gradiënt van grondwater invloed naar invloed van zeewater). Voor locaties met een grote invloed van grondwater zijn de calcium en kobalt concentraties goed aan elkaar gecorreleerd, waarmee deze metingen de conclusie uit het landelijke project (kobalt is vooral afkomstig uit de af- en uitspoeling van bodems) bevestigen.

Ook deze patronen zijn verder uit te diepen door na te gaan of de overblijvende variatie aan bepaalde factoren is toe te schrijven. Hier loopt de huidige dataset echter tegen beperkingen aan. Zo zijn er in het onderzoek aan de 63 locaties ruim 2100 monsters genomen. In 313 monsters (15%) is de kobalt concentratie geanalyseerd en in 113 (5%) daarvan zijn gelijktijdig ook de calcium en DOC concentraties vastgesteld. Van andere parameters, die mogelijk aanvullend inzicht geven, zijn nog minder gelijktijdige analyses beschikbaar. Zo zijn er van de 313 monsters 84 op HCO_3 en 32 op $CaCO_3$ geanalyseerd. Verdere analyses zouden zich dan op locatie gemiddelde waarden moeten richten, maar dat is gezien de seizoens en jaar-op-jaar variatie niet wenselijk. Bovenstaande verbanden geven echter wel een eerste inzicht over hoe monitoringsdata kunnen helpen in het geval er vanuit het landelijk metaal project (zie hoofdstuk 4) om lokale analyses wordt gevraagd. In hoofdstuk 4 wordt de huidige toestand van kobalt via twee denklijnen nader beoordeeld. De eerste is de denklijn vanuit het landelijke metaal project. Deze komt tot de conclusie dat er voor drie waterlichamen (NL12_260, _280 en _330) een lokale analyse nodig is. De kobalt concentraties in deze drie waterlichamen zijn op vier locaties onderzocht, namelijk 517017 en 519003 (NL12_260), 475104 (NL12_280) en 5N9714 (NL12_330). Voor iedere locatie zijn vier kobalt-analyses beschikbaar, maar alleen voor 517017 zijn gelijktijdig ook de calcium en DOC-concentraties vastgesteld. Verder is aan locatie 519003 watertype M10 toegekend. Dit zijn laagveenvaarten en kanalen. De gemiddelde DOC

[18] Dit betreft telkens de maand februari, maar dat komt omdat bij de monstername met vier monsters per jaar februari de enige wintermaand was. Het gaat dus om de winter en niet zo zeer om eventuele verschillen tussen februari en december/januari.

concentratie bedraagt hier 40,5 mg/l. Deze verhoogde DOC concentratie is dan ook een belangrijke verklaring voor de verhoogde kobalt-concentratie (gemiddeld 0,95 µg/l).



Figuur 3.15 Illustraties om de relaties tussen de calcium en kobalt concentraties te duiden, waarbij eveneens is gekeken naar de invloed van DOC en naar de herkomst van het oppervlaktewater (zie tekst voor nadere toelichting).

De tweede denklijn komt voort uit ontwikkelingen rondom de normstelling, waarbij in bepaalde situaties via het uitvoeren van biotamonitoring kan worden vastgesteld of de toestand voldoet. Deze voorwaarden zijn:

De toestand van een waterlichaam kan (voorlopig) als goed worden beoordeeld als

i) het kobalt-gehalte in schelpdieren <196 µg/kg vers **én**

ii) de gemiddelde opgeloste kobalt concentratie in oppervlaktewater <0,5 µg/l **én**

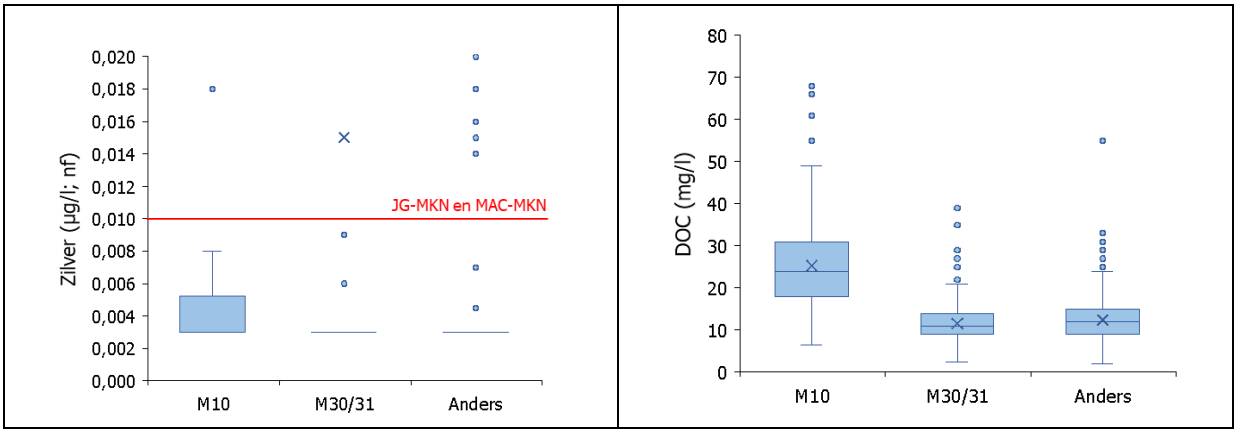
iii) er geen overschrijding van de MAC-MKN optreedt

Geen van de vier locaties, die niet aan de voorgestelde P_{90}-waarde van 0,67 µg/l voldoen, voldoen aan deze voorwaarden aangezien niet alleen de gemiddelde waarde van 0,5 µg/l wordt overschreden (range: 0,8 - 1,7 µg/l), maar ook in alle vier gevallen sprake is van een overschrijding van de MAC-MKN. Dit is daarmee momenteel geen bruikbare optie voor een vervolgstap. Hierbij geldt wel de kanttekening, dat ook de ecologische risico's van kobalt thans door het RIVM worden geëvalueerd. Mogelijk kan uit nieuwe onderzoeksgegevens blijken dat de ecologische risico's lager zijn dan oorspronkelijk ingeschat, waardoor wellicht zowel de MAC-MKN als de genoemde waarde van 0,5 µg/l naar boven kunnen worden bijgesteld.

Zilver

Van de ruim 2100 monsters zijn er 312 op zilver geanalyseerd. Hiervan lagen er 255 onder de rapportagegrens van 0,006 µg/l en nog eens 16 onder de normwaarde van 0,01 µg/l (voor zilver zijn de JG- en MAC-MKN aan elkaar gelijk op 0,01 µg/l). Van de 41 monsters met een zilver concentratie boven de normwaarde van 0,01 bedroeg de gemiddelde concentratie 0,14 µg/l. Deze 41 monsters komen uit 33 locaties van 30 verschillende waterlichamen, waarbij het voor de meeste locaties om telkens één monster gaat. Alleen bij de waterlichamen NL12_110 (135802), _120 (158202), _620 (803016) en _830 (204002) zijn er locaties met meer dan één zilver concentratie boven de 0,01 µg/l (varieert van 2 tot 4). Ten slotte blijkt dat deze 41 monsters hoofdzakelijk in de wintermaanden zijn genomen (namelijk 32 van de 41; 78%). Als naar alle meetbare monsters wordt gekeken dan geldt dit voor 58% van de monsters (zie ook figuur 3.12 in §3.2). Al met al levert dit een beeld, waarbij in 82% van de monsters geen meetbare zilver concentratie is aangetroffen en als er wel een meetbare concentratie wordt aangetroffen dan gaat het meestal om één monster uit het winterseizoen per locatie. Daarmee levert de dataset wel inzicht in de huidige toestand, maar is het aantal meetbare concentraties in de dataset nog te klein voor uitgebreide data-analyses. Zo is van slechts 171 monsters ook de calcium-concentratie bekend en geldt dit voor 113 monsters bij de parameter DOC. Zo'n sterk seizoenspatroon duidt overigens wel op een situatie, waarbij zilver vooral een natuurlijke herkomst heeft. Het is ten slotte ingewikkeld om mogelijke antropogene bronnen te vinden, wiens activiteiten louter in de winter tot verhoogde concentraties leidt. In de emissieregistratie zijn bijvoorbeeld alleen gegevens over de zilver concentraties in al dan niet gezuiverd rioolwater bekend, waarvan 97% vanuit RWZI-effluent. Deze bron zal niet tot het vastgestelde seizoenspatroon leiden. Ook in onderzoek bij waterschap Hollandse Delta werd in het oppervlaktewater een sterk seizoenspatroon vastgesteld. In dit geval lag de piek echter iets later (maart-april) en bleek zo'n zelfde piek ook in het grondwater aanwezig te zijn.

De enige toevoeging hierop betreft de constatering dat de kans op het aantreffen van een meetbare zilver-concentratie bij laagveenvaarten en -kanalen (watertype M10) iets hoger is dan bij andere zoete watertypen. Dit is gekoppeld aan het feit, dat ook de DOC-concentratie bij watertype M10 gemiddeld hoger is. Zo laat figuur 3.16 zien dat de DOC-concentratie bij watertype M10 veelal tussen de 20 en 30 mg/l varieert, terwijl dat bij de andere watertypen meestal tussen de 10 en 15 mg/l ligt. Van de 36 monsters uit watertype M10 liggen er bijvoorbeeld 9 boven de rapportagegrens (25%) en zijn er 6 groter dan de normwaarde van 0,01 µg/l (17%). Voor monsters uit andere zoete watertypen geldt dit voor 17% en 12% respectievelijk. Aangezien veel concentraties rond de normwaarde van 0,01 µg/l variëren, leidt dit relatief kleine verschil in trefkans toch tot een groot verschil in het aantal normoverschrijdende waterlichamen. Zo zijn er voor zes van de zeven waterlichamen met watertype M10 normoverschrijdingen vastgesteld (85%), terwijl dit voor waterlichamen met een ander zoet watertype om de helft van de 34 waterlichamen gaat.



Figuur 3.16 Relatie tussen watertype en de zilver en DOC-concentraties in het oppervlaktewater.

4 Regionale achtergrondconcentraties

In het landelijke project naar regionale variaties in de achtergrondconcentraties van metalen (Deltares & Ecofide, 2024 in prep.) wordt onderscheid gemaakt tussen metalen met een vooral natuurlijke herkomst en metalen, waarbij ook antropogene emissies een betekenisvolle bijdrage aan de totale emissie vormen. Als criterium wordt gewerkt met een aandeel antropogene emissies onder de 10% (zie tabel 4.1). Is dat het geval dan wordt voorgesteld om de achtergrondconcentratie op een (al dan niet geregionaliseerde) 90-percentiel waarde (P_{90}) te baseren. Voor metalen, waarbij het aandeel antropogene emissies >10% is, ligt er bij normoverschrijdingen een opgave om deze directe, antropogene emissies te reduceren. Niet voor alle metalen is er even veel informatie over deze antropogene emissies beschikbaar. Voor het predicaat 'vooral van natuurlijke herkomst' is daarom ook gesteld dat met de beschikbare emissiegegevens én het landelijke waterkwaliteitsmodel een voldoende accurate voorspelling van de concentraties in het oppervlaktewater mogelijk moet zijn. Voor de negen resterende normoverschrijdende metalen is de informatie uit dit landelijk metaal project in tabel 4.1 samengevat.
LET OP: de resultaten van dit landelijke project zijn nog in (eind)concept beschikbaar. Bij de verdere implementatie van onderstaande bevindingen moeten deze nog met het uiteindelijke eindrapport vergeleken worden.

Tabel 4.1 Aandeel aan antropogene emissies binnen het totaal (Deltares & Ecofide, 2024 in prep).
Groen gearceerd: aandeel antropogene bronnen is kleiner dan 10%

	Aandeel antropogene emissies	Voorgestelde achtergrondconcentratie (µg/l)	Geregionaliseerd voor ....
Arseen	40%	P_{10} = 0,8	zeeklei
Barium	4%	P_{90} = 140	Flevoland en gebieden oostelijk van de IJssel
Boor	-	Zoutafhankelijk	
Kobalt	10%	P_{90} = 0,67	laag Nederland
Seleen	1%	P_{90} = 0,59	heel Nederland
Uranium	<10%	1) Zoutafhankelijk 2) P_{90} = 2,4	(gedeelten van) de kustzone
Vanadium	8%	P_{90} = 8,5	Kop van N-Holland
Zilver	? niet opgenomen in project door tekort aan metingen boven de rapportagegrens		
Zink	80%	P_{10} = 1,0	bestaande, landelijke waarde

De verschillende metalen zijn hieronder nader toegelicht. Voor een deel overlapt deze informatie met de beschrijvingen in hoofdstuk 3 over de ruimtelijke variatie. Voor het overkoepelend beeld is deze informatie in een ingekorte versie nogmaals in onderstaande factsheets per metaal overgenomen.

Arseen

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	48	Zie §2.3

Normen
Er is een groot verschil tussen de huidige JG-MKN van arseen (0,5 µg/l) en de PNEC-concentratie op de website van ECHA (5,6 µg/l[19]). De huidige arseen norm is in 2009 vastgesteld (ICBR, 2009), terwijl de kennis over de effecten van arseen sindsdien is toegenomen. Het RIVM zal de normstelling in 2025 evalueren. Het is niet onwaarschijnlijk dat dit tot een wijziging in de normstelling zal leiden.

Directe antropogene bronnen
De 40% aan actuele antropogene bronnen (tabel 4.1) bestaan uit RWZI-effluent (12%), ongezuiverd rioolwater (6%), gewolmaniseerd hout als oeverbeschoeiing (17%) en atmosferische depositie (3%). Aangezien de bijdrage van de directe, antropogene bronnen daarmee >10% bedraagt, wordt geconcludeerd dat deze antropogene bronnen voor alle normoverschrijdende waterlichamen gereduceerd moeten worden óf er moet beredeneerd kunnen worden dat dit landelijke beeld vanuit de emissieregistratie voor een of meerdere specifieke waterlichamen niet opgaat (bijvoorbeeld omdat er geen gewolmaniseerd hout aanwezig en er geen RWZI-effluent of ongezuiverd rioolwater wordt geloosd). Als de antropogene emissies <10% zijn, kan de beoordeling worden vervolgd.

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
Voor laag Nederland is een deelgebied gespecificeerd waar de arseen concentraties opvallend hoog zijn. Dit deelgebied omvat ook (vrijwel) geheel Noord-Holland[20]. De regionale achtergrondconcentratie bedraagt hier 0,8 µg/l (P_{10}-waarde vanwege de antropogene belasting). Deze relatief kleine verhoging van de achtergrondconcentratie (van 0,5 naar 0,8 µg/l) heeft geen consequenties voor het oordeel over de huidige toestand, aangezien alle normoverschrijdende jaargemiddelde en/of maximale concentraties groter zijn dan 1,3 (0,5 + 0,8 voor de jaargemiddelden) respectievelijk 8,8 (8,0 + 0,8 voor de maximale concentraties) µg/l.
Als HHNK voor een waterlichaam kan onderbouwen, dat de actuele antropogene belasting <10% is, dan kan de beoordeling worden vervolgd. Hoe dat dan moet is echter nog onder discussie. In theorie zou de beoordeling dan op de regionale P_{90}-waarde van 13 µg/l gebaseerd kunnen worden. In de praktijk is die P_{90}-waarde echter aan de hoge kant van de natuurlijke verdeling, omdat er bij de berekening ook monitoringsgegevens zijn meegenomen uit waterlichamen waar antropogene emissies nog wel een rol spelen.

Stel dat de P_{90}-waarde van 13 µg/l wordt gehanteerd, dan blijkt uit de meetgegevens dat (vrijwel) alle jaargemiddelden en maximale concentraties kleiner zijn dan 13 µg/l. Voor die situatie moet er binnen het landelijk project nog een (beleidsmatige) keuze worden gemaakt tussen twee conclusies:
óf er wordt geconcludeerd dat de normen weliswaar worden overgeschreden, maar eveneens dat er geen handelingsperspectief is.
óf men redeneert vanuit de (dan al aangetoonde) afwezigheid van antropogene emissies en dan moet de toestand voldoen, want in de Europese normstelling is beschreven dat normen niet door de natuurlijke achtergrondconcentraties overschreden mogen worden.
Bij HHNK zijn er twee uitzonderingen met een concentratie >13 µg/l, namelijk NL12_610 (2019: gem 14 en max 25 µg/l) en locatie 804001 (2017: gem 25 en max 56 µg/l). Voor waterlichaam NL12_610 zou de lokale situatie een nadere analyse behoeven.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
- antropogene bronnen reduceren (al dan niet gezuiverd rioolwater; gewolmaniseerd hout verwijderen)
- lokale analyse voor NL12_610 met een gemiddelde arseenconcentratie >13 µg/l

[19] ECHA = European Chemicals Agency ; arseen: https://echa.europa.eu/nl/registration-dossier/-/registered-dossier/22366/6/1;
[20] Op basis van het huidige concept rapport. De exacte gebiedsindeling wordt nog geëvalueerd.

Barium

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	1	

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
Het landelijk project concludeert, dat de bariumconcentraties in het oppervlaktewater vrijwel geheel van natuurlijke oorsprong zijn en de auteurs stellen daarom voor om de natuurlijke achtergrondconcentratie niet op de P_{10} maar op de P_{90}-waarde te baseren. Tijdens dit landelijke project is vooral gekeken naar de regio waar de meeste normoverschrijdingen voor barium zijn vastgesteld (aan de oostkant van de IJssel, tussen Zwolle en Deventer, en aan de IJsselmeerkant bij de Flevo- en Noordoostpolder). Voor deze regio is een regionale achtergrondconcentratie van 140 µg/l vastgesteld (P_{90}-waarde) en voor de rest van Nederland bedraagt deze P_{90}-waarde 76 µg/l. Aangezien de JG-MKN 93 µg/l bedraagt heeft deze laatste P_{90}-waarde geen toegevoegde waarde. Verder concludeert het landelijke project, dat verhoogde barium concentraties in het oppervlaktewater door een proces in de ondergrond moeten zijn veroorzaakt, maar eveneens dat dit proces nog niet verder geduid kan worden. De gemiddelde concentratie voor NL12_520 bedraagt 230 µg/l en ligt ruim boven beide P_{90}-waarden. Dit leidt tot de conclusie dat de huidige toestand niet voldoet en dat het handelingsperspectief op basis van een lokale analyse bepaald kan worden.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
* lokale analyse voor NL12_520 waar de barium concentraties groter dan de JG-MKN zijn.
Na afloop van het landelijke metaal project zal in een CoP aan de hand van voorbeelden worden bediscussieerd hoe zo'n lokale analyse kan worden vormgegeven en wanneer een conclusie voldoende is onderbouwd. De in hoofdstuk 3 beschreven data-analyse, correlaties met meer basale waterkwaliteitsparameters, de overeenkomsten tussen de Wieringermeer en de polders bij waterschap Zuiderzeeland vormen allen belangrijke onderdelen van zo'n analyse. Mogelijk kan er nog aanvullend inzicht worden verkregen vanuit de vraag waarom er juist in het oostelijke aanvoerkanaal van gemaal Leemans hoge barium concentraties worden aangetroffen. Hierbij valt te denken aan eventueel al bestaande kennis over de aanwezige grondwaterlagen of aan chemische analyses in het grondwater en/of in het oppervlaktewater op locaties waar van opkwellend grondwater sprake is (en dan wellicht vergelijken met de situatie in de andere delen van de Wieringermeerpolder).

Boor

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	18	

Landelijke project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
In het landelijke project werd geconcludeerd dat boor in oppervlaktewater sterk aan zout is gecorreleerd, een natuurlijke oorsprong heeft en de volgende relatie kent: AC_{boor} (µg/L) = 81,3 + 0,23 * chloride (mg/L). Deze zoutafhankelijk achtergrondconcentratie is vervolgens in de toetsingen van zowel de JG-MKN als MAC-MKN meegenomen. Dan blijkt dat 44 waterlichamen aan zowel de JG- als MAC-MKN van boor voldoen. De resterende zeven waterlichamen kennen een overschrijding van de JG-MKN (NL12_330), een overschrijding van de MAC-MKN (NL12_110 en _620) of van beide normen (NL12_230, _280, _320 en _530).
Voor waterlichaam NL12_110 zijn de hoogste boor concentraties vastgesteld op locatie 135802 (Helsdeur), die in een eerder stadium als vaste locatie al door 135701 is vervangen. Na bovenstaande zoutcorrectie voldoet de toestand van boor op locatie 135701 (alsmede op 135201 en 135302) en kan daarmee de toestand van het waterlichaam als voldoet worden beschouwd.

Voor de zes resterende normoverschrijdende waterlichamen zou de situatie met een lokale analyse nader beoordeeld kunnen worden. Zo valt op dat van de zes MAC-overschrijdingen er vier in de maand februari zijn vastgesteld (4 monsters / jaar). Ook voor de JG-overschrijding bij NL12_330 geldt dat de hoogste concentratie wederom in februari is vastgesteld. Dit duidt op temporele variatie over het jaar, die wellicht is gekoppeld aan de mate waarin de locatie door grondwater is beïnvloed (zie het Van Wirdum diagram in figuur 3.14 van §3.3). Dit zou betekenen dat er niet alleen voor uranium maar ook voor boor een onderscheid gemaakt moet worden tussen locaties waar het zoute water min of meer direct binnenkomt (denk aan een open verbinding, sluis of een ondiepe kwelstroming) en locaties waar de zoutinvloed (waarschijnlijk) een gevolg is van een in de diepere ondergrond aanwezige zoutere grondwaterlaag. Als dit kan worden onderbouwd kan ook de toestand bij deze zes waterlichamen wellicht in voldoet gewijzigd worden (natuurlijke achtergrond).

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief

- het invoeren van een zoutafhankelijke achtergrondconcentratie vermindert het aantal normoverschrijdende waterlichamen van 18 naar 7 en kan (voorlopig) via een deskundigenoordeel verwerkt worden. Het in de toetsingen niet langer meenemen van locatie 135802 zou het aantal normoverschrijdende waterlichamen verder terug brengen naar 6.
- deze zoutafhankelijk berekening is voorgesteld in het landelijke project en het plan is om deze correctie in Aquokit in te bouwen, waarna de berekening vanzelf gaat en het deskundige oordeel kan vervallen. Deze zou voor alle watertypen moeten gelden.
- voor de zes nog resterende normoverschrijdende waterlichamen is een lokale analyse nodig, die zich primair zou kunnen richten op de route waarmee het zoute(re) water binnenkomt (via een directe route of vanuit een dieper gelegen grondwater laag).

Kobalt

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	43	

Normen
Momenteel is het RIVM bezig met een volledige evaluatie van de normstelling van kobalt. Als eerste inschatting lijkt de kans groot, dat het aantal normoverschrijdingen hierdoor zal afnemen. Zo wordt beoordeeld of er ook voor kobalt een 2de lijnstoetsing op de JG-MKN mogelijk is. De gevolgen voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier kunnen daarom pas na de afronding van deze evaluatie worden vastgesteld.

Nadere beoordeling
Momenteel wordt al gewerkt met een aanvullende beoordeling van de huidige toestand via de inzet van biotamonitoring. In overleg met het RIVM blijkt dat voor waterlichamen waar alléén de JG-MKN wordt overschreden én waar de gemiddelde kobalt concentratie <0,5 µg/l is (bij HHNK gaan beide voorwaarden voor 40 waterlichamen op), aanvullend biotaonderzoek in (waarschijnlijk) een behoorlijk deel van deze waterlichamen alsnog tot het oordeel 'voldoet' kan leiden (zie Ecofide, 2024a voor nadere onderbouwing). Binnen de evaluatie van de normstelling zal deze optie waarschijnlijk niet veranderen. *Noot*: Binnen de al lopende biotamonitoring gaan deze voorwaarden op voor NL12_110, _120 (2 locaties), _430 en NL12_620. Hiermee ontstaat een eerste inzicht in de mogelijke effecten van deze aanvullende beoordeling.

Landelijke project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
In laag Nederland wordt de rol van pyrietoxidatie (door peilverlaging) bij verhoogde kobaltconcentraties als 'zeer beperkt' ingeschat. Daarmee kan de kobaltconcentratie in laag Nederland als natuurlijk worden gezien en wordt een P_{90} voorgesteld[21]. Deze bedraagt 0,67 µg/l. Van de 43 normoverschrijdende waterlichamen ligt de jaargemiddelde concentratie in drie waterlichamen boven deze 0,67 µg/l[22], namelijk NL12_260, _280 en _330 (ook overschrijding van MAC-MKN). Voor de andere 40 waterlichamen zou op basis van het landelijk project geconcludeerd worden dat aan de goede toestand wordt voldaan.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
- vanuit het landelijke project wordt momenteel geconcludeerd dat als de gemiddelde concentratie onder de 0,67 µg/l ligt, de toestand voldoet. Dit geldt voor 40 normoverschrijdende waterlichamen.
- ook de verdere inzet van biotamonitoring kan (waarschijnlijk) tot een ander, positiever oordeel over de huidige toestand leiden, waarbij de inschatting is dat voor het merendeel van de waterlichamen de toestand kan voldoen.
- voor drie normoverschrijdende waterlichamen (NL12_260, _280 en _330) dient de huidige situatie middels een lokale analyse nader te worden beoordeeld.

[21] Naar aanleiding van vragen wordt dit binnen het project nog geëvalueerd. Zo zou de eindconclusie ook kunnen worden 'toestand voldoet niet, maar geen handelingsperspectief'. In dat laatste geval kan het uitvoeren van biotamonitoring alsnog wel tot de conclusie 'voldoet' leiden.
[22] Dit geldt ook voor 440023 maar niet voor 440020 (beide liggen in NL12_250) en ook het gemiddelde van beide is <0,67 µg/l.

Seleen

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	49	

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
Voor regionale wateren is 99% van de seleen emissies afkomstig uit de af- en uitspoeling van bodems en met deze bronnen kunnen de oppervlaktewater concentraties behoorlijk goed gesimuleerd worden. Op basis hiervan is voorgesteld om een landelijke achtergrondconcentratie op basis van een P_{90}-waarde af te leiden. Deze P_{90}-waarde bedraagt voor Nederland als geheel 0,59 µg/l. Als de seleenconcentratie kleiner is dan deze P_{90}-waarde is in het landelijke project voorgesteld om de toestand als voldoet te beschouwen. Van de 49 normoverschrijdende waterlichamen bij HHNK hebben er 48 een jaargemiddelde concentratie ≤0,59 µg/l (613005 = 0,59 µg/l). De enige uitzondering is locatie 104303 in NL12_120 met een seleen concentratie van 0,77 µg/l. Deze locatie is in 2020 gemonitord met twee hoge concentraties in de winter (1,2 en 1,6 µg/l in feb en nov) en twee lage in de zomer (0,12 en 0,17 µg/l in aug en mei). Dit seizoensverschil met hoge concentraties in de winter treedt overigens bij meer situaties op (bijvoorbeeld ook voor 613005).

In dit waterlichaam NL12_120 zijn de seleen-concentraties niet alleen op locatie 104303 maar ook op locaties 158202 en 002002 gemonitord. Bij deze andere twee locaties ligt de seleen concentratie ruim onder de 0,59 µg/l (3-jarig gem van 158202 is 0,22 en voor 002002 0,37 µg/l), waarmee het gemiddelde van de drie locaties op 0,45 µg/l ligt en ook dit waterlichaam daarmee aan bovengenoemde achtergrondconcentratie van 0,59 µg/l voldoet. Overigens blijft vooralsnog onduidelijk waarom het beeld van locatie 104303 afwijkt van de andere twee locaties. Dit zou nader onderzoek vergen, maar heeft verder geen invloed op het eindoordeel als dit op het gemiddelde van de drie gemonitorde locaties wordt gebaseerd.
Noot: Er zijn nog beleidsmatige keuzes te maken (een al lopend proces). Zo zou men ook kunnen besluiten om de toestand op voldoet niet te laten staan (want er is een normoverschrijding) maar eveneens te concluderen dat er geen handelingsperspectief is.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
Seleen is in het oppervlaktewater goed aan calcium gecorreleerd, waarmee de herkomst zeer waarschijnlijk is gelegen in het seleen, dat in het verleden in de anaerobe ondergrond is opgeslagen en daar momenteel weer uit vrij komt.
Vanuit de formele toetsingen zijn er in 49 waterlichamen normoverschrijdingen vastgesteld. Als echter aanvullend wordt gekeken naar de aangepaste achtergrondconcentratie, die binnen het landelijke project is voorgesteld (op basis van een P_{90}-waarde van 0,59 µg/l), dan voldoen alle 49 waterlichamen aan de goede toestand, waarmee seleen voor HHNK niet langer een normoverschrijdende stof is.

Uranium

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	13	Zie §2.3

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
De antropogene uranium bronnen zijn verwaarloosbaar. Zo bleek uit een eerder onderzoek, dat oude (pre-industriële) sedimenten dezelfde concentraties uranium bevatten als recent sediment (Deltares, 2016). In zeewater is de achtergrondconcentratie 2,7 µg/l en daarmee duidelijk hoger dan de 0,8 µg/l voor zoetwater. Daarom is er in het landelijke project (Deltares & Ecofide, 2024 in prep) een zoutafhankelijke achtergrondconcentratie afgeleid op basis van de P_{90}:
P_{90} (µg/L) = 0,81 + 0,00014 * [chloride (mg/L)]
De toetsing is dan gebaseerd op een vergelijking van de jaargemiddelde concentratie met de berekende normwaarde (=JG-MKN + P_{90}). Hertoetsing met deze aangepaste achtergrondconcentratie leidt echter voor geen enkele locatie tot de conclusie, dat aan de normen wordt voldaan. Dit komt overeen met de verwachting op basis van figuur 2.8 (geen correlatie tussen chloride en uranium).

Van de 13 normoverschrijdende waterlichamen liggen de meeste in de bij het landelijk project gespecificeerde regio (de uitzondering is NL12_120). Voor deze regio geldt een regionaal verhoogde achtergrondconcentratie van 2,4[23] µg/l als P_{90}-waarde, waardoor er aan een waarde van 2,57 µg/l getoetst wordt (JG+AC_{kust} = 0,17+2,4). Vrijwel alle normoverschrijdende locaties voldoen aan deze aangepaste toetsing, waarmee deze waterlichamen aan de goede toestand voldoen. Er zijn twee uitzonderingen:
* locatie 104303 (NL12_120) is een grensgeval en lijkt net buiten het zeekleigebied te liggen. Waterlichaam NL12_120 is echter een groot waterlichaam waardoor er wellicht toch ook enige invloed vanuit het zeekleigebied bestaat. De concentraties liggen (ruim) onder de 2,57 µg/l en het gemiddelde van de drie locaties in dit waterlichaam NL12_120 (naast 104303 ook 158202 en 002002) voldoet aan de standaard beoordeling met JG+AC van 0,97 µg/l, waarmee het waterlichaam aan de goede toestand voldoet.
  Noot. Locatie 104303 had ook voor seleen opvallend hoge concentraties.
* locatie 208006 (NL12_530). In 2021 was de gemiddelde uranium concentratie 2,6 µg/l, waarmee die net boven de toetswaarde van 2,57 µg/l zou liggen (tenzij de waarde van de AC toch nog iets veranderd in de definitieve versie van het rapport). Deze locatie ligt in het zeekleigebied.

In het rechterdeelfiguur van figuur 2.8 zijn de individuele monsters van beide locaties gemarkeerd. De monsters van 104303 liggen exact op de regressielijn tussen calcium en uranium. Dit is een aanvullend argument om te veronderstellen dat deze grensgeval locatie toch onderdeel van het aangeduide gebied kan uitmaken. De monsters van 208006 liggen er iets boven, maar binnen de aanwezige band aan variatie. Daarnaast is dit een brakwater (M30) waardoor de iets hogere uranium concentraties wellicht ook door een zoutinvloed zijn beïnvloed. Het verschil tussen de concentratie van 2,6 en de toetswaarde van 2,57 µg/l is echter zo gering, dat er niet van een overschrijding kan worden gesproken.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
Uranium in het oppervlaktewater is goed aan calcium gecorreleerd, waarmee de herkomst zeer waarschijnlijk is gelegen in het uranium dat in het verleden in de anaerobe ondergrond is opgeslagen en daar momenteel weer uit vrij komt. Vanuit de formele toetsingen zijn er normoverschrijdingen in 13 waterlichamen. Als echter aanvullend wordt gekeken naar de regionale achtergrondconcentratie, die binnen het landelijke project is voorgesteld, dan voldoen alle 13 waterlichamen aan de goede toestand, waarmee uranium voor HHNK niet langer een normoverschrijdende stof is.
Noot. Deze conclusie moet nog wel worden nagelopen op grond van het definitieve rapport, aangezien onder andere de regionale afbakening nog onder discussie is.

[23] Zowel de ruimtelijke afbakening als de bijbehorende P_{90}-waarde is nog onder discussie.

Vanadium

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	6	

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
De af- en uitspoeling van bodems levert de grootste bijdrage aan de vanadium-emissies en met de bekende bronnen kunnen de oppervlaktewater concentraties behoorlijk goed gesimuleerd worden. Op basis hiervan is in het landelijke project voorgesteld om een achtergrondconcentratie af te leiden op basis van een P_{90}-waarde.

Vanadium concentraties hebben een relatie met zout, maar worden net als uranium ook beïnvloed door redoxprocessen. Natuurlijk vanadium is, mede door zout water, in de loop van de tijd opgeslagen in de ondergrond (vanadium is immobiel onder zuurstofloze omstandigheden). Als zuurstof door menselijke ingrepen dieper in de bodem kan indringen, wordt vanadium antropogeen gemobiliseerd. Aangezien het resultante effect (mobilisatie of immobilisatie) onduidelijk is, wordt in het landelijke project vooralsnog voorgesteld om een P_{90}-waarde aan te houden als achtergrondconcentratie. Voor de kop van N-Holland incl. Texel bedraagt deze 8,5 µg/l. Alle zes normoverschrijdende waterlichamen liggen in dit gebied. De jaargemiddelde concentraties kunnen daarom worden getoetst aan een waarde van 12 µg/l (JG + AC = 3,5 + 8,5 µg/l). Voor vijf van de zes normoverschrijdende waterlichamen zijn de jaargemiddelde concentraties ≤12 µg/l en wordt geconcludeerd dat de toestand voldoet (*Noot*. De V-concentratie van locatie 804008 (NL12_610) is exact 12 µg/l). De uitzondering is NL12 _550 met een jaargemiddelde concentratie van 14 µg/l op locatie 280113 in 2023. In augustus was de concentratie het laagst (3,5 µg/l) en in de andere drie maanden (Feb, Mei, Nov) varieerde die tussen de 16 en 21 µg/l. Dit seizoenspatroon wordt echter niet bij alle locaties aangetroffen en kan dus op toeval berusten.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief

Voor de Kop van N-Holland geldt een regionaal verhoogde achtergrondconcentratie. Vijf van de zes normoverschrijdende waterlichamen voldoen aan de vastgestelde toetswaarde (JG + regionale AC = 3,5 + 8,5 = 12 µg/l), waarmee de toestand als voldoet wordt beoordeeld. De uitzondering is NL12_550 (280113). Voor dit waterlichaam voldoet de toestand niet en kan met een lokale analyse het handelingsperspectief beoordeeld worden. In zo'n lokale analyse kan men de volgende aspecten meenemen:

* Stel dat deze verhoogde concentraties door een antropogene bron zijn veroorzaakt, dan moet men zoeken naar een antropogene activiteit, die gelijktijdig arseen, molybdeen en vanadium emitteert (zijn aan elkaar gecorreleerd) en liefst zodanig dat de concentraties in augustus opvallend veel lager zijn. Dit moeten dan bronnen zijn die tot nu toe niet in de emissieregistratie zijn opgenomen, want de bijdrage van de bekende bronnen is klein.
* De locatie is tot nu toe in één jaar vier keer bemonsterd. Om tot een betere duiding van de situatie te komen zou zowel de ruimtelijke als temporele variatie beter in beeld moeten komen. Dat betekent de monitoring herhalen (liefst met een zo volledig mogelijk pakket aan andere metalen en basale waterkwaliteitsparameters) en in de ruimte uit te breiden. Het waterlichaam zelf is niet al te lang, maar er wordt aangeraden om vanadium concentraties ook te bepalen op een of enkele locaties in de binnenkomende waterstromen.
* Voor vanadium is de meest waarschijnlijke herkomst nog steeds een natuurlijke. Mogelijke kwellocaties in het herkomstgebied van het water, verdienen specifieke aandacht.

Zilver

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	29	

Directe antropogene bronnen
In de emissieregistratie zijn alleen enkele gegevens over de zilver-emissie vanuit al dan niet gezuiverd rioolwater beschikbaar[24]. De af- en uitspoeling van bodems mist, terwijl dit waarschijnlijk wel een zeer belangrijke emissieroute is. Zo werd in onderzoek voor waterschap Hollandse Delta geconcludeerd dat met name brakke kwel een belangrijke bijdrage levert aan de verhoogde zilverconcentraties in het oppervlaktewater (B-Ware & Ecofide, 2022).

Landelijk project achtergrondconcentraties van normoverschrijdende metalen (concept rapport)
Vanuit de landelijk beschikbare meetgegevens bleken de rapportagegrenzen nog nauwelijks onder de norm te liggen en was er onvoldoende duidelijkheid over de huidige toestand. Regionale variaties in de natuurlijke achtergrondconcentraties zijn daarom in dit project niet beschouwd.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
-binnen het KRW-impuls project is geconstateerd, dat er voor 5 stoffen (waaronder zilver) nog onvoldoende kennis over de bronnen en routes bestaat om nu al te besluiten of en zo ja welke maatregelen mogelijk zinvol kunnen zijn. HHNK wordt aanbevolen dit traject te volgen en waar mogelijk er inhoudelijk aan bij te dragen.

Zink

	Aantal WL	Opmerking
Toetsing 2024: aantal normoverschrijdende waterlichamen	4	
Acties rondom normstelling		Formaliseren 2de lijns toetsing op MAC-MKN

Nadere beoordeling
Landelijk is nu voorgesteld om ook een 2de-lijnscorrectie op de MAC-MKN in te voeren (zie hoofdstuk 2). Voor alle vier normoverschrijdende waterlichamen blijkt dat na zo'n correctie rekenkundig aan de MAC-MKN wordt voldaan. Deze 2de lijnstoetsing is echter alleen voor zoetwater gevalideerd en dus niet geldig voor de drie brakke waterlichamen NL12_510, _520 en _620 als mede voor de brakke locatie 440020 in het als zoetwater getypeerde waterlichaam NL12_250.

HHNK wordt daarom geadviseerd om
i) de gekozen locatie te evalueren (brakke locatie in een overig zoet waterlichaam; NL12_250)
ii) de huidige monitoring voor te zetten en na 2025 te evalueren voor mogelijke aanvullende acties
iii) via een nadere analyse na te gaan of er actuele antropogene bronnen zijn die gereduceerd kunnen worden (NL12_620). Deze actuele, antropogene bronnen bestaan vooral uit RWZI-effluent (25%), ongezuiverd rioolwater (24%) en verkeer & vervoer (20%; vooral antifouling). Verder blijkt dat de belasting van het rioolwater hoofdzakelijk van consumenten afkomstig is (71%), waarbij deze post grotendeels uit huishoudelijk afvalwater bestaat (80%). De resterende 20% bestaat vooral uit corrosie van bladzink op woningen en in beduidend mindere mate uit corrosie van verzinkt staal en het afsteken van vuurwerk. Reductie van deze bronnen vergt maatregelen op landelijke schaal. Dit geldt ook voor eventuele aanvullende besluitvorming rondom het gebruik van (zinkhoudende) antifouling.

Conclusies, acties en/of handelingsperspectief
- NL12_250: nagaan of de brakke locatie 440020 niet beter kan worden vervangen door een zoetwater locatie passend bij het watertype van het waterlichaam. Toestand voldoet dan waarschijnlijk.
- NL12_510 en _520: continuering van de monitoring in 2025 en daarna toestand evalueren.
- NL12_620: onderzoek naar mogelijke reductie van antropogene bronnen

[24] Zilver kent veel verschillende toepassingen, zoals fotografische industrie, printplaten en supergeleiders. Daarnaast wordt zilver veel toegepast vanwege de antibacteriële eigenschappen (farmacie, waterzuivering, ontsmetting). De in de emissieregistratie opgenomen bronnen vormen een onderschatting van de verwachte emissies.

5 Doelbereik en handelingsperspectief

In Nederland zijn er voor 22 metalen normen voor oppervlaktewater vastgesteld. Bij HHNK wordt door tien metalen in alle 51 waterlichamen aan de normen voldaan (eindoordelen van de toetsingen in juli 2024). De twaalf resterende metalen zijn arseen, barium, boor, kobalt, lood, nikkel, seleen, tin, uranium, vanadium, zilver en zink. Voor ieder hiervan is nagegaan of er in 2027 aan de normen kan worden voldaan en zo ja, wat hiervoor nodig is. Deze zijn hieronder in drie groepen besproken en in tabel 5.1 samengevat.

Groep 1)	**Kans op doelbereik in 2027**	**zeer groot**
	Maatregel	**evalueer de monitoring**
Betreft: Lood, nikkel, tin		

Benodigde maatregelen:

* **Controleer en corrigeer bestaande toetsingen**

  Het gaat hierbij om (zie §2.3 voor details):

  i) controle van alle situaties, waarbij de gemonitorde locaties een ander watertype hebben dan dat van het waterlichaam als geheel. Voor metalen zijn vooral verschillen tussen zoete en brakke watertypen relevant, omdat het zoutgehalte voor allerlei metalen invloed op de biobeschikbaarheid en toetsingen heeft. Specifiek relevant voor nikkel in 475104 (NL12_280).

  Noot. Dit gaat puur om het gebruik van de monitoringsresultaten bij het uitvoeren van een KRW-beoordeling en is niet alleen voor milieuverontreinigingen maar ook voor allerlei ecologische parameters relevant. Dit wil niet zeggen dat de monitoring om andere redenen heel zinvol kan zijn (bijv. om eventuele veranderingen in de vracht aan verontreinigingen vast te stellen).

  ii) ontbrekende 2de-lijnstoetsingen. Geldt voor lood op locatie 440023 en nikkel op locaties 517017 en 531002. In de ruwe meetgegevens zijn de benodigde gegevens wel aanwezig. Na correctie voldoet de toestand van lood in NL12_250 en die van nikkel in NL12_260 en _340.

  Deze controlepunten zijn ook relevant voor:

  -arseen in NL12_520, _630 en _810. Toestand voldoet in alle drie de waterlichamen;

  -uranium in NL12_430, _490, _530 en _540. Toestand voldoet niet.

  -uranium in NL12_340 en _620. Toestand voldoet.

  -vanadium in NL12_110. Toestand voldoet niet.

* **Voer de monitoring uit met een voldoende lage rapportagegrens**

  Dit betreft tin, waar de toestand in alle 51 waterlichamen als 'niet toetsbaar' is beoordeeld, terwijl de huidige analytische methoden een voldoende lage rapportagegrens al wel kunnen realiseren. In de toetsingen van juli 2024 zijn voor tin nergens in Nederland normoverschrijdingen vastgesteld. Er zijn geen redenen om aan te nemen, dat die situatie bij HHNK anders is.

Tabel 5.1 Samenvattend overzicht van doelbereik 2027 en benodigde vervolgacties.

		Waterlichamen >norm		Vervolgactie	Verwachte toestand 2027
		Toetsing juli 2024	Huidige project[1)]		
Groep 1	Lood	1	0	evalueer monitoring	<norm
	Nikkel	3	0	evalueer monitoring	<norm
	Tin	51* niet toetsbaar	0	gebruik lagere rapportagegrens	<norm
Groep 2	Seleen	49	0	hertoets met P_{90}-waarde	<norm
	Uranium	11	0	hertoets met P_{90}-waarde	<norm
	Barium	1	1	" inclusief 1 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
	Boor	18	6	" inclusief 6 lokale analyses	waarschijnlijk <norm
	Kobalt	43	3	" inclusief 3 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
	Vanadium	5	1	" inclusief 1 lokale analyse	waarschijnlijk <norm
Groep 3	Arseen	51	48	reduceer antropogene bronnen	klein en/of onzeker
	Zink	5	4	reduceer antropogene bronnen	klein en/of onzeker
	Zilver	29	29	(landelijke) bronnenanalyse	klein en/of onzeker
	Totaal	**216**	**92 (-57%)**		

[1)] deels afhankelijk van door HHNK nog uit te voeren controles en evaluaties

Groep 2) Kans op doelbereik in 2027 groot en ten minste aanzienlijke verbetering huidige toestand
Maatregel pas de voorstellen vanuit het landelijk metaalproject toe

Noot. Het landelijke project naar de regionale achtergrond concentraties van metalen is momenteel in een afrondende fase, maar het eindrapport is nog niet beschikbaar en deels zijn er ook nog beleidsmatige keuzes te maken[25]. HHNK wordt aanbevolen om de huidige bevindingen op basis van het nog te verschijnen eindrapport te evalueren.

Betreft: Seleen, uranium, barium, boor, kobalt, vanadium

Benodigde maatregelen:

* **hertoets bestaande meetgegevens met de P_{90}-waarde als achtergrond concentratie**
  Deze optie is van toepassing op metalen, waarvoor de omvang van de actuele antropogene emissies minder dan 10% van de totaal bekende emissies uitmaakt (zie hoofdstuk 4 voor details):
  Dit geldt voor seleen en uranium; toestand voldoet.
* **hertoets bestaande meetgegevens met de P_{90}-waarde als achtergrond concentratie én voer een lokale analyse uit voor enkele resterende normoverschrijdende situaties**
  Dit geldt voor barium, boor, kobalt, vanadium; toestand kan waarschijnlijk overal voldoen.
  Kern van zo'n lokale analyse is dat de waterbeheerder nog eens kritisch naar de situatie kijkt om zo na te gaan of er niet toch nog ergens een antropogene bron over het hoofd wordt gezien of andersom geredeneerd of er voldoende argumenten zijn om de aangetroffen concentraties toe te schrijven aan natuurlijke achtergrond concentraties. Werken met een P_{90}-waarde betekent tenslotte dat ook waarden boven deze P_{90}-waarde nog best aan dezelfde, natuurlijke bron zijn te wijten. Alleen wordt er een extra controle voor gevraagd. Daarmee kan zo'n lokale analyse tot drie mogelijke uitkomsten leiden:
  i) er zijn geen (betekenisvolle) antropogene bronnen en juist wel aanwijzingen dat er sprake is van natuurlijke achtergrond. Conclusie: toestand voldoet.
  ii) de aanwezige verontreiniging is het gevolg van historische antropogene emissies, die niet op korte termijn kunnen worden opgeruimd (dit gaat vooral om verhoogde concentraties in grondwater bijvoorbeeld als gevolg van de intrek van nitraat op zandgronden). Conclusie: toestand voldoet niet, maar geen handelingsperspectief
  iii) er zijn actuele antropogene bronnen. Conclusie: toestand voldoet niet, en antropogene bronnen moeten worden verminderd. Na afronding van het landelijke project wordt in een CoP afgestemd op welke manier en tot op welk detailniveaus zo'n lokale analyse moet worden uitgevoerd.
  Voor barium, boor, kobalt en vanadium is het aandeel aan antropogene bronnen klein (<10%) en geven de data-analyses in hoofdstuk 3 al verschillende aanwijzingen dat natuurlijke achtergrond concentraties ook bij

[25] Dit betreft bijvoorbeeld een situatie met een normoverschrijding, terwijl de huidige concentraties kleiner is dan de achtergrond concentratie. Keuze 1) Toestand voldoet. Keuze 2) Toestand voldoet niet, maar geen handelingsperspectief. In voorliggend rapport uit gegaan van keuze 1, aangezien de KRW aangeeft dat het waterkwaliteitsdoel niet scherper hoeft te zijn dan de bestaande natuurlijke achtergrondconcentratie.

de resterende normoverschrijdingen een rol spelen. Op basis daarvan is de verwachting dat de toestand na afronding van zo'n lokale analyse (in de meeste gevallen) als voldoet kan worden beoordeeld.

* **hertoets na afronding normevaluatie kobalt**
  RIVM is momenteel bezig met een evaluatie van de normstelling van kobalt. Als deze evaluatie is afgerond, wordt HHNK aanbevolen om de monitoringsresultaten van kobalt aan de (eventueel) aangepaste normen te toetsen en nogmaals te bezien of er nog aanvullende lokale analyses nodig zijn. De (dan beschikbare) eerste resultaten voor kobalt vanuit biotamonitoring kunnen hierbij worden meegenomen.

Groep 3) Kans op doelbereik in 2027	**klein of onzeker**
Maatregel	**inventariseer en/of reduceer antropogene bronnen**
Betreft: Arseen, zink, zilver	

Benodigde maatregelen:

* **Zilver: landelijke bronnen analyse**
  Voor zilver is de toestand op veel aspecten nog onduidelijk. Zo kon zilver in het landelijke metaal project nog niet worden meegenomen, omdat het aandeel metingen boven de rapportagegrens nog te klein was voor het afleiden van betrouwbare achtergrond concentraties. Verder is er nog onvoldoende inzicht in (natuurlijke en/of antropogene) bronnen. Binnen het landelijke KRW-impuls programma is al benoemd dat een bronnenanalyse voor zilver op landelijke schaal benodigd is. HHNK kan aan de kennisleemtes bijdragen door bijvoorbeeld het uitvoeren van nader onderzoek op enkele locaties. Dit is wellicht ook te combineren met eventuele aanvullende metingen voor de hierboven al genoemde lokale analyses van andere metalen. Ook voor zilver wordt namelijk verwacht dat bodemprocessen een belangrijke rol in de emissies kunnen vormen.
* **Arseen: reduceer antropogene bronnen**
  Van de totale emissie is circa 40% toe te schrijven aan actuele antropogene bronnen, namelijk al dan niet gezuiverd rioolwater en de (mogelijke) aanwezigheid van gewolmaniseerd hout. Hierdoor dient de natuurlijke achtergrond concentratie op een P_{10}-waarde gebaseerd te worden (dit is nu al het geval; huidige AC verandert dus niet), terwijl er vermoedens zijn dat bij een groot deel van de normoverschrijdingen in N-Holland natuurlijke achtergrond concentraties een belangrijke rol spelen. Voor arseen is daarmee de hoofdboodschap dat de antropogene bronnen gereduceerd moeten worden, want als dat is gelukt kan er voor de achtergrond concentratie een P_{90}-waarde gebruikt worden. De werkelijkheid is echter meer divers:
  - als een waterbeheerder kan aantonen, dat een bepaald waterlichaam niet wordt beïnvloed door gewolmaniseerd hout noch rioolwater, zal het arseen (hoofdzakelijk) van natuurlijke oorsprong zijn en voldoet de toestand.
  - voor zover bekend heeft geen enkele waterbeheerder een goed overzicht van waar in het watersysteem noch gewolmaniseerd hout als oeverbeschoeiing aanwezig is en dit materiaal is in het veld ook niet zomaar te herkennen. Steekproefsgewijs chemische analyses op houtmonsters uitvoeren (of watermonsters bij de beschoeiing en iets verderop in de watergang) zou in theorie kunnen werken, maar is omvangrijk en weinig effectief.
    Noot: Gewolmaniseerd hout is tot 2000 geplaatst en heeft een levensduur van 40 jaar. Als al het gewolmaniseerd hout aan het einde van de levensduur wordt verwijderd, zou de bron in 2040 verdwenen zijn. Als het gewolmaniseerd hout blijft staan en wegrot, kan er echter nog een grote hoeveelheid arseen uit vrijkomen.
  - de emissieregistratie geeft aan dat 88% van het arseen in rioolwater afkomstig is uit huishoudelijk afvalwater. Onduidelijk is echter of een deel hiervan toch een gevolg kan zijn van de af- en uitspoeling van bodems.
  - net zoals voor zilver is binnen het landelijke KRW-impuls programma al benoemd dat ook voor arseen aanvullend onderzoek naar herkomst en bronnen nodig is.
  - in 2025 zal het RIVM de normstelling evalueren en dit kan dus logischerwijs ook gevolgen hebben voor het oordeel over de huidige toestand.
  - aanvullend op de voorgenomen landelijk bronnenanalyse zou de inzet van Nader Onderzoek kunnen helpen, waarbij HHNK op voorhand enkele denklijnen zijn mee te geven:
    * inventariseer of er waterlichamen zijn zonder houten oeverbeschoeiing en die niet door (al dan niet gezuiverd) rioolwater worden belast. Voer chemische analyses uit om grip te krijgen op de hoogte van de arseen concentraties en de mogelijke herkomst (bijv. ook monsters uit grondwater en drainagewater meenemen en kijk naar seizoensvariatie). Kijk of hiermee (op ordegrootte) een sluitende balans kan worden gemaakt. Doe dit liefst bij enkele verschillende bodemtypen (bijv. met en zonder kwel; Van Dijk et al, 2022).
    * bepaal (kwantitatief en anders kwalitatief) voor ieder waterlichaam in welke mate deze door rioolwater

(RWZI-effluent en/of ongezuiverd rioolwater als regenwater riolen of overstorten) is beïnvloed en bepaal of deze beïnvloeding in de monitoringsgegevens valt terug te zien.
* overweeg het steekproefsgewijs analyseren van het arseengehalte in oeverbeschoeiing. Als de trefkans voor sterk verhoogde arseen concentraties laag is, kan deze beschoeiing niet voor het beheergebied als geheel een relevante factor zijn.
* overweeg om dit gezamenlijk met andere waterbeheerders te doen, waardoor niet iedereen alles hoeft te doen.

* **Zink: reduceer antropogene bronnen**

Van de totale emissie is circa 80% toe te schrijven aan actuele antropogene bronnen, waarbij rioolwater (40%) en antifouling (30%) de grootste bijdrage leveren. Landelijk gezien is het verminderen van deze bronnen dan ook de meest logische, noodzakelijke maatregel. Ook in dit geval is de werkelijkheid divers:

- Het thans beschikbare landelijke beeld van normoverschrijdingen voor zink is waarschijnlijk een overschatting. Het invoeren van de 2de lijnstoetsing op de MAC-MKN van zink zal het aantal normoverschrijdingen flink doen afnemen, waarmee zink wellicht niet langer een landelijk maar een regionale probleemstof vormt.
- Van het zink in rioolwater is het merendeel afkomstig uit huishoudelijk afvalwater. De resterende 20% bestaat vooral uit corrosie van bladzink op woningen en in beduidend mindere mate uit corrosie van verzinkt staal en het afsteken van vuurwerk. Dit vergt maatregelen op landelijke schaal, terwijl zink wellicht niet overal een even groot probleem vormt (zie hierboven).
- Uit §2.3 blijkt dat bij de vier resterende normoverschrijdende waterlichamen het al dan niet aanwezig zijn van zoutwater een belangrijke invloed op de toetsresultaten heeft. Dit komt vooral doordat de 2de lijnstoetsingen voor zink (en dus ook de nieuwe voor de MAC-MKN) alleen voor zoetwater zijn gevalideerd en bij brakwater dus niet mogen worden toegepast:
  * Waterlichaam NL12_250 is als zoetwater getypeerd (M10), maar de locatie 440020 (waar de normoverschrijding in is vastgesteld) is als brakwater getypeerd (M30; open verbinding met Noordzeekanaal). HHNK wordt aanbevolen om na te gaan of de brakwater locatie 440020 niet beter kan komen te vervallen en vervangen worden door bijvoorbeeld 440023, zodat de locatie en het waterlichaam eenzelfde watertype hebben
  * De drie resterende waterlichamen NL12_510, _520 en _620 zijn alle drie als brakwater getypeerd (M30 of M31). Vanuit de (evengoed) uitgevoerde 2de-lijnstoetsingen op de MAC-MKN (voldeden allen), lijken de ecologische risico's gering, maar kan het oordeel 'voldoet' formeel niet worden toegekend. Voor NL12_510 en _520 zou continuering van de monitoring in 2025 wellicht soelaas bieden, aangezien er in de laatste twee jaar (2022 en 2023) aan de JG- en MAC-MKN werd voldaan (of wellicht al in 2024 al er ook dit jaar is gemonitord). Voor NL12_620 is er ook in 2023 nog een overschrijding van de MAC-MKN vastgesteld.
  * Het nemen van maatregelen om de emissies van zink te reduceren zouden zich dan primair op waterlichaam NL12_620 moeten richten. De nog te beantwoorden vraag is dan echter of dit waterlichaam afwijkt door de verhoogde zinkconcentraties dan wel door de aanwezigheid van brakwater. Ook dit kan in een lokale analyse worden beoordeeld.

6 Referenties

B-WARE & Ecofide (2022). Zware metalen in het oppervlaktewater. Een studie naar concentraties van zware metalen in oppervlakte-, grond- en drainagewater, de (water)bodem, normoverschrijdingen en potentiële bronnen in het beheergebied van waterschap Hollandse Delta. Rapportnummer RP-19.204.22.62.

Deltares (2016). Nadere beschouwing achtergrondconcentraties oppervlaktewater. Met aanvulling van kobalt in sediment. Rapportnr. 1220098-017.

Deltares & Ecofide (2024, in prep). Hoofdrapport Regionale variaties achtergrondconcentraties metalen in oppervlaktewater. Deltares-projectnummer 11209246-009.

Diener A, T Neumann, U Kramer & D Schild (2012). Structure of selenium incorporated in pyrite and mackinawite as determined by XAFS analyses. J Contam Hydrol. 15;133:30-9.

Ecofide (2015). De chemische toestand van de waterlichamen van Wetterskip Fryslân. Toetsingen van de jaren 2011-2014. Uitgevoerd in opdracht van het Wetterskip Fryslân. Rapportnr. 73.

Ecofide (2023a). Schoon water voor Rijn-West. Analyse handelingsperspectief probleemstoffen. Uitgevoerd in opdracht van de werkgroep Stoffen van Rijn-West. Rapportnr. 169.

Ecofide (2024a). Meetplan biota-analyses. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Rapportnummer 190.

Ecofide (2024b). Schoon water voor Rijn-Oost. Analyse handelingsperspectief probleemstoffen. In opdracht van de werkgroep Stoffen van Rijn-oost. Rapportnummer 169 (in concept).

Ecofide (2024c). Handelingsperspectief normoverschrijdende stoffen bij waterschap Hollandse Delta. Rapportnummer 191 (in concept).

Geochem research (2003). Natuurlijk voorkomen, mobiliteit en industrieel gebruik van "exoten" voorkomend in de Nederlandse bodem (Br, I, Ba, Sb, V, Sn, Co, Mo, Se). Uitgevoerd in opdracht van Service Centrum Grond.

ICBR (2009). Afleiding van milieukwaliteitsnormen voor Rijnrelevante stoffen. Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn. Rapportnr. 164.

Qafoku, NP, RK Kukkadapu, JP McKinley, BW Arey, SD Kelly, C Wang, CT Resch & PE Long (2009). Uranium in framboidal pyrite from a naturally bioreduced alluvial sediment. Environ. Sci. Technol. 43: 8528–8534.

Royal HaskoningDHV (2020). Achtergrondconcentraties van zware metalen en ammonium in Flevoland. Uitgevoerd in opdracht van Waterschap Zuiderzeeland.

Schutte, DA (2023). Wieringermeerpolder. Zoet-zout scheiding. Stage-verslag voor HHNK.

Scott, TB, O Riba-Tort & GC Allen (2007). Aqueous uptake of uranium onto pyrite surfaces; reactivity of fresh versus weathered material. Geochimica et Cosmochimica Acta 71 (21): 5044–5053.

STOWA (2017). Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen. STOWA-rapport 2017-05.

STOWA (2022). Meetcampagne biotamonitoring in regionale wateren. STOWA rapport nummer 2021.42. Geüpdate versie 2022.

Van Dijk, G, AHW Koks, JF Postma & AJP Smolders (2022). Zware metalen in het oppervlaktewater. Een studie naar concentraties van zware metalen in oppervlakte-, grond- en drainagewater, de (water)bodem, normoverschrijdingen en potentiële bronnen in het beheergebied van waterschap Hollandse Delta. B-WARE rapportnr. RP-19.204.22.62.

Vink, J, B van der Grift & C. Schmidt (2010). Arseen in het lokale grondwater van Nederland en indelingen voor regionale beoordeling. In opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst; Deltares rapport 1203842-000.

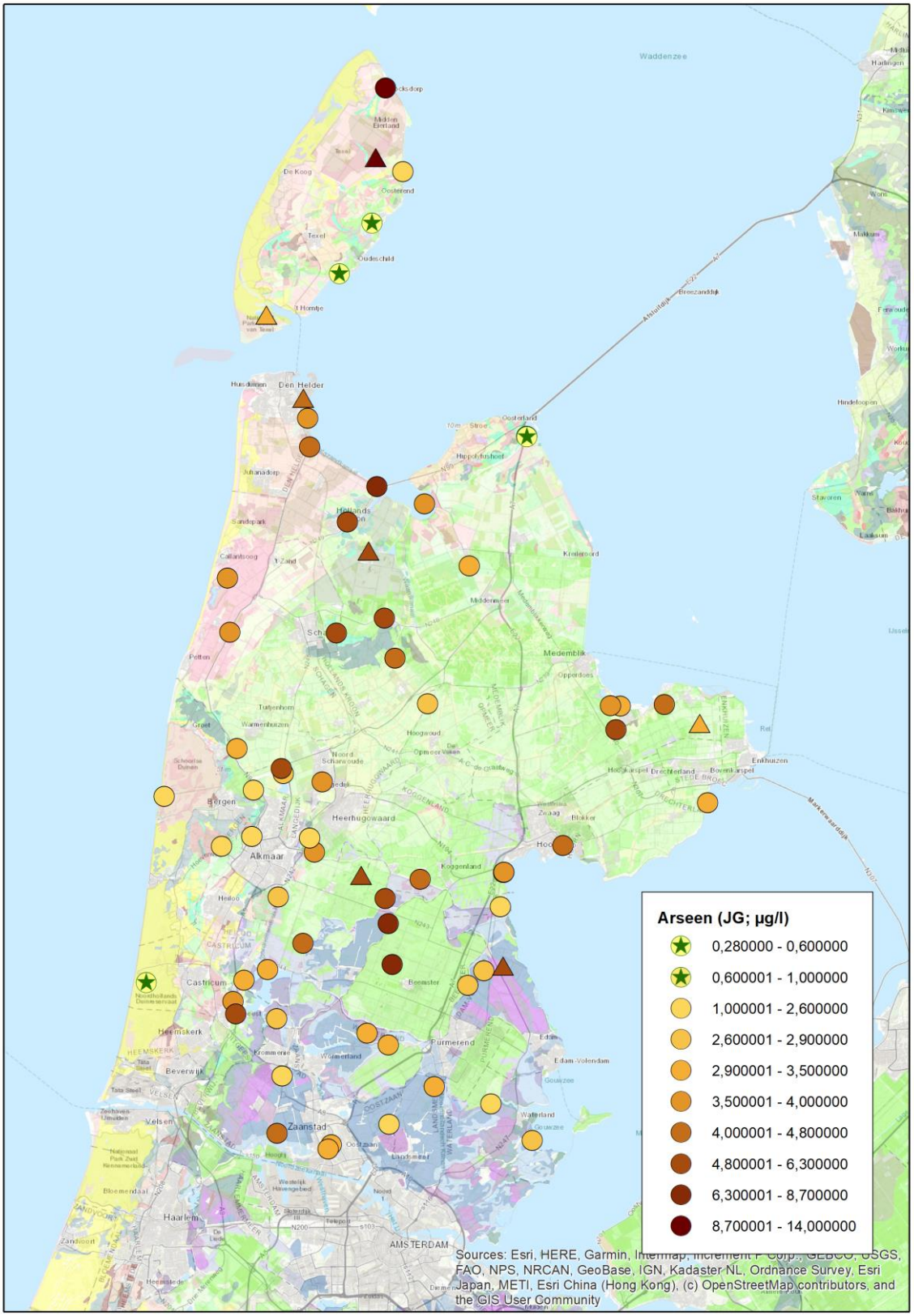
7 Bijlagen

Bijlage 1 Ruimtelijk beeld van de 10 normoverschrijdende metalen

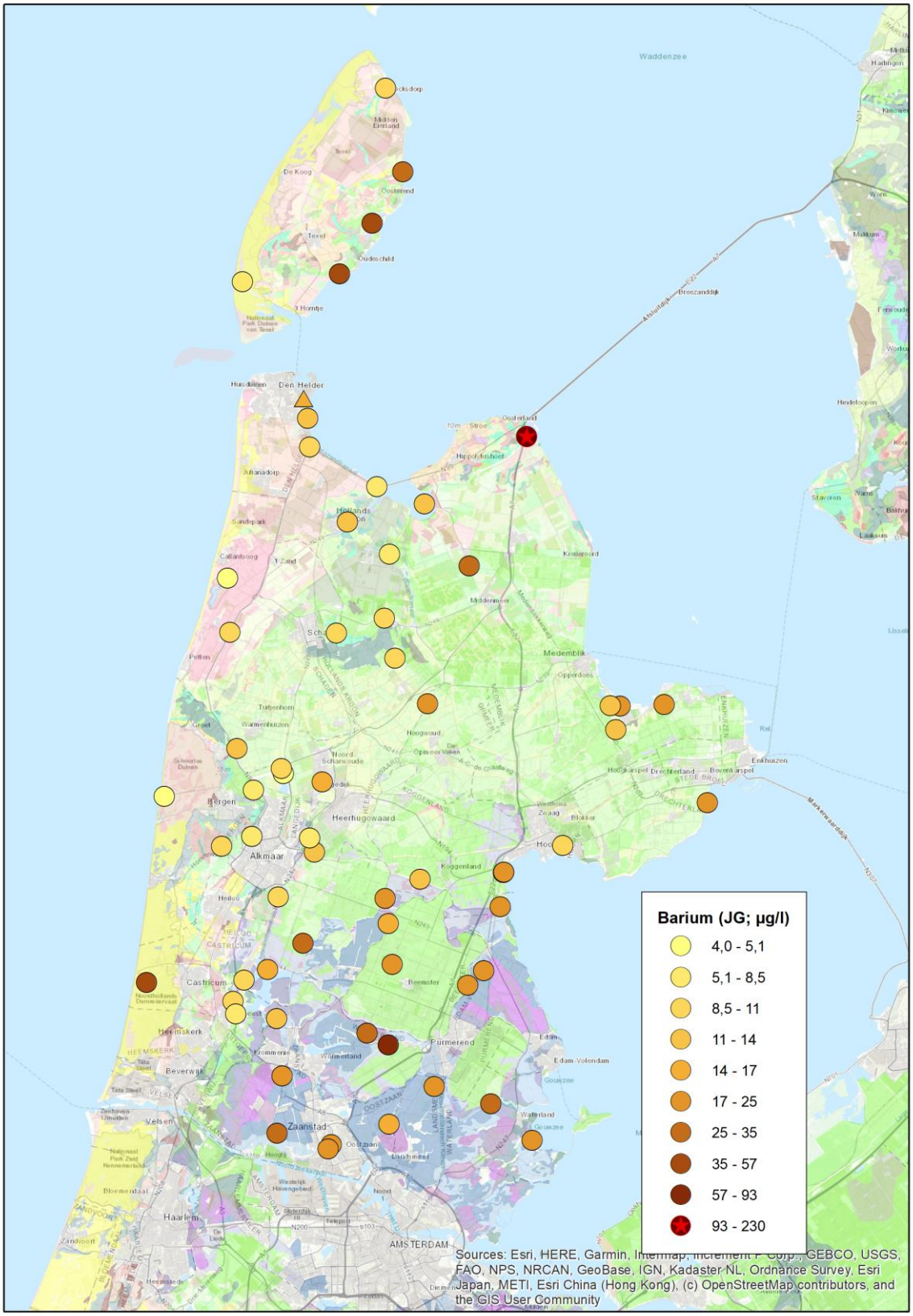
Bijlage 1 Ruimtelijk beeld van de 10 normoverschrijdende metalen

Ruimtelijke variatie in de locatie gemiddelde concentraties (µg/l; nf). De 63 locaties zijn weergegeven als cirkels. Eventueel aanwezige gegevens van andere locaties zijn opgenomen als driehoeken. Met sterretjes in de cirkel is voor sommige metalen ook het oordeel over de huidige toestand aangeduid. Bij metalen met weinig normoverschrijdingen duiden de rode sterren op locaties met een normoverschrijding. Voor een metaal met veel normoverschrijdingen duiden de groene sterren op locaties waar aan de normen wordt voldaan. Deze toestand betreft de eerste lijnstoetsing. Eventueel afwijkende oordelen op basis van de 2de lijnstoetsing (Ni, Zn) zijn in de hoofdtekst toegelicht.

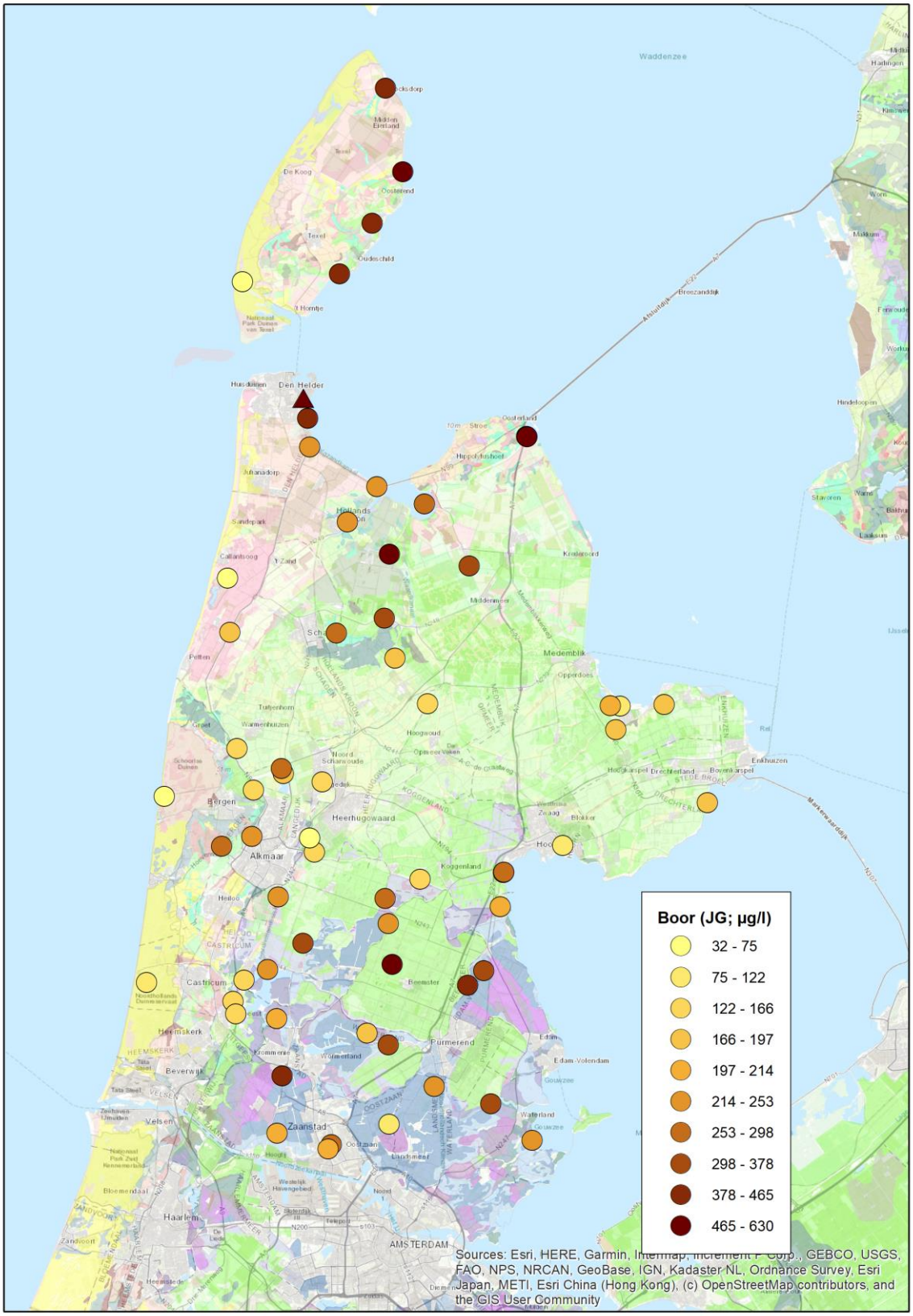
Arseen


Arseen (JG; µg/l)
0,280000 - 0,600000
0,600001 - 1,000000
1,000001 - 2,600000
2,600001 - 2,900000
2,900001 - 3,500000
3,500001 - 4,000000
4,000001 - 4,800000
4,800001 - 6,300000
6,300001 - 8,700000
8,700001 - 14,000000
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Zaanstad
Haarlem
AMSTERDAM
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

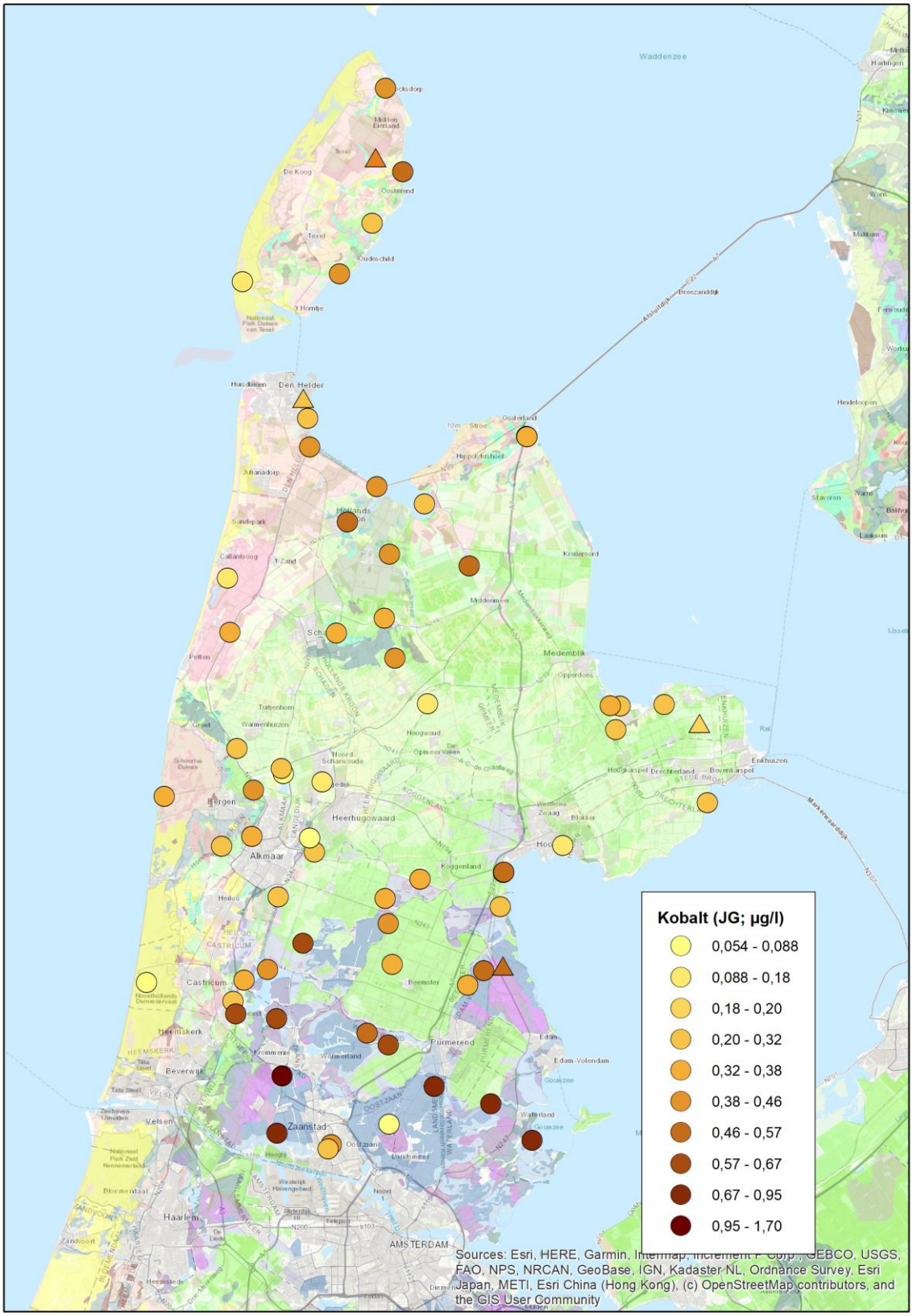
Barium


Barium (JG; µg/l)
4,0 - 5,1
5,1 - 8,5
8,5 - 11
11 - 14
14 - 17
17 - 25
25 - 35
35 - 57
57 - 93
93 - 230
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Zaanstad
AMSTERDAM
Haarlem
Purmerend
Medemblik
Enkhuizen

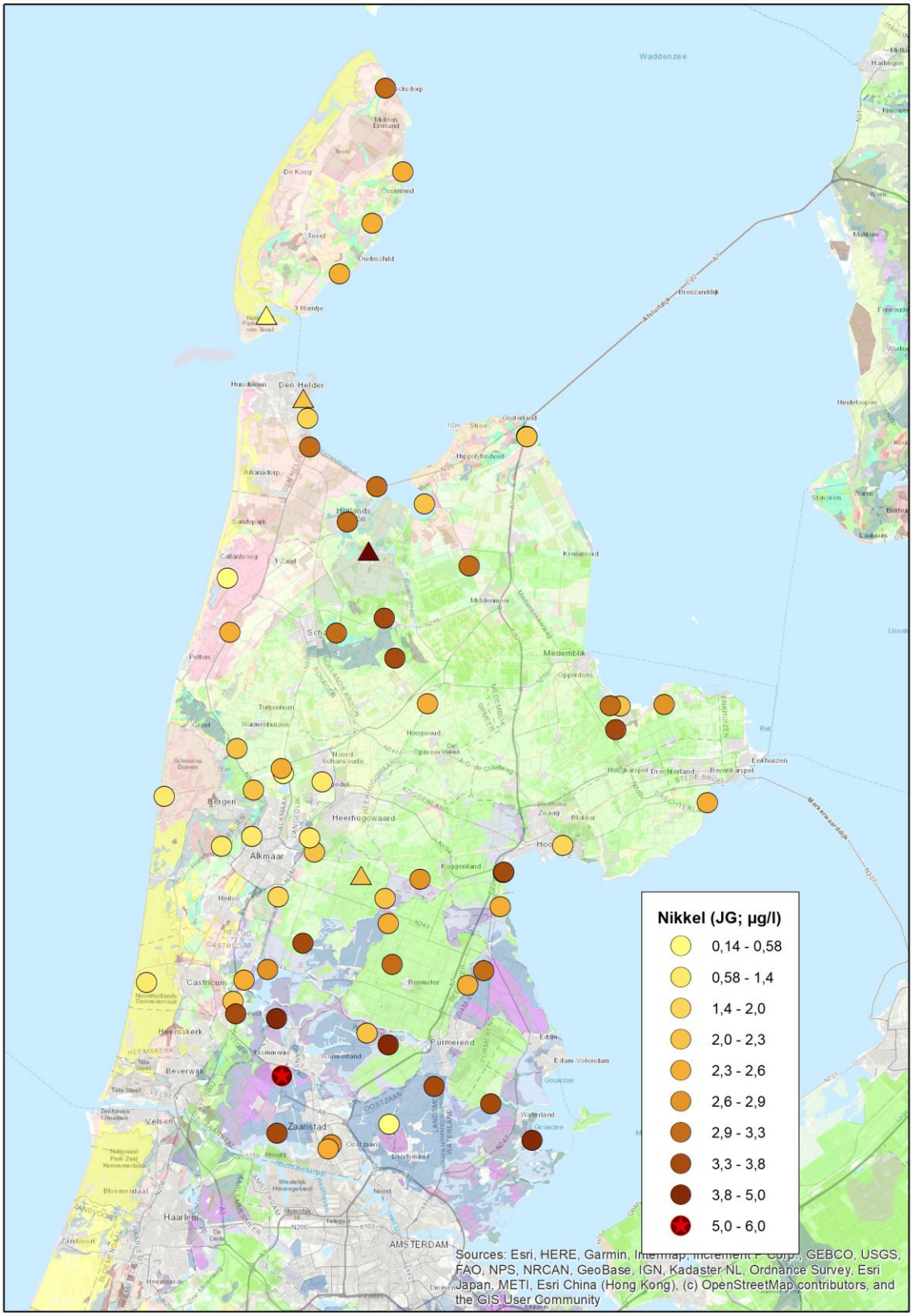
Boor


Boor (JG; µg/l)
32 - 75
75 - 122
122 - 166
166 - 197
197 - 214
214 - 253
253 - 298
298 - 378
378 - 465
465 - 630
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Zaanstad
Haarlem
AMSTERDAM

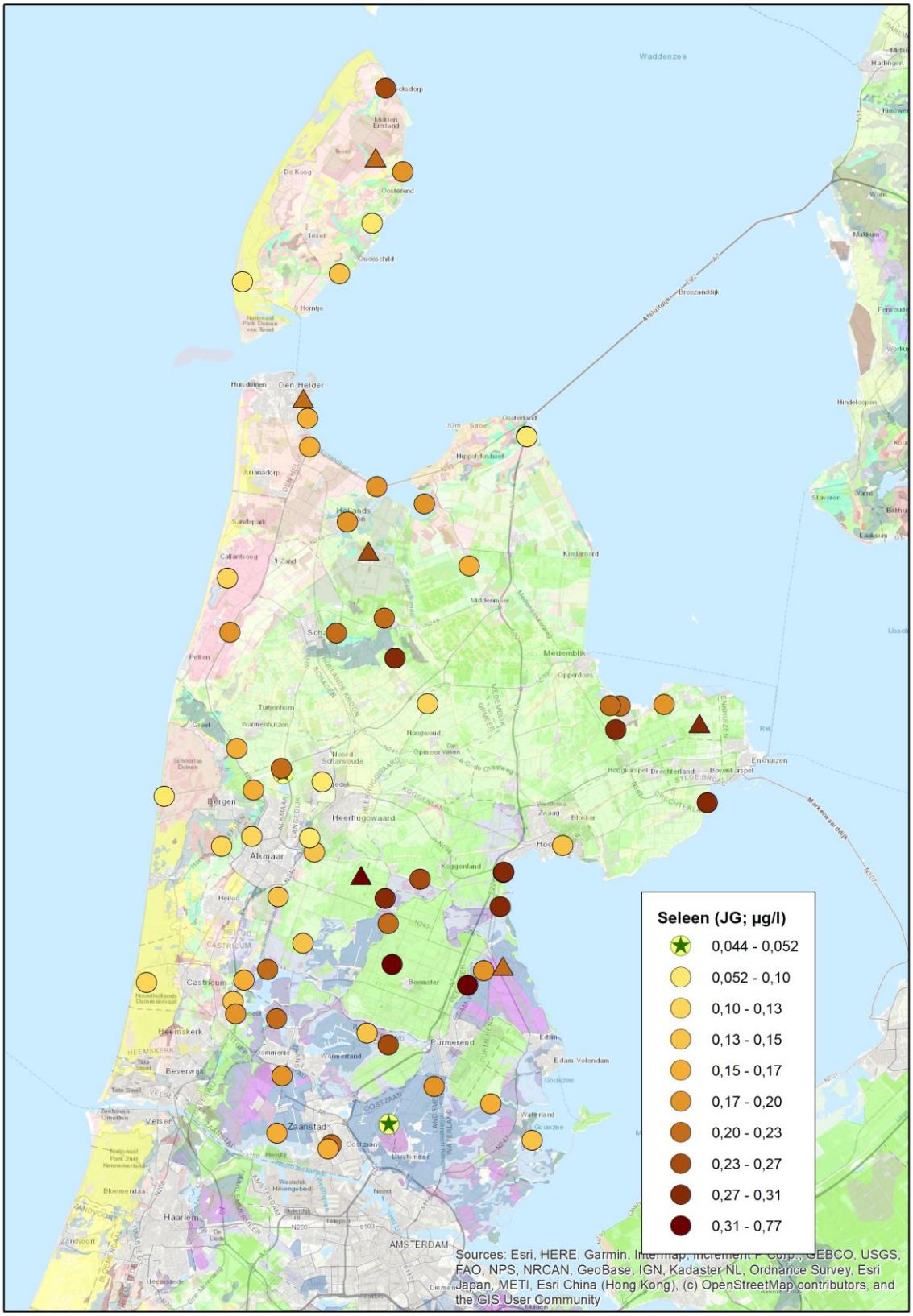
Kobalt


Kobalt (JG; µg/l)
0,054 - 0,088
0,088 - 0,18
0,18 - 0,20
0,20 - 0,32
0,32 - 0,38
0,38 - 0,46
0,46 - 0,57
0,57 - 0,67
0,67 - 0,95
0,95 - 1,70
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Bergen
Heerhugowaard
Medemblik
Enkhuizen
Hoorn
Castricum
Heemskerk
Beverwijk
Velsen
Zaanstad
Purmerend
Edam
Haarlem
AMSTERDAM

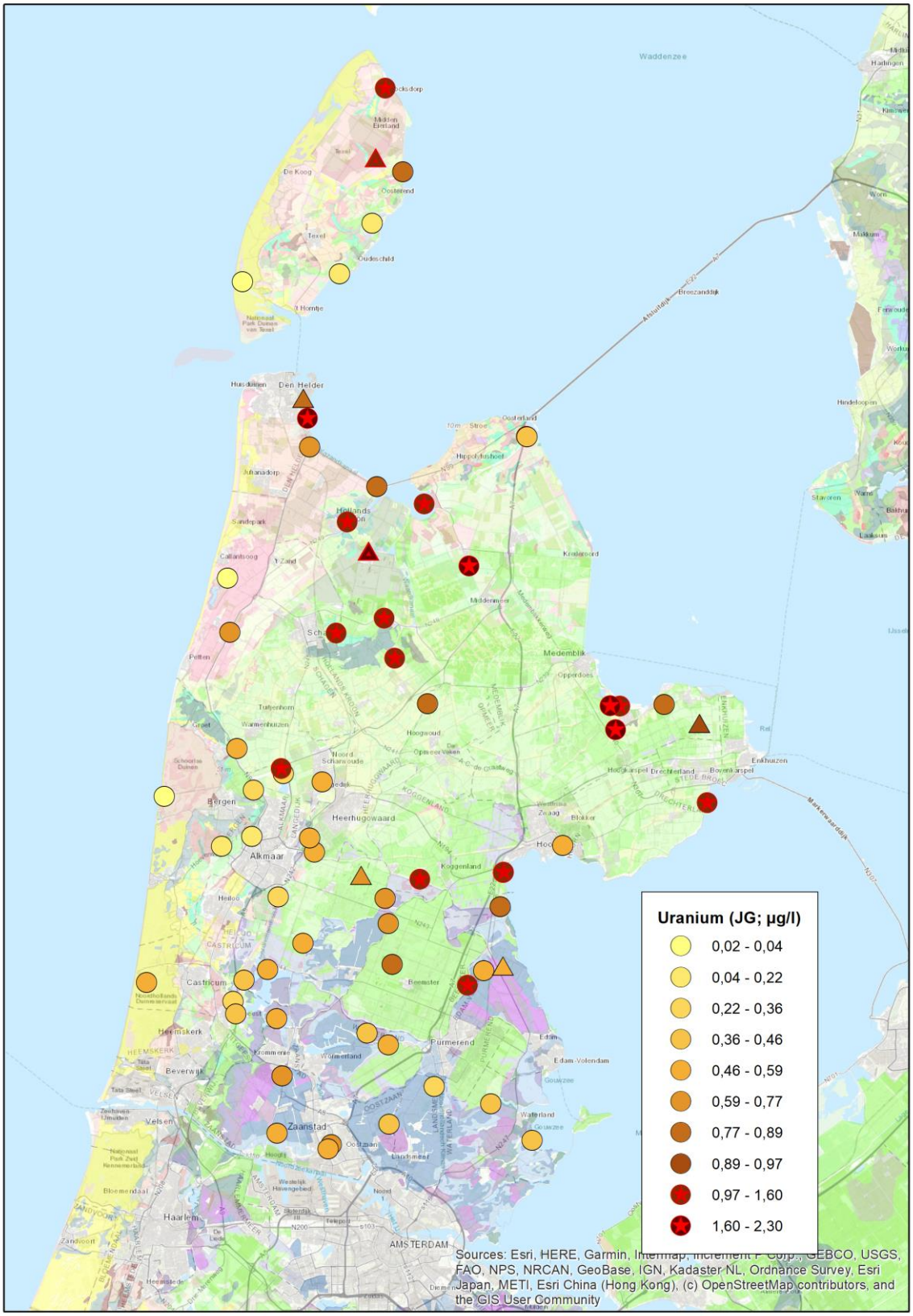
Nikkel


Nikkel (JG; µg/l)
0,14 - 0,58
0,58 - 1,4
1,4 - 2,0
2,0 - 2,3
2,3 - 2,6
2,6 - 2,9
2,9 - 3,3
3,3 - 3,8
3,8 - 5,0
5,0 - 6,0
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

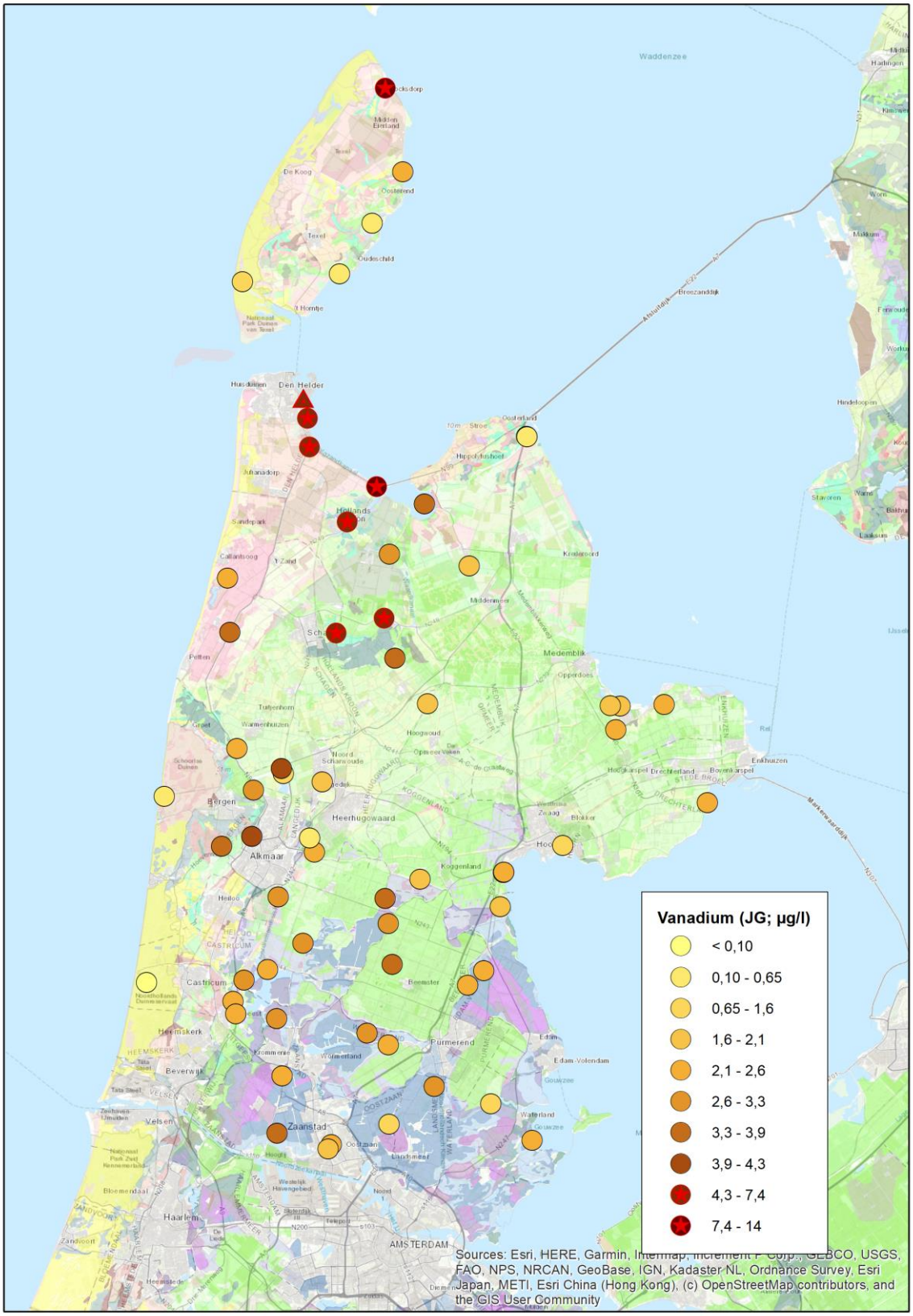
Seleen


Seleen (JG; µg/l)
0,044 - 0,052
0,052 - 0,10
0,10 - 0,13
0,13 - 0,15
0,15 - 0,17
0,17 - 0,20
0,20 - 0,23
0,23 - 0,27
0,27 - 0,31
0,31 - 0,77
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

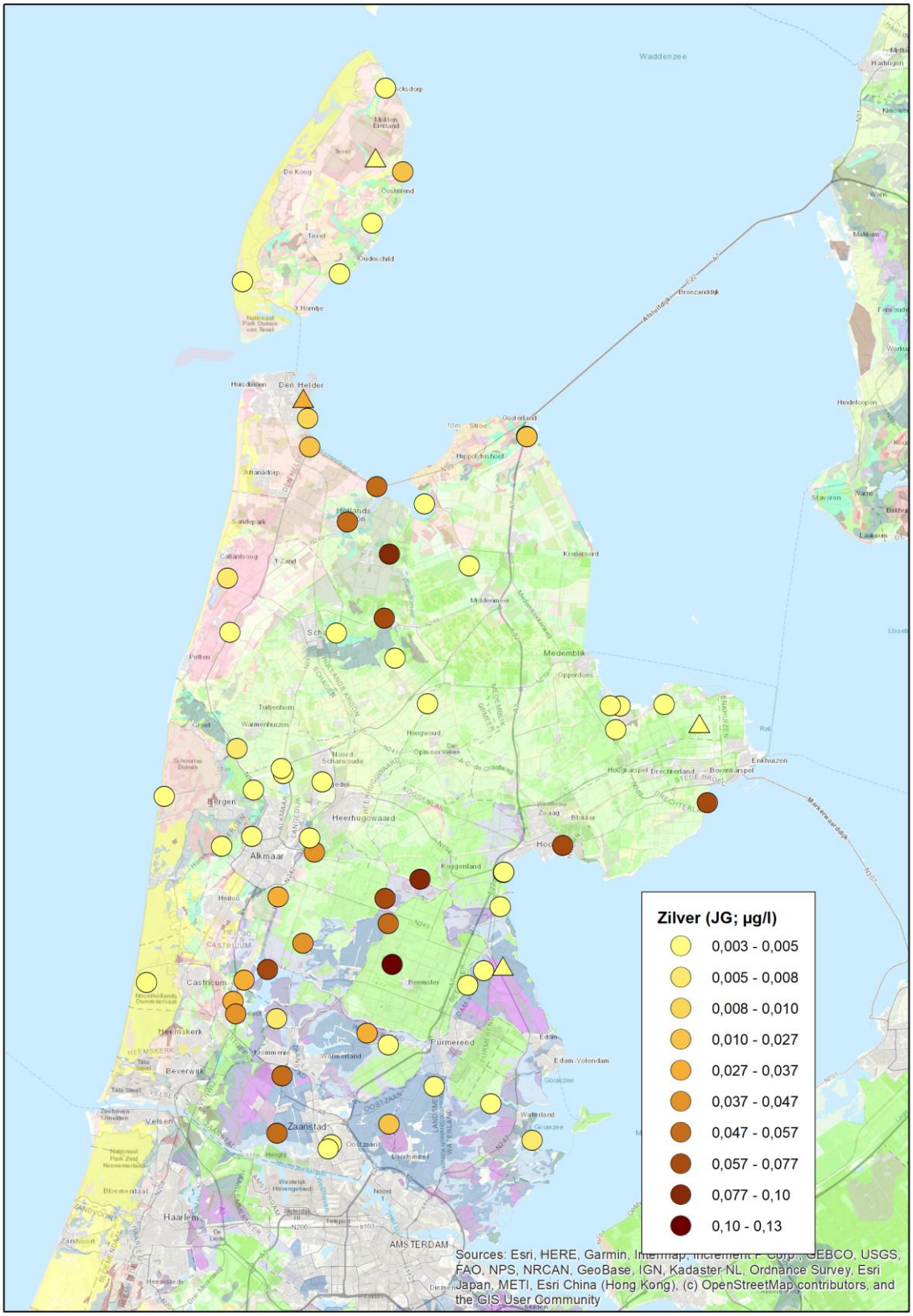
Uranium


Uranium (JG; µg/l)
0,02 - 0,04
0,04 - 0,22
0,22 - 0,36
0,36 - 0,46
0,46 - 0,59
0,59 - 0,77
0,77 - 0,89
0,89 - 0,97
0,97 - 1,60
1,60 - 2,30
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

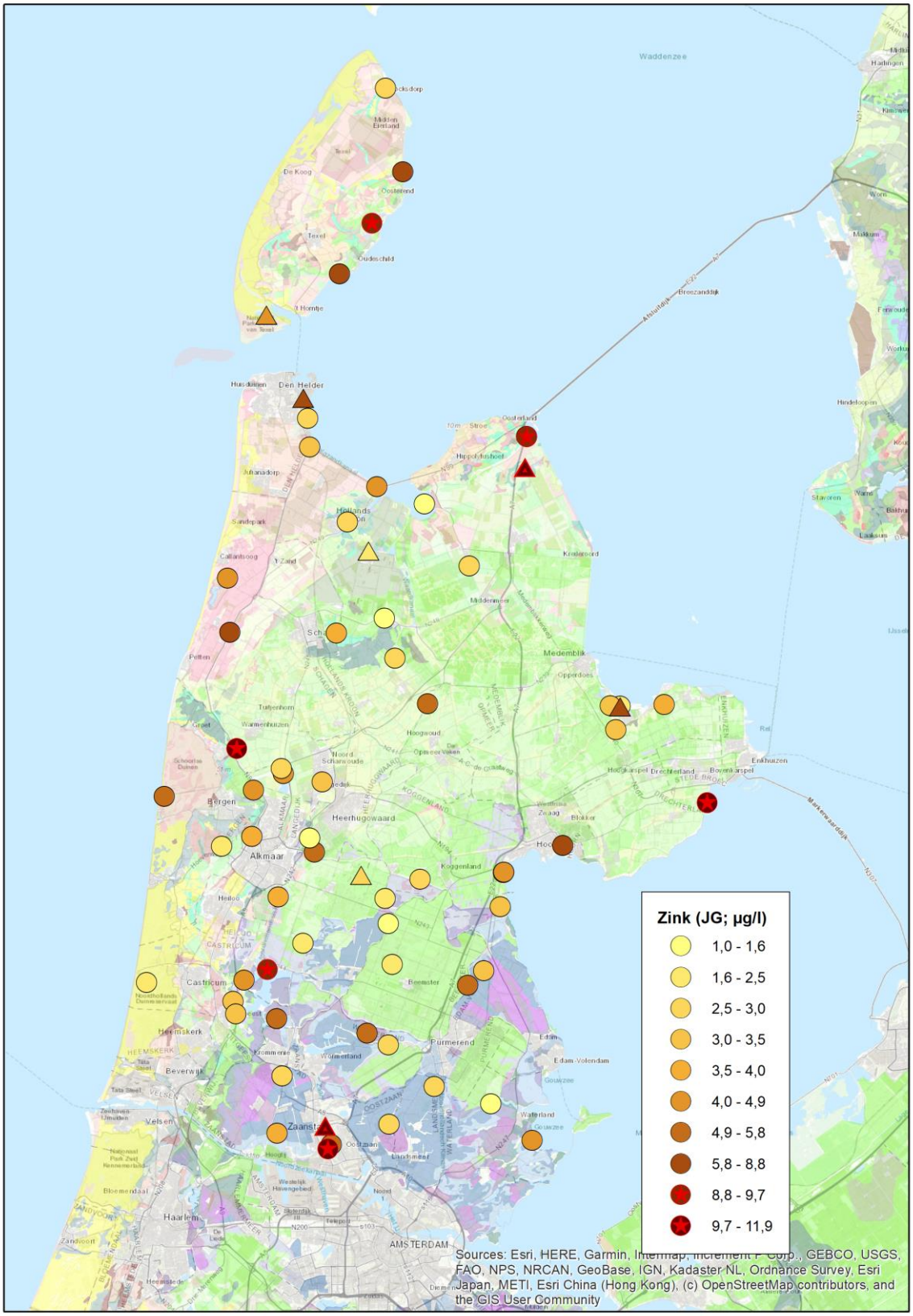
Vanadium


Vanadium (JG; µg/l)
< 0,10
0,10 - 0,65
0,65 - 1,6
1,6 - 2,1
2,1 - 2,6
2,6 - 3,3
3,3 - 3,9
3,9 - 4,3
4,3 - 7,4
7,4 - 14
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Zaanstad
Haarlem
AMSTERDAM
Medemblik
Enkhuizen
Castricum
Bergen
Heerhugowaard
Purmerend

Zilver


Zilver (JG; µg/l)
0,003 - 0,005
0,005 - 0,008
0,008 - 0,010
0,010 - 0,027
0,027 - 0,037
0,037 - 0,047
0,047 - 0,057
0,057 - 0,077
0,077 - 0,10
0,10 - 0,13
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Zink


Zink (JG; µg/l)
1,0 - 1,6
1,6 - 2,5
2,5 - 3,0
3,0 - 3,5
3,5 - 4,0
4,0 - 4,9
4,9 - 5,8
5,8 - 8,8
8,8 - 9,7
9,7 - 11,9
Waddenzee
Den Helder
Alkmaar
Bergen
Heerhugowaard
Medemblik
Enkhuizen
Castricum
Heemskerk
Beverwijk
Velsen
Zaanstad
Purmerend
Edam
Haarlem
AMSTERDAM
Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community