

**Bodemkwaliteitskaart PFAS
Walcheren
Actualisatie 2025**

Eindrapport



Marmos Bodemmanagement

Opdrachtgevers: gemeenten Middelburg, Veere en Vlissingen
Projectnummer: P23-06 / P23-09 / P24-07
Datum: 10 maart 2025

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	1
2.	PFAS-normering	3
2.1	Handelingskader voor PFAS	3
2.2	Regionaal voor Walcheren vastgestelde normen voor PFAS	3
2.3	Toepassingswaarden voor landbouw/natuur	5
2.4	Toepassingswaarden voor wonen en industrie	6
3.	Seaspray-onderzoek langs de kust	9
3.1	Het proces seaspray	9
3.2	Een halve eeuw atmosferische depositie en transport door de bodem	11
3.3	Onderzoek van 5 raaien in de duinen van de gemeente Veere	12
3.4	Veerse Meer	17
3.5	Verhoogde PFAS-gehalten langs de Westerschelde	18
4.	Bodemkwaliteitskaart PFAS	20
4.1	Bodemkwaliteitskaart volgens Richtlijn bodemkwaliteitskaarten	20
4.2	Algemene toelichting op bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren	20
4.3	Zone PFAS Kuststrook Walcheren	23
4.4	Zone PFAS Vlissingen	25
4.5	Zone PFAS Overig Walcheren	26

BIJLAGEN

Bijlage 1A:	Meetwaarden PFOS Totale dataset (bovengrond)
Bijlage 1B:	Meetwaarden PFOS Totale dataset (ondergrond)
Bijlage 2A:	Meetwaarden PFOA Totale dataset (bovengrond)
Bijlage 2B:	Meetwaarden PFOA Totale dataset (ondergrond)
Bijlage 3-1:	Overzicht PFOS raai 1 (Neeltje Jans)
Bijlage 3-2:	Overzicht PFOS raai 2 (Domburg)
Bijlage 3-3:	Overzicht PFOS raai 3 (Westkapelle)
Bijlage 3-4:	Overzicht PFOS raai 4 (Zoutelande)
Bijlage 3-5:	Overzicht PFOS raai 5 (Dishoek)
Bijlage 4-1:	Overzicht PFOA raai 1 (Neeltje Jans)
Bijlage 4-2:	Overzicht PFOA raai 2 (Domburg)
Bijlage 4-3:	Overzicht PFOA raai 3 (Westkapelle)
Bijlage 4-4:	Overzicht PFOA raai 4 (Zoutelande)
Bijlage 4-5:	Overzicht PFOA raai 5 (Dishoek)
Bijlage 5-1:	Veerse Meer raai 7 (Fort den Haak)
Bijlage 5-2:	Veerse Meer raai 8 en 9 (Veere)
Bijlage 6A:	Statistische kengetallen zone PFAS Kuststrook Walcheren
Bijlage 6B:	Statistische kengetallen zone PFAS Vlissingen
Bijlage 6C:	Statistische kengetallen zone PFAS Overig Walcheren
Bijlage 7A:	Bodemkwaliteitskaart PFAS: zone-indeling
Bijlage 7B:	Bodemkwaliteitskaart PFAS: ontgravingskaart bovengrond
Bijlage 7C:	Bodemkwaliteitskaart PFAS: ontgravingskaart ondergrond

1. INLEIDING

Actualisatie bodemkwaliteitskaart PFAS vanwege seaspray

In 2020 hebben de gemeenten Middelburg, Veere en Vlissingen een bodemkwaliteitskaart PFAS van Walcheren laten maken (lit. 1). Deze is vervolgens in elke gemeente bestuurlijk vastgesteld. Ook voor de rest van Zeeland zijn in de eerste helft van 2020 regionale bodemkwaliteitskaarten PFAS gemaakt (lit. 2 t/m 4).

Aanleiding voor deze bodemkwaliteitskaarten PFAS vormde het Tijdelijk handelingskader voor PFAS, waarvan de eerste versie in juli 2019 naar de Tweede Kamer is gestuurd door de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (lit. 5). Volgens de begeleidende Kamerbrief moeten initiatiefnemers, tot duidelijk is of er onbelaste gebieden in Nederland zijn, in het kader van de zorgplicht het gehalte aan PFAS meten in te verzetten grond en baggerspecie, die uit land- en waterbodem wordt ontgraven.

In 2019 waren in Zeeland voor PFAS nog geen onderzoeksgegevens van de landbodem beschikbaar. Daarom zijn destijds gestratificeerd aselechte steekproeven in het buitengebied uitgevoerd om PFAS-data te verzamelen.

Sindsdien is naar voren gekomen dat op verschillende plaatsen in de kuststrook verhoogde gehalten PFAS worden gemeten. De hogere PFAS-gehalten langs de kust worden veroorzaakt door een proces dat bekend staat als seaspray.

In de bodemkwaliteitskaart uit 2020 bleek al dat in Vlissingen hogere PFAS-gehalten voorkomen dan in de rest van Walcheren. Op dat moment was nog niet duidelijk dat dit komt door seaspray. Inmiddels zijn veel meer PFAS-gegevens beschikbaar. Daaruit blijkt dat de verhoogde PFAS-gehalten in de gemeente Vlissingen zich niet beperken tot het gebied dat in 2020 was opgenomen in de zone 'PFAS bedrijfsterrinen en binnenstad Vlissingen'.

Dit vormt de aanleiding om de bodemkwaliteitskaart PFAS van Walcheren te actualiseren.

Om het effect van seaspray in beeld te brengen heeft de gemeente Veere in 2023/2024 vijf raaien in de duinen en op Neeltje Jans onderzocht. Dit onderzoek wordt beschreven in paragraaf 3.3. Eerder is al onderzoek gedaan naar het effect van seaspray in een strook van 500 meter langs de noordkant van de Westerschelde, vanaf de Belgische grens tot Vlissingen (lit. 6). In dat onderzoek heeft de gemeente Vlissingen samen met waterschap Scheldestromen drie raaien laten onderzoeken bij Ritthem.

Voor Middelburg zijn er geen wijzigingen ten opzichte van de voorgaande bodemkwaliteitskaart.

Wat is een bodemkwaliteitskaart (BKK)

Een 'bodemkwaliteitskaart' (vaak afgekort als BKK) is een begrip uit de milieu-hygiënische regelgeving voor het toepassen (hergebruiken) van grond en baggerspecie.

De Walcherse gemeenten maken al langer gebruik van bodemkwaliteitskaarten die zijn opgesteld voor de stoffen die standaard onderzocht worden in verkennend bodemonderzoek¹.

In een bodemkwaliteitskaart wordt een gebied (bijvoorbeeld één of meer gemeenten) ingedeeld in een aantal zones met een vergelijkbare milieu-hygiënische bodemkwaliteit. Het gaat daarbij om de diffuse 'gemiddelde' bodemkwaliteit afgezien van lokale verontreinigingen door puntbronnen.

Een bodemkwaliteitskaart is een instrument om grondverzet te vereenvoudigen. Met een bodemkwaliteitskaart is bij grondverzet minder onderzoek nodig en hoeft men minder vaak partijen grond te keuren. In de Regeling bodemkwaliteit 2022 staan algemene regels over het gebruik van een bodemkwaliteitskaart als grondslag voor een milieuverklaring bodemkwaliteit. Eerst moet conform de landelijke regels middels vooronderzoek worden vastgesteld dat er geen bijzondere omstandigheden zijn waardoor de bodemkwaliteitskaart niet kan worden gebruikt.

Verder is een bodemkwaliteitskaart onderdeel van de technisch-inhoudelijke onderbouwing van het grondstromenbeleid zoals dat (voor het in werking treden van de Omgevingswet) is vastgelegd in gemeentelijke nota's bodembeheer.

Zones in de bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren 2025

In deze nieuwe bodemkwaliteitskaart is Walcheren voor de stofgroep PFAS ingedeeld in 3 zones:

Zone	Kwaliteit o.b.v Handelingskader PFAS Bovengrond (0-0,5 m-mv)	Kwaliteit o.b.v Handelingskader PFAS Ondergrond (0,5-2,0 m-mv)
Zone PFAS Overig Walcheren	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur
Zone PFAS Vlissingen	Voldoet aan Toepassingswaarden voor wonen en industrie	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur
Zone PFAS Kuststrook Walcheren	Variabel tot boven toepassingswaarden voor wonen en industrie	Variabel tot boven toepassingswaarden voor wonen en industrie

Deze zones worden verder toegelicht in paragraaf 4.3 t/m 4.5 en in kaart weergegeven in bijlage 7A t/m 7C.

Hoofdstuk 2 bevat eerst een toelichting op de PFAS-normering.

¹ Voor het in werking treden van de Omgevingswet waren deze stoffen opgenomen in het standaardpakket in de toenmalige NEN5740 (lit. 7). Onder de Omgevingswet is dit stoffenpakket opgenomen in bijlage J van de Regeling bodemkwaliteit 2022 als 'standaardonderzoekspakket, variant A'.

2. PFAS-NORMERING

2.1 Handelingskader voor PFAS

Voor PFAS zijn nog geen wettelijke normen in landelijke regelgeving vastgelegd. In plaats daarvan zijn sinds juli 2019 advieswaarden voor verschillende toepassingen van grond en baggerspecie opgenomen in opeenvolgende versies van het (tijdelijk) handelingskader voor PFAS. Die toepassingswaarden worden gezien als invulling van de zorgplicht.

Bij de versie van het Handelingskader PFAS (zonder voorvoegsel 'tijdelijk') uit december 2021 is aangekondigd dat op basis daarvan het traject van de wettelijke verankering van PFAS-normen werd gestart. Aanvankelijk zou dit de laatste versie van het handelingskader zijn.

In de Verzamelbrief bodem en ondergrond d.d. 29 december 2023 wordt echter meer voorbehoud gemaakt over de wettelijke verankering van de PFAS-normering. Met deze Kamerbrief is een nieuwe versie van het handelingskader voor PFAS gepubliceerd (lit. 8), waarin de versie uit december 2021 is aangepast aan de terminologie van de Omgevingswet.

Voor toepassingen op de landbodem vermeldt het Handelingskader voor PFAS de volgende toepassingswaarden:

	PFOS (som lineair+vertakt)	PFOA (som lineair+vertakt)	Overige PFAS ²
Toepassingswaarden voor landbouw/natuur	1,4 µg/kgds	1,9 µg/kgds	1,4 µg/kgds
Toepassingswaarden voor wonen en industrie	3 µg/kgds	7 µg/kgds	3 µg/kgds

De paragrafen 2.3 en 2.4 bevatten achtergrondinformatie over voornoemde toepassingswaarden.

2.2 Regionaal voor Walcheren vastgestelde normen voor PFAS

Regionaal is PFAS wel genormeerd. In hoofdstuk 5 van de bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren uit 2020 is voor een aantal situaties vastgelegd welke toepassingsnormen voor PFAS gelden. Deze normen zijn ongewijzigd overgenomen in de nota bodembeheer van Veere uit 2022 (lit. 9) respectievelijk de nota bodembeheer van Vlissingen uit 2023 (lit. 10)³.

De toepassingsnormen voor 'gewone' toepassingen van grond of baggerspecie op de landbodem zijn samengevat in de tabellen op de volgende pagina. Daarnaast is in voornoemde documenten vastgelegd welke normen gelden voor grootschalige bodemtoepassingen (GBT) en voor het verspreiden van baggerspecie op aan dezelfde watergang grenzende percelen⁴.

² Beleidsmatig heeft men in het landelijk handelingskader voor de overige PFAS de waarden voor PFOS overgenomen.

³ Paragraaf 4.5 van de nota bodembeheer van Veere, respectievelijk paragraaf 3.2 van de nota bodembeheer van Vlissingen.

⁴ Oude terminologie voor in werking treden Omgevingswet. Voor deze toepassingen bevat de landelijke regelgeving een apart toetsingskader.

Toepassingsnormen voor PFAS voor grond en baggerspecie afkomstig uit de provincie Zeeland:

Toepassingsgebied	Dieptetraject	Toepassingseisen PFAS
Bodemfunctieklaas landbouw/ natuur in bodemfunctieklaas <i>Met uitzondering van het grondwaterbeschermingsgebied.</i>	0-2,0 m-mv	PFOA: 1,9 µg/kgds PFOS: 1,4 µg/kgds Overige individuele PFAS: 1,4 µg/kgds
Bodemfunctieklaas wonen of industrie Toepassingsnorm voor het standaardonderzoekspakket ⁵ : klaas landbouw/natuur	0-2,0 m-mv	PFOA: 1,9 µg/kgds PFOS: 1,4 µg/kgds Overige individuele PFAS: 1,4 µg/kgds
Bodemfunctieklaas wonen of industrie Toepassingsnorm voor het standaardonderzoekspakket: klaas wonen of industrie	0-2,0 m-mv	PFOA: 7 µg/kgds PFOS: 3 µg/kgds Overige individuele PFAS: 3 µg/kgds
Grondwaterbeschermingsgebied	Ongeacht diepte	Alle individuele PFAS: 0,1 µg/kgds
Heel Walcheren	Dieper dan 2,0 m-mv	Alle individuele PFAS: 0,1 µg/kgds

Toepassingsnormen voor PFAS voor grond en baggerspecie afkomstig van buiten de provincie Zeeland:

Toepassingsgebied	Dieptetraject	Toepassingseisen PFAS
Bodemfunctieklaas landbouw/ natuur in bodemfunctieklaas <i>Met uitzondering van het grondwaterbeschermingsgebied.</i>	0-2,0 m-mv	PFOA: 1,9 µg/kgds PFOS: 1,4 µg/kgds PFBA: 0,3 µg/kgds Overige individuele PFAS: 0,1 µg/kgds
Bodemfunctieklaas wonen of industrie Toepassingsnorm voor het standaardonderzoekspakket: klaas landbouw/natuur	0-2,0 m-mv	PFOA: 1,9 µg/kgds PFOS: 1,4 µg/kgds PFBA: 0,3 µg/kgds Overige individuele PFAS: 0,1 µg/kgds
Bodemfunctieklaas wonen of industrie Toepassingsnorm voor het standaardonderzoekspakket: klaas wonen of industrie	0-2,0 m-mv	PFOA: 1,9 µg/kgds PFOS: 1,4 µg/kgds PFBA: 0,3 µg/kgds Overige individuele PFAS: 0,1 µg/kgds
Grondwaterbeschermingsgebied	Ongeacht diepte	Alle individuele PFAS: 0,1 µg/kgds
Heel Walcheren	Dieper dan 2,0 m-mv	Alle individuele PFAS: 0,1 µg/kgds

⁵ Standaardonderzoekspakket, variant A uit bijlage J van de Regeling bodemkwaliteit 2022. Voor invoering van de Omgevingswet aangeduid als de NEN5740-parameters.

Deze toepassingsnormen zijn bestuurlijk vastgesteld vóór het in werking treden van de Omgevingswet. Op grond van overgangsrecht zijn deze toepassingsnormen van rechtswege onderdeel van het tijdelijk deel van het Omgevingsplan. Op termijn (voor 1 januari 2032) moeten deze omgezet worden naar maatwerkregels in het nieuwe deel van het Omgevingsplan.

2.3 Toepassingswaarden voor landbouw/natuur

De toepassingswaarden voor landbouw/natuur zijn gebaseerd op de landelijke achtergrondwaarden van PFAS.

In juni 2020 heeft het RIVM het onderzoek naar de landelijke achtergrondwaarden van PFAS in de Nederlandse bodem afgerond (lit. 11). Deze zijn vervolgens als toepassingswaarden voor landbouw/natuur opgenomen in de verschillende versies van het (tijdelijk) handelingskader voor PFAS.

Deze definitieve landelijke achtergrondwaarden zijn als volgt:

- PFOA (som lineair + vertakt): 1,9 µg/kgds
- PFOS (som lineair + vertakt): 1,4 µg/kgds

De overige PFAS zijn in het onderzoek van het RIVM zelden boven de detectiegrens aangetoond. In het tijdelijk handelingskader van 2 juli 2020 is opgenomen dat voornoemde achtergrondwaarde van PFOS (1,4 µg/kgds) ook als toepassingswaarde kan gelden voor de overige PFAS.

De landelijke achtergrondwaarden voor PFAS zijn op dezelfde wijze bepaald als de achtergrondwaarden die begin deze eeuw voor een groot aantal stoffen zijn bepaald in het AW2000-project (lit. 12), met dien verstande dat voor PFAS geen gegevens zijn meegenomen binnen een (ronde) straal van 50 km rond Chemours in Dordrecht.

Het AW2000-bestand is een landelijk bestand met 100 meetlocaties in natuur- en landbouwgebieden, waarin naar verwachting een niet meer dan normale diffuse achtergrondbelasting uit antropogene en natuurlijke bronnen aanwezig wordt geacht. De achtergrondwaarden houden er dus rekening mee, dat de gehalten in de bodem in grote delen van Nederland diffuus beïnvloed zijn door menselijke activiteiten.

Bij de introductie van het Besluit bodemkwaliteit uit 2008 zijn de 95-percentielwaarden uit AW2000 (afgerond naar boven) als ‘achtergrondwaarden’⁶ opgenomen in de regelgeving als ondergrens om te bepalen of grond “schoon” is. In de Nota van toelichting van het Besluit bodemkwaliteit werden de achtergrondwaarden destijds omschreven als:

“Landelijk geldende waarden voor een multifunctionele bodemkwaliteit die de grens vormen aan wat in het dagelijks gebruik «schone grond en baggen» wordt genoemd.”

Door uitstoot van de fabriek Dupont (tegenwoordig Chemours) in Dordrecht is de bodem in een groot gebied rond Dordrecht verontreinigd geraakt met PFOA. De invloed van Dupont/Chemours reikt in noordoostelijke richting verder dan 50 km, waardoor de landelijke achtergrondwaarde voor PFOA hoger is dan de landelijke achtergrondwaarde voor PFOS.

⁶ In bijlage B van de oude Regeling bodemkwaliteit aangeduid als ‘achtergrondwaarden’. Onder de Omgevingswet worden deze in bijlage B van de Regeling bodemkwaliteit 2022 aangeduid als ‘kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse landbouw/natuur’.

Achtergrondwaarden Zeeland

Bij de gestratificeerd aselechte steekproeven voor de bodemkwaliteitskaarten PFAS uit 2020 zijn op voorhand 100 meetpunten geoormerkt om achtergrondwaarden voor de provincie Zeeland vast te stellen, analoog aan de bepaling van achtergrondwaarden in het AW2000-project. In afwijking van AW2000 (0-0,1 m-mv) is in Zeeland gekozen voor bemonstering van het dieptetraject 0-0,5 m-mv. Het dieptetraject 0,0-0,5 m-mv sluit beter aan bij de praktijk van bodemonderzoek en grondverzet.

In 2020 zijn de volgende achtergrondwaarden voor Zeeland bepaald (lit. 1 en 13):

- PFOA (som lineair + vertakt): 1,2 µg/kgds
- PFOS (som lineair + vertakt): 1,2 µg/kgds
- PFBA: 0,3 µg/kgds
- PFPeA: 0,1 µg/kgds
- PFHxA: 0,1 µg/kgds
- PFHpA: 0,1 µg/kgds

2.4 Toepassingswaarden voor wonen en industrie

Voor het toepassen van grond of baggerspecie op de landbodem maakt de landelijke regelgeving onderscheid in de volgende bodemkwaliteitsklassen met bijbehorende normstelling:

- landbouw/natuur
- wonen
- industrie

Voor bodemkwaliteitsklasse landbouw/natuur wordt getoetst aan de hiervoor beschreven achtergrondwaarden (kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse landbouw/natuur).

Voor de bodemkwaliteitsklassen wonen en industrie bevat bijlage B van de Regeling bodemkwaliteit 2022 'kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse wonen' respectievelijk 'kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse industrie'. Voorheen werden deze 'maximale waarden voor wonen' respectievelijk 'maximale waarden voor industrie' genoemd.

Deze kwaliteitseisen zijn gebaseerd op risicomodellen voor enerzijds de humane risico's (de risico's voor de mens) en anderzijds de ecologische risico's. De strengste van de twee is in principe maatgevend voor de vastlegging van deze kwaliteitseisen.

Daarbij zijn de humane en ecologische risico's gebaseerd op het volgende:

	Humane risico's	Ecologische risico's
Kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse wonen	Bodemfunctie Wonen met tuin	Middenniveau tussen HC5 en HC50
Kwaliteitseisen voor kwaliteitsklasse industrie	Bodemfunctie Ander groen, infrastructuur en industrie	HC50

HC5 en HC50 zijn de concentratie (hazardous concentration) waarbij 5% respectievelijk 50% van de soorten organismen negatieve effecten ondervindt.

In sommige gevallen is hier om beleidsmatige redenen van afgeweken en zijn andere overwegingen betrokken in de normstelling. Een uitgebreide documentatie van de normstelling is te vinden in het zogeheten NOBO-rapport uit 2008 (lit. 14).

Voor de meeste stoffen geven de ecologische risico's de doorslag en zijn de maximale waarden voor wonen en industrie gebaseerd op de ecologische risico's. Organismen die in de bodem leven ondervinden eerder negatieve gevolgen van de verontreiniging dan mensen die (af en toe) met de verontreiniging in contact komen.

In het algemeen wordt in de normstelling bij de ecologische risico's geen rekening gehouden met doorvergiftiging (ophoping van de verontreiniging in hogere organismen in de voedselketen). Bij PFAS is doorvergiftiging echter wel van belang.

Voor PFAS is in de verschillende versies van het (tijdelijk) handelingskader voor de toepassingswaarden voor wonen en industrie een strenger criterium gehanteerd dan normaliter het geval is voor de bodemkwaliteitsklassen wonen en industrie. Namelijk de risicogrenzen die zijn bepaald voor een hoog ecologisch beschermingsniveau (HC5), inclusief doorvergiftiging. Aanvankelijk speelde daarbij mee, dat het effect van de nieuwe gezondheidkundige grenswaarden van EFSA nog niet duidelijk was.

Hieronder worden de door het RIVM afgeleide risicogrenzen uitgebreider toegelicht.

Door het RIVM afgeleide risicogrenzen voor PFAS

In september 2020 heeft de Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) nieuwe gezondheidkundige grenswaarden gepubliceerd voor de combinatie van 4 PFAS in voedsel (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS). Deze nieuwe grenswaarde uit de EFSA-opinie is beduidend lager dan eerdere grenswaarden en bedraagt 4,4 ng/kg lichaamsgewicht / week (= 0,63 ng/kg lichaamsgewicht / dag).

In juli 2021 heeft het RIVM twee memo's uitgebracht met risicogrenzen, rekening houdend met deze nieuwe gezondheidkundige grenswaarde van EFSA:

- risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van Interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX (lit. 15)
- risicogrenzen ten behoeve van de onderbouwing van Maximale Waarden PFAS voor het toepassen van grond en baggerspecie (lit. 16)

Onderstaande tabellen bevatten de risicogrenzen van het RIVM uit lit. 16.

Humane risicogrenzen t.b.v. maximale waarden:

Bodemfunctie	PFOS	PFOA
Moestuinen/volkstuinen (veel gewasconsumptie)	2,4 µg/kgds	2,3 µg/kgds
Wonen met tuin (10% gewasconsumptie)	29 µg/kgds	30 µg/kgds
Ander groen, infrastructuur en industrie	480 µg/kgds	930 µg/kgds

Hoe groter de kans voor mensen om (intensief) met de verontreiniging in contact te komen, hoe lager de risiconorm. Vooral gewasconsumptie weegt hierin zwaar mee. Het onderliggend risicomodel rekent voor 'wonen met tuin' met 10% gewasconsumptie uit eigen tuin (10% bladgewassen en 10% knolgewassen).

Bij 'moestuinen/volkstuinen' rekent het onderliggende risicomodel met een gewasconsumptie van 100% bladgewassen en 50% knolgewassen uit eigen tuin. In de praktijk is hiervoor een moestuin met een minimale oppervlakte van 200 m² benodigd (lit. 14).

Ecologische risicogrenzen voor PFOS t.b.v. maximale waarden:

Risicogrens	Ecologisch beschermingsniveau	Directe ecotoxiciteit	Inclusief doorvergiftiging
HC5	Hoog	16 µg/kgds	3 µg/kgds
Middenniveau	Gemiddeld	380 µg/kgds	18 µg/kgds
HC50	Laag	9100 µg/kgds	106 µg/kgds

Ecologische risicogrenzen voor PFOA t.b.v. maximale waarden:

Risicogrens	Ecologisch beschermingsniveau	Directe ecotoxiciteit	Inclusief doorvergiftiging
HC5	Hoog	500 µg/kgds	7 µg/kgds
Middenniveau	Gemiddeld	5000 µg/kgds	89 µg/kgds
HC50	Laag	50000 µg/kgds	1100 µg/kgds

De risicogrenzen met hoog ecologisch beschermingsniveau inclusief doorvergiftiging zijn gebruikt als toepassingswaarden voor wonen en industrie in de verschillende versies van het (tijdelijk) handelingskader voor PFAS. Oftewel 3 µg/kgds voor PFOS en 7 µg/kgds voor PFOA.

3 SEASPRAY-ONDERZOEK LANGS DE KUST

3.1 Het proces seaspray

De vorming van een aerosol vanuit het zeewater

Seaspray is een natuurlijk proces dat al miljoenen jaren plaatsvindt (al zo lang als er zoute oceanen en kusten zijn). Het is al langer bekend dat zoutkristallen door turbulentie - met name bij het breken van golven - in de atmosfeer komen, als condensatiekernen voor regendruppels dienen en als seaspray op het landoppervlak komen. De aerosolen worden boven open zee gevormd, maar ook in de branding aan de kust. Kustgebieden kunnen te maken hebben met een versterkte zoute depositie door seaspray.

Juist het breken van golven is belangrijk bij de vorming van een seaspray aerosol. Luchtbelletjes worden gevangen in het water en spatten vervolgens uiteen als ze aan het wateroppervlak komen waarbij ze fijne druppeltjes de lucht in lanceren.

Hoe hoger de golven, hoe heftiger de branding en hoe meer seaspray er te verwachten valt.

In diverse wetenschappelijke onderzoeken is – zowel met laboratoriumproeven als op basis van veldmetingen – vastgesteld dat met hetzelfde proces van seaspray ook PFAS vanuit zeewater in de atmosfeer komt en dus uiteindelijk via depositie op het landoppervlak terecht kan komen.

Vermeldenswaardig is bijvoorbeeld een onderzoek dat de Stockholm University op twee locaties in Noorwegen heeft uitgevoerd (lit. 17). Bij een luchtmeetstation op Andøya (300 km ten noorden van de poolcirkel, op 1,3 km van de oceaankust en 380 meter boven zeeniveau) werden duidelijke verbanden tussen hoeveelheden zout (Na^+ ionen) en PFAS in de lucht gevonden (en dit bevestigde laboratorium-experimenten).

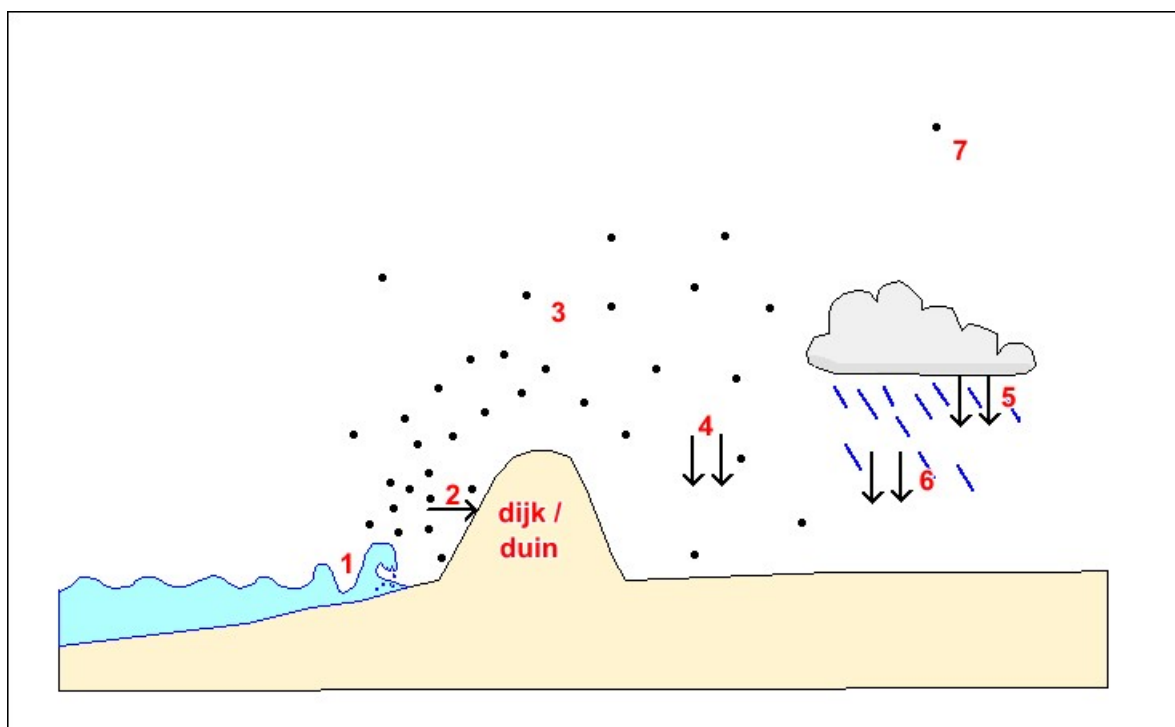
Langs de Nederlandse kust heeft KWR op dezelfde wijze metingen gedaan aan het actuele proces bij Wijk aan Zee en bij Nes op Ameland (lit. 18). In absolute zin zit er uiteraard veel meer zout (Na^+) dan PFAS in het zeewater en in de lucht langs de kust. De PFAS concentraties in de lucht zijn in het onderzoek van KWR in de orde van pg/m^3 (picogram) terwijl de Na^+ concentraties in de orde van $\mu\text{g/m}^3$ (microgram) zijn. Wanneer de gehalten in zeewater en seaspray aerosol tegen elkaar worden afgezet dan bevat de seaspray aerosol procentueel meer PFAS in vergelijking tot het zeewater dan het geval is voor Na^+ . In de luchtmetingen van KWR hebben PFOS en PFOA de hoogste concentraties.

Depositie op het land

De depositie van zout en PFAS via seaspray is vergelijkbaar met de processen die spelen bij de depositie van andere luchtverontreiniging die bijvoorbeeld uit een schoorsteen komt. Luchtverontreiniging kan gewoon op de grond vallen (fallout) maar veel luchtverontreiniging komt via neerslag op het landoppervlak (rainout en washout).

Onderstaande figuur illustreert het proces van seaspray⁷:

- Bij het breken van golven in de branding worden luchtbelletjes ingevangen die uiteenspatten en deeltjes de lucht in lanceren, zout maar ook PFAS (1)
- aan de kust speelt vervolgens eerst het orografische effect van dijk en duinen (2)
- in de wind wervelt een deel van de deeltjes naar grotere hoogte (3)
- een deel slaat neer op het landoppervlak (droge depositie, fallout) (4)
- de deeltjes kunnen dienen als condensatiekern voor regendruppels en uitregenen (rainout) (5)
- vallende regendruppels kunnen ook onderweg naar het landoppervlak deeltjes meenemen (washout) (6)
- tot slot kan de PFAS in de lucht worden omgezet naar een ander type PFAS, bijvoorbeeld omzetting naar PFAS met een kortere ketenlengte zoals TFA (7)



De depositie is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en dus erg variabel in de tijd. Dat betreft niet alleen de neerslag en de windsnelheid sec. Ook inversie en de stabiliteit van verschillende luchtlagen bepaalt in hoeverre deeltjes zich juist wel of niet naar hogere luchtlagen verplaatsen. In ieder geval kunnen verontreinigingen via de lucht grote afstanden afleggen. Een voorbeeld van deze grote afstanden is Saharazand dat af en toe in Nederland uit de lucht regent.

Ook lokaal kan de depositie verschillen door microklimatologische verschillen: in de duinen door verschillen in topografie (luwtes) en ook elders door obstakels.

⁷ De afbeelding is geïnspireerd op figuur 6.32 over het transport en de verwijdering van luchtverontreiniging uit lit. 19.

Naast het breken van golven kunnen druppeltjes en PFAS-moleculen ook in de lucht komen door de wind die over het wateroppervlak strijkt. PFAS-moluculen kunnen zich concentreren op grensvlakken tussen bijvoorbeeld water en lucht, doordat ze zowel een hydrofiele (waterminnende) als hydrofobe (waterafstotende) kant hebben.

Zeeschuim: ander proces

In de berichtgeving worden seaspray aerosolen en zeeschuim soms met elkaar verward.

In navolging van Vlaanderen (lit. 20) is in 2023 een indicatief onderzoek naar PFAS in een aantal zeeschuimmonsters langs de Nederlandse kust uitgevoerd (lit. 21). Zeeschuim kan sterk aangerijkt zijn met PFAS. Naast de voorkeur voor grensvlakken tussen water en lucht is bekend dat PFAS zich bindt aan eiwit.

Op zich kunnen vlokken zeeschuim verder landopwaarts waaien en daarbij PFAS transporteren. De vorming van zeeschuim (met name in de golven opgeklopt eiwit van afgestorven algen) is echter een ander proces (dat vooral in bepaalde maanden plaatsvindt) dan het proces van seaspray (de vorming van aerosolen bij het breken van golven). Een deel van het jaar is er (vrijwel) geen zeeschuim op het strand te vinden.

Meer algemene informatie over schuimalg (*Phaeocystis globosa*) is bijvoorbeeld te vinden in de “Quickscan zeeschuim” (lit. 22) die een twintigtal experts van o.a. NIOZ geschreven heeft naar aanleiding van het ongeluk in mei 2020 waarbij 5 ervaren surfers in Scheveningen verdronken in een ophoping van zeeschuim.

3.2 Een halve eeuw atmosferische depositie en transport door de bodem

De PFAS-gehalten in de duinen (en verder landinwaarts) zijn het resultaat van een halve eeuw depositie en vervolgens verticaal transport door de bodem.

De productie en het gebruik van PFAS namen vanaf de jaren 70 wereldwijd sterk toe. PFAS breken (voor zover bekend) niet af in het milieu en inmiddels wordt overal op de aarde PFAS aangetroffen, door verontreiniging vanuit productielocaties en via producten waarin PFAS zijn verwerkt.

De 3M fabriek in Zwijndrecht bij Antwerpen ging in 1971 van start, een fabriek van PFAS en PFAS-houdende producten zoals blusschuim. 3M heeft jarenlang PFAS geloosd op de Schelde. In Dordrecht startte de fabriek van Dupont (tegenwoordig Chemours) in de jaren 60 van de vorige eeuw met de productie van teflon (bekend van de anti-aanbaklagen) waarvoor PFOA werd gefabriceerd. Via de schoorsteen - maar ook door lozingen op de Merwede – kwam jarenlang PFOA in het milieu. Inmiddels is PFOA bij de productie van teflon vervangen door GenX. Daarnaast zijn er diverse andere bronnen waardoor PFAS in het milieu is gekomen.

PFOS en PFOA werden tot 2010 gebruikt in blusschuim voor het blussen van vooral chemische en oliebranden. Daarna werden ze vervangen door andere PFAS-houdende blusschuimen. (lit. 23) Inmiddels is er een verbod voor PFOS en PFOA om deze in bepaalde producten te verwerken.

3.3 Onderzoek van 5 raaien in de duinen van de gemeente Veere

Aanleiding: knelpunten in grondverzet door verhoogde PFAS-gehalten in de duinen

In verschillende bodemonderzoeken in het duingebied van de gemeente Veere zijn hogere PFOS-gehalten gemeten dan de landelijke achtergrondwaarde (1,4 µg/kgds) als gevolg van seaspray. Dit leidt tot knelpunten bij projecten die in het duingebied worden uitgevoerd, omdat vrijkomende grond volgens de eerder in de gemeentelijke nota bodembeheer (lit. 9) vastgestelde normen niet opnieuw kan worden toegepast.

Om een beter beeld te krijgen van verhoogde PFAS-gehalten in het duingebied heeft de gemeente Veere in de periode november 2023 – februari 2024 vijf raaien onderzocht (lit. 24).

Het onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van de actualisatie van de bodemkwaliteitskaart en ter onderbouwing om maatwerkregels voor PFAS op te nemen in het nieuwe deel van het omgevingsplan om grondverzet in het duingebied op een verantwoorde wijze mogelijk te maken.

Uitvoering van het onderzoek

De 5 raaien bevinden zich op de volgende plaatsen:

- raai 1: dwars over Neeltje Jans
- raai 2: ten noorden van Domburg
- raai 3: ten noorden van het bedrijventerrein Oude Zandweg in Westkapelle
- raai 4: aan de zuidkant van Zoutelande
- raai 5: aan de noordkant van Dishoek

De boorlocaties zijn afhankelijk van de lokale topografie gekozen, dus niet met vaste tussenafstanden.

Per boring zijn in principe de volgende dieptetrajecten geanalyseerd:

- 0,0 – 0,1 m-mv
- 0,1 – 0,3 m-mv
- 0,3 – 0,5 m-mv
- 0,5 – 1,0 m-mv
- 1,0 – 1,5 m-mv
- 1,5 – 2,0 m-mv

Soms is enigszins van deze dieptetrajecten afgeweken vanwege verschillen in bodemopbouw.

Bij een aantal meer landinwaartse boringen zijn de diepere monsters niet geanalyseerd wanneer in de bovenste meter geen verhoogde PFAS-gehalten zijn gemeten.

In totaal zijn 37 handboringen gedaan tot een diepte van in principe 2 m-mv. Uit deze boringen zijn in totaal 204 grondmonsters geanalyseerd op de 30 PFAS van de advieslijst van Bodem+ d.d. 12 juli 2019 en op organische stof.

Bij de meeste boringen bestaat de bodemopbouw tot 2 m-mv uit zand. Uitzonderingen zijn:

Raai 2 (Domburg)	boring 25 klei vanaf 1,5 m-mv boring 26 klei vanaf 1,35 m-mv Boring 27 klei vanaf 1,2 m-mv
Raai 3 (Westkapelle)	boring 31 klei tot 0,5 m-mv en vanaf 1,2 m-mv boring 34 klei vanaf 1,2 m-mv boring 33 en 35 klei vanaf 1,5 m-mv
Raai 4 (Zoutelande)	boring 46 klei vanaf 0,5 m-mv boring 47 klei vanaf maaiveld
Raai 5 (Dishoek)	Boring 58 klei vanaf 1,0 m-mv Boring 59 en 62 klei vanaf maaiveld

Boring 24 is op 1 m-mv gestaakt door een massieve laag. Boring 51 kon door mul zand niet dieper worden uitgevoerd dan dan 1 m-mv.

Bijlagen met overzicht van de resultaten voor PFOS en PFOA

PFOS is verreweg de bepalende parameter. Met uitzondering van Neeltje Jans zijn in alle raaien gehalten PFOS boven de toepassingswaarden voor wonen en industrie gemeten. Daarnaast is in een aantal boringen een gehalte PFOA boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten.

Bijlage 3-1 t/m 3-5 bevatten per raai een overzicht van de meetresultaten voor PFOS.

Bijlage 4-1 t/m 4-5 bevatten per raai een overzicht van de meetresultaten voor PFOA.

De getallen in deze bijlagen betreffen de som van lineaire en vertakte PFOS respectievelijk PFOA. Waarden beneden de detectiegrens zijn bij deze optelling op 0 gesteld.

Alle getallen in deze bijlagen (en de rest van het rapport) betreffen de gemeten waarden, zonder bodemtypecorrectie. Het Handelingskader voor PFAS stelt beleidsmatig dat bij een organische stofgehalte hoger dan 10% een bodemtypecorrectie moet worden toegepast (op dezelfde wijze als sinds de jaren 90 wordt gedaan voor PAK).

In deze bijlagen zijn de kaartjes aan de linkerkant gebaseerd op de hoogtelijnen uit het top10NL vectorbestand uit de Basis Registratie Topografie (BRT). De dwarsprofielen zijn gebaseerd op het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

Diepteprofiel PFOS

De mate waarin PFOS na depositie dieper verspreid is in de bodem hangt af van de aanwezige organische stof in het bodemprofiel.

Daarin zijn twee patronen zichtbaar:

- boringen waar de hoogste PFOS-gehalten zijn gemeten in de humeuze toplaag;
- boringen met nauwelijks organische stof in de bovengrond waar de hoogste PFOS-gehalten juist dieper in het profiel worden aangetroffen.

Het best wordt dit geïllustreerd in de raai bij Dishoek (bijlage 3-5).

PFOS bindt zich aan organische stof. Bij boringen met een humeuze toplaag zijn de hoogste PFOS-gehalten in de bovenste halve meter gemeten. Dit zijn vooral boringen in bebost gebied aan de binnenzijde van de duinen.

Voorbeelden hiervan zijn:

Boringen / raai	Toelichting
Boring 25 en 26 in raai 2 (Domburg)	In boring 25 is in de bovenste 10 cm met 45,7% organische stof een PFOS-gehalte van 11,7 µg/kgds gemeten. Ook in boring 26 is het hoogste PFOS-gehalte gemeten in de bovenste 10 cm (5,4 µg/kgds PFOS, bij een percentage organische stof van 8,2%). Dieper dan 1 m-mv zijn in deze boringen geen gehalten PFOS boven de detectiegrens aangetoond.
Boring 33 in raai 3 (Westkapelle)	In het monster van 0,1-0,3 m-mv (4,4 % organische stof) is 15,0 µg/kgds PFOS gemeten, terwijl dieper dan 0,5 m-mv geen PFOS-gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde zijn aangetoond.
Boring 56 en 57 in raai 5 (Dishoek)	In boring 56 is in de bovenste 10 cm (met 48,6% organische stof) een PFOS-gehalte van 15,9 µg/kgds gemeten, terwijl in het dieptetraject 0,3-0,5 m-mv het PFOS-gehalte slechts 1,3 µg/kgds bedraagt. Ook in boring 57 is de hoogste meetwaarde voor PFOS (23,6 µg/kgds) afkomstig uit de bovenste 10 cm (met 17,7% organische stof). Dieper dan 0,5 m-mv zijn in deze boring geen PFOS-gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten.

Aan de andere kant zijn er boringen met schraal zand met nauwelijks organische stof in de bovengrond. Hier is de PFOS juist verder in de diepte verspreid en zijn de hoogste PFOS-gehalten dieper dan 1 m-mv gemeten. Dit betreft vooral boringen aan de zeezijde van de duinen. Daarbij lijkt het al uit te maken of er een paar procent organische stof in de bovengrond zit dan wel minder dan 0,2% organische stof.

Voorbeelden hiervan zijn:

Boringen / raai	Toelichting
Boring 21 in raai 2 (Domburg)	In de monsters van de bovenste meter bedraagt het percentage organische stof minder dan 0,2%. In de bovenste halve meter van deze boring zijn PFOS-gehalten gemeten tussen 0,6 µg/kgds en 4,0 µg/kgds. Het monster met de hoogste meetwaarde voor PFOS (15,5 µg/kgds) is afkomstig uit het dieptetraject 1,5-2,0 m-mv;
Boring 52 en 53 in raai 5 (Dishoek)	De bovenste halve meter van deze boringen vertoont hetzelfde beeld als boring 21 bij Domburg. In boring 52 is in het monster van 1,5-2,0 m-mv een PFOS-gehalte van 20,3 µg/kgds gemeten.

Deze boringen zijn tot 2 m-mv uitgevoerd zodat niet bekend is tot welke diepte de verhoogde PFOS-gehalten op deze plaatsen reiken.

Oranjezon: hoogste gehalten PFOS dieper dan 2 m-mv

De provincie Zeeland heeft in het najaar van 2023 een bodemonderzoek laten uitvoeren in het natuurgebied (en tevens grondwaterbeschermingsgebied) Oranjezon (De Manteling) ten behoeve van het project Zandbrommer (lit. 25). De provincie overweegt in dat project een habitatsverbetering te bewerkstelligen door kalkrijk zand naar het achtergelegen gebied te laten stuiven. Daarvoor zijn o.a. 5 diepere boringen geplaatst bovenop de buitenste duinenrij. Deze zijn onder andere in verschillende dieptetrajecten geanalyseerd op PFAS.

Bij deze diepere boringen in De Manteling is het hoogste PFOS-gehalte altijd dieper dan 2 m-mv gemeten:

Boring	Toelichting
Boring 102 tot 4 m-mv	Hoogste meetwaarde PFOS in 3-4 m-mv (9,2 µg/kgds);
Boring 202 tot 4 m-mv	Hoogste meetwaarde PFOS in 3-4 m-mv (2,5 µg/kgds)
Boring 302 tot 6 m-mv	PFOS > 3 µg/kgds van 1 m-mv t/m 6 m-mv, hoogste meetwaarde PFOS in 3-4 m-mv (6,6 µg/kgds)
Boring 402 tot 4 m-mv	Hoogste meetwaarde PFOS in 2-3 m-mv (5,4 µg/kgds)
Boring 502 tot 4 m-mv	Hoogste meetwaarde PFOS in 2-3 m-mv (5,9 µg/kgds)

Soms grote verschillen binnen de bovenste halve meter (de 'bovengrond')

In milieu-hygiënisch bodemonderzoek in Nederland wordt in het algemeen gekeken naar de bovenste 2 meter vanaf het maaiveld. Daarbij wordt het dieptetraject 0-0,5 m-mv 'bovengrond' genoemd en het dieptetraject 0,5-2,0 m-mv 'ondergrond'. Normaliter wordt in milieu-hygiënische bodemonderzoeken het dieptetraject 0-0,5 m-mv zonder nadere onderverdeling als bovengrond bemonsterd en geanalyseerd.

In de onderzochte raaien is de bovenste halve meter in drie afzonderlijke dieptetrajecten bemonsterd en geanalyseerd (0-0,1, 0,1-0,3 en 0,3-0,5 m-mv).

Daarbij blijken binnen de bovenste halve meter soms grote verschillen voor te komen. Het ene monster voldoet niet aan de toepassingswaarde voor wonen en industrie, terwijl bij diezelfde boring in een ander monster uit de bovenste halve meter geen gehalte PFAS boven de landelijke achtergrondwaarde is gemeten.

PFOA

In de 5 onderzochte raaien zijn voor PFOA in de meeste boringen geen gehalten boven de landelijke achtergrondwaarden aangetoond. In sommige boringen zijn wel PFOA-gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten. Het is niet duidelijk waardoor in deze boringen juist wel een gehalte boven de achtergrondwaarde is gemeten.

Er is geen verband tussen PFOS en PFOA. Bij de monsters met de hoogste PFOS-gehalten zijn soms geen gehalten PFOA boven de detectiegrens aangetoond (bijvoorbeeld boring 21 en 22).

PFOA is mobieler dan PFOS. In (schraal) duinzand blijft PFOA minder bovenin het bodemprofiel hangen en wordt meer naar grotere diepte getransporteerd. De PFOA-gehalten in de bovengrond zijn bovenin de duinen lager dan in het binnenland van Walcheren.

Overige individuele PFAS

De meeste overige PFAS zijn in de 5 onderzochte raaien zelden of nooit boven de detectiegrens (0,1 µg/kgds) aangetoond.

PFBA is in ongeveer een kwart van de monsters boven de detectiegrens aangetoond. Vrijwel altijd betreft dit monsters uit de bovenste halve meter.

Voor PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA en PFHxS is in 10 tot 20% van de raaimonsters een gehalte boven de detectiegrens aangetoond. In het algemeen betreft dit gehalten van 0,1 of 0,2 µg/kgds.

PFNA is gecorreleerd met PFOS. De monsters met de 10 hoogste meetwaarden van PFNA (0,3 – 0,5 µg/kgds) hebben allen een gehalte PFOS hoger dan 10 µg/kgds. Ook PFDA lijkt gecorreleerd met PFOS.

PFHpA en PFHxS lijken eerder gecorreleerd met PFOA. Deze zijn vooral boven de detectiegrens aangetoond bij hogere PFOA-gehalten.

3.4 Veerse Meer

Volledigheidshalve heeft de gemeente Veere in juli 2024 ook PFAS-onderzoek uitgevoerd op enkele onverharde locaties in gemeentelijk eigendom langs het Veerse Meer.

Dit betreft de volgende locaties:

- raai 7: duinen nabij Fort den Haak (vlakbij de Veerse Gatdam);
- raai 8: strandje en dijkje bij jachthaven Oostwatering ten noordwesten van Veere;
- raai 9: in Veere.

De meetresultaten voor PFOS en PFOA zijn weergegeven in bijlage 5-1 en 5-2.

Uit deze gegevens lijkt geen seaspray-effect naar voren te komen langs het Veerse Meer. Verhoogde gehalten lijken hier een andere, lokale oorzaak te hebben.

In de boringen nabij Fort den Haak (raai 7) zijn geen gehalten PFOS of PFOA boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten.

In het buitentalud van het dijkje bij de jachthaven (raai 8) zijn in boring 81 alle monsters tot 0,7 m-mv gehalten PFOS boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie gemeten. Deze boring is op 0,7 m-mv gestaakt op een harde laag. Uit oude topografische kaarten wordt opgemaakt dat hier in de jaren 80 van de vorige eeuw een kleidek is aangebracht op een stenen krib. Vermoedelijk zijn de verhoogde PFOS-gehalten door grondverzet op deze locatie gekomen, omdat de beide andere boringen geen vergelijkbaar beeld vertonen.

In raai 9 (Veere) zijn in de boringen het dichtst bij het Veerse Meer geen gehalten PFAS boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten. In boring 93 bovenop de vestingwal zijn in het monster 0,1-0,3 m-mv gehalten PFOS en PFOA net boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten.

In boring 94 het verst van het Veerse Meer zijn geen gehalten PFOS of PFOA boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten, maar zijn wel enkele andere PFAS verhoogd aangetoond. Bovenin het bodemprofiel is het gehalte PFBA en PFPeA (tot 0,3 m-mv) respectievelijk PFHxA en PFHpA (tot 0,1 m-mv) hoger dan 1,4 µg/kgds. Deze verhoogde gehalten hebben een lokale – en vooralsnog onbekende – oorzaak.

3.5 Verhoogde PFAS-gehalten langs de Westerschelde

In 2022-2023 is het effect van seapray onderzocht in een strook van 500 meter langs de noordkant van de Westerschelde, vanaf de Belgische grens tot Vlissingen (lit. 6). Op Zuid-Beveland zijn 19 raaien onderzocht. In opdracht van de gemeente Vlissingen en het waterschap zijn 3 raaien onderzocht bij Ritthem (raai 20 t/m 22) (lit. 26).

Per raai is het dwarsprofiel van de Westerscheldedijk op 4 of 5 plekken onderzocht op PFAS. Verder is een strook van 500 meter langs de dijk om de 100 meter bemonsterd (voor zover mogelijk) en geanalyseerd op PFAS.

Voor het dwarsprofiel van de Westerscheldedijk bleek het volgende:

- vrijwel overal is in (een deel van) het dwarsprofiel een gehalte PFOS boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie gemeten, tot maximaal 25 µg/kgds;
- vrijwel overal is in (een deel van) het dwarsprofiel een gehalte PFOA boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten;
- in het buitentalud en op de kruin van de dijk zijn de gehalten beduidend hoger dan in het binnentalud;
- er is een grote variatie aan meetwaarden binnen hetzelfde dwarsprofiel;
- geografisch is er geen sprake van een duidelijke trend stroomopwaarts of stroomafwaarts. Er lijkt eerder een verband te zijn met de aan- of afwezigheid van schorren en slikken (waarbij lagere gehalten zijn gemeten waar schorren en slikken voor de dijk liggen);
- ook de expositie van de dijk speelt een rol. De hoogste PFOS-gehalten zijn gemeten in dijkgedeelten met een expositie op het zuidwesten.

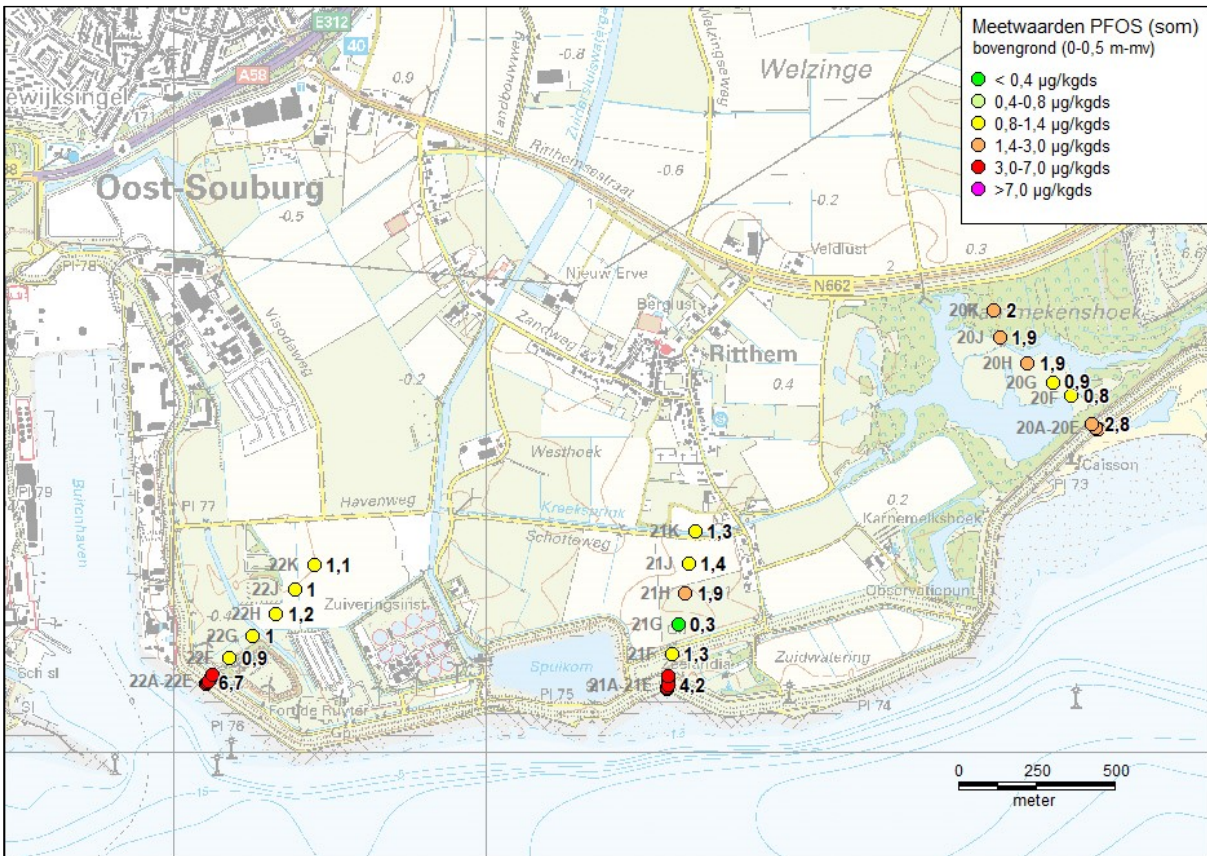
Bij Ritthem zijn de hoogste gehalten gemeten in het dijkprofiel van raai 22 (vlakbij de Buitenhaven): maximaal 6,7 µg/kgds PFOS en maximaal 3,4 µg/kgds PFOA.

In raai 20 (bij Rammekenshoek) zijn in de Westerscheldedijk geen gehalten boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie gemeten (maximaal 2,8 µg/kgds PFOS en maximaal 1,8 µg/kgds PFOA.)

In de strook van 500 meter langs de Westerscheldedijk nemen op Zuid-Beveland de gehalten af met de afstand vanaf de dijk, met name in het eerste deel vanaf de dijk.

Bij Ritthem valt in raai 20 en 21 op dat de hoogste gehalten PFOS en PFOA niet in de boringen het dichtst bij de dijk zijn aangetoond, maar in de boringen op 300, 400 en 500 meter van de buitenkruin van de dijk. Hiervoor is vooralsnog geen verklaring.

Er zijn bij Ritthem in de strook langs de Westerscheldedijk geen gehalten boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie gemeten.



4 BODEMKWALITEITSKAART PFAS

4.1 Bodemkwaliteitskaart volgens Richtlijn bodemkwaliteitskaarten

In het verleden werd in de landelijke regelgeving voorgeschreven dat een bodemkwaliteitskaart wordt opgesteld conform de Richtlijn bodemkwaliteitskaarten (lit. 27). Onder de Omgevingswet zijn er geen landelijke voorschriften meer over hoe een bodemkwaliteitskaart wordt opgesteld. Wel wordt de Richtlijn bodemkwaliteitskaarten (nu als 'Handreiking bodemkwaliteitskaarten') gecommuniceerd als 'aanbevolen werkwijze'.

De algemene werkwijze bij het opstellen van een bodemkwaliteitskaart komt op het volgende neer:

In een bodemkwaliteitskaart wordt een gebied ingedeeld in één of meer zones met een milieu-hygiënisch vergelijkbare algemene bodemkwaliteit. Gebieden met eenzelfde historie hebben in het algemeen een vergelijkbare diffuse bodemkwaliteit. Dit betekent dat de indeling in zones gebeurt op basis van algemene historische gegevens (onderscheidende kenmerken) zoals bodemopbouw, (voormalig) landgebruik en ouderdom van woonwijken en bedrijfsterreinen.

Vervolgens worden de analyseresultaten van binnen de zones uitgevoerde bodemonderzoeken geanalyseerd. Per zone worden verschillende statistische kengetallen berekend voor verschillende stoffen. Op basis van deze berekeningen en het ruimtelijke patroon van de waarnemingen wordt de zone-indeling getoetst en zo nodig bijgesteld. Er wordt gekeken welke analyseresultaten niet representatief zijn voor de algemene zonekwaliteit, zodat deze gegevens als uitbijters buiten de dataset van de zoneringsberekeningen worden gelaten. De uiteindelijke indeling in zones is dus een combinatie van historische informatie en statistische bewerkingen.

Volgens de Richtlijn bodemkwaliteitskaarten worden de zones geclassificeerd op basis van het rekenkundig gemiddelde. Daarbij worden zones ingedeeld in kwaliteitsklassen: landbouw/natuur, wonen of industrie (of soms slechter).

Volgens de Richtlijn bodemkwaliteitskaarten moeten per zone minimaal 20 waarnemingen beschikbaar zijn.

4.2 Algemene toelichting op bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren

Zone-indeling niet gebaseerd op historisch bodemgebruik

Van oudsher wordt de indeling in zones in een bodemkwaliteitskaart gebaseerd op historisch bodemgebruik. De zone-indeling van de gemeentelijke bodemkwaliteitskaarten voor de standaardstoffen is gebaseerd op de historische ontwikkeling van woonwijken en bedrijfsterreinen en de eventuele aanwezigheid van ophooglagen.

Voor PFAS gaat dit niet op. Diffuse verontreiniging met PFAS is vooral in de landbodem gekomen door atmosferische depositie, rechtstreeks vanuit de schoorsteen van fabrieken zoals Dupont/Chemours of via het proces seaspray. Bij de zone-indeling voor PFAS moet met name worden gekeken naar het

geografische patroon van de PFAS-gehalten. Voor PFAS kunnen zonegrenzen in een bodemkwaliteitskaart minder scherp worden getrokken doordat ze niet gekoppeld zijn aan historisch bepaalde grenzen.

Dataset

Deze bodemkwaliteitskaart is gebaseerd op de gegevens die tot 23 augustus 2024 zijn ingevoerd in Nazca, het gezamenlijke bodeminformatiesysteem van de Zeeuwse gemeenten en RUD Zeeland. De dataset is aangevuld met de gegevens uit de gestratificeerd aselechte steekproef die zijn gebruikt voor de bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren uit 2020.

Bijlage 1 en 2 bevatten overzichtskarten van de totale dataset voor PFOS en PFOA (inclusief een aantal gegevens die niet representatief zijn voor de bodemkwaliteitskaart).

De volgende gegevens uit Nazca zijn niet weergegeven in bijlage 1 en 2 (en ook niet meegerekend in de bodemkwaliteitskaart):

- slibmonsters uit waterbodemonderzoeken;
- monsters waarbij de boven- en ondergrond zijn gemengd (bijvoorbeeld monsternamen over dieptetraject 0-1,0 m-mv);
- een enkel monster uit een saneringsonderzoek: net als in de gemeentelijke bodemkwaliteitskaarten voor de standaardstoffen zijn gegevens uit onderzoekstypes gerelateerd aan saneringen (SO, SP, SE, BUS-meldingen) op voorhand uitgesloten van de bodemkwaliteitskaart;
- monsters van een puinlaag (geen bodemmateriaal) van een locatie aan de Krooneveldweg in Middelburg (onderzoek-ID 196707 en 206088 in Nazca).

De volgende gegevens uit Nazca zijn wel weergegeven in bijlage 1 en 2, maar niet meegerekend in de bodemkwaliteitskaart:

- 2 bekende lokale PFAS verontreinigingen:
 - ter plaatse van de brandweeroefenlocatie aan de Oosterhavenweg in Vlissingen
 - ter plaatse van het voormalige Hotel Britannia aan de boulevard in Vlissingen;
- monsters die buiten het bodembeheergebied liggen waarvoor de gemeente het bevoegd gezag is (bijvoorbeeld bij de boulevard in Vlissingen);
- 28 monsters uit wegbermen in de gemeente Veere: voor wegbermen geldt in de provincie Zeeland een afzonderlijke bodemkwaliteitskaart (lit. 28);
- monsters uit het dijkprofiel van de Westerscheldedijk uit 3 raaien die in de zomer van 2023 onderzocht zijn bij Ritthem (boring 20A t/m 20E, boring 21A t/m 21E en boring 22A t/m 22E uit lit. 6 en 26). In de Westerscheldedijk zijn de PFAS-gehalten hoger dan in de rest van de gemeente Vlissingen.

Bij overlappende bolletjes zijn in deze kaarten de bolletjes met de hoogste gehalten bovenop gelegd. Bij de raaien uit paragraaf 3.3 zijn per boring de hoogste meetwaarden weergegeven.

In het algemeen zijn in Nazca de afzonderlijke boorpunten ingetekend. Indien mengmonsters zijn geanalyseerd zijn in dat geval de gehalten weergegeven op de gemiddelde x- en y-coördinaten van de boringen waaruit het mengmonster is samengesteld. Bij enkele onderzoeken is alleen een rapportcontour ingetekend. In dat geval zijn in bijlage 1 en 2 stippen met de maximale meetwaarde uit het onderzoek geplaatst op het middelpunt van de rapportcontour.

Verskil tussen verhard en onverhard terrein

De dataset bevat zowel gegevens van verhard terrein als van onverharde locaties. Op onverharde terreindelen komen hogere PFAS-gehalten in de bodem voor dan op verhard terrein.

Dit komt bijvoorbeeld duidelijk naar voren in een onderzoek dat rond de locatie van het voormalige Hotel Britannia in Vlissingen is uitgevoerd (lit. 29).

In dat onderzoek zijn zowel monsters onder een tegelverharding als monsters van onverharde terreindelen onderzocht. De gehalten in boringen onder tegelverharding zijn beduidend lager dan bij de boringen op onverharde terreindelen⁸:

Bandbreedte gehalten bovengrond (0-0,5 m-mv), in µg/kgds:

	Aantal	Minimum PFOS	Maximum PFOS	Gemiddelde PFOS	Minimum PFOA	Maximum PFOA	Gemiddelde PFOA
Tegelverharding	7	0,2	0,7	0,5	< 0,2	0,4	0,2
Onverhard	8	2,3	6,7	4,2	0,5	2,1	1,3

Bandbreedte gehalten ondergrond (0,5-1,0 m-mv), in µg/kgds:

	Aantal	Minimum PFOS	Maximum PFOS	Gemiddelde PFOS	Minimum PFOA	Maximum PFOA	Gemiddelde PFOA
Tegelverharding	7	0,1	1,7	0,6	< 0,2	0,4	0,2
Onverhard	8	0,2	5,3	2,5	0,1	4,0	1,1

Zones in de bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren 2025

In deze bodemkwaliteitskaart is Walcheren voor de stofgroep PFAS ingedeeld in 3 zones:

Zone	Kwaliteit o.b.v Handelingskader PFAS Bovengrond (0-0,5 m-mv)	Kwaliteit o.b.v Handelingskader PFAS Ondergrond (0,5-2,0 m-mv)
Zone PFAS Overig Walcheren	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur
Zone PFAS Vlissingen	Voldoet aan Toepassingswaarden voor wonen en industrie	Voldoet aan Toepassingswaarden voor landbouw/natuur
Zone PFAS Kuststrook Walcheren	Variabel tot boven toepassingswaarden voor wonen en industrie	Variabel tot boven toepassingswaarden voor wonen en industrie

⁸ 4 boringen op de Boulevard Evertsen met een asfaltlaag onder een dun zandlaagje met tegenverharding zijn in onderstaande tabellen buiten beschouwing gelaten. De gehalten in die boringen zijn nog iets lager dan in de boringen met tegelverharding.

Deze zones worden verder toegelicht in paragraaf 4.3 t/m 4.5.

De statistische kengetallen voor deze zones zijn opgenomen in bijlage 6A t/m 6C.

De statistische kengetallen zijn bepaald voor de volgende dieptetrajecten:

- bovengrond 0-0,5 m-mv (middelpunt monster tussen 0 en 0,5 m-mv)
- ondergrond 0,5-1,0 m-mv (middelpunt monster tussen 0,5 en 1,0 m-mv)
- ondergrond 1,0-2,0 m-mv (middelpunt monster tussen 1,0 en 2,0 m-mv)

De bodemkwaliteitskaart voor PFAS is in kaart weergegeven in bijlage 7A t/m 7C:

- 7A: zone-indeling
- 7B: ontgravingskaart bovengrond
- 7C: ontgravingskaart ondergrond

4.3 Zone PFAS Kuststrook Walcheren

De zone PFAS Kuststrook Walcheren bestaat grotendeels uit het duingebied van Walcheren. Daarnaast zijn delen van de dorpen Zoutelande, Westkapelle en Domburg opgenomen in deze zone voor zover deze binnen een strook van 500 meter vanaf de duinvoet liggen. Hetzelfde geldt voor delen van agrarische percelen die binnen deze strook van 500 meter liggen.

Op Neeltje Jans zijn meestal geen gehalten PFAS boven de landelijke achtergrondwaarden gemeten. Daarom is Neeltje Jans niet in deze zone opgenomen, maar in de zone PFAS Overig Walcheren.

Binnen de zone PFAS Kuststrook Walcheren moet rekening worden gehouden met mogelijk hogere PFAS-gehalten (met name PFOS) dan de landelijke achtergrondwaarde als gevolg van seaspray. Dichter bij zee en in sterk humeuze toplagen kunnen dat gehalten zijn die niet aan de toepassingswaarden voor wonen en industrie voldoen. Verder landinwaarts gaat het om gehalten die in de bovengrond mogelijk net iets hoger zijn dan de landelijke achtergrondwaarden (bijvoorbeeld in de gedeelten van agrarische percelen die binnen deze zone vallen).

Binnen de zone hebben de PFOS-gehalten een grote spreiding, zowel in horizontale richting als in de diepte. Dit hangt ook af van de specifieke bodemopbouw op een locatie, met name de aanwezigheid van meer of minder organische stof in het bodemprofiel. Op dit moment valt dat niet in meer detail te begrenzen binnen de zone.

Het rekenkundig gemiddelde voor PFOS is in zowel de boven- als ondergrond lager dan de toepassingswaarde voor wonen en industrie (zie bijlage 6A). Vanwege de spreiding in de gehalten geeft het rekenkundig gemiddelde geen representatief beeld van de te verwachten bodemkwaliteit en is ervoor gekozen om de zone PFAS Kuststrook Walcheren niet te classificeren als 'voldoet aan toepassingswaarde voor wonen en industrie'.

Grond afkomstig uit de zone PFAS Kuststrook Walcheren kan niet zonder onderzoek (keuring) elders op Walcheren worden toegepast. De gemeenten Veere en Vlissingen willen maatwerkregels opnemen in het omgevingsplan om grondverzet binnen deze zone wel op een verantwoorde wijze mogelijk te maken.

Begrenzing van de zone

Aan de zeezijde wordt de grens van de zone in eerste instantie bepaald door de grens van het bodembeheergebied waarvoor de gemeente het bevoegd gezag is voor toepassingen van grond en baggerspecie.

Voorheen bevatte de Waterregeling kaarten met de begrenzing van oppervlaktewaterlichamen waar Rijkswaterstaat waterkwaliteitsbeheerder is en in het verlengde daarvan bevoegd gezag is voor toepassingen van grond en baggerspecie. Met het in werking treden van de Omgevingswet is deze kaart overgegaan naar de Omgevingsregeling.

Zo valt de boulevard van Vlissingen op grond van de kaart bij de Waterregeling respectievelijk de Omgevingsregeling in het gebied waarvoor Rijkswaterstaat het bevoegd gezag is, oftewel buiten de landbodem waarvoor de gemeente bevoegd gezag is. Als concreet voorbeeld: de juridische grens tussen “landbodem” en “waterbodem” ligt bijvoorbeeld bovenaan de Leeuwentrap.

Tussen Vlissingen en Westkapelle volgt voornoemde grens uit de Omgevingsregeling de duinvoet⁹, zodat tussen Vlissingen en Westkapelle de grens uit de Omgevingsregeling is aangehouden.

De Westkapelse Zeedijk heeft over een afstand van circa 3 km een buitentalud dat al vele jaren geheel verhard is met asfalt. Hier is de zonegrens bovenop de dijk gelegd aan de rand van de asfaltverharding.

Langs de noordwestkant van Walcheren tot bij Breezand ligt de grens uit de Omgevingsregeling in zee, op 200 à 300 meter van de duinvoet. Hier is ervoor gekozen om het strand niet in de zone op te nemen en als zonegrens de duinvoet te volgen.

Aan de landzijde geven de onderzochte raaien inzicht hoe ver landinwaarts hogere PFAS-gehalten dan de landelijke achtergrondwaarde voorkomen:

Raai	Toelichting
Raai 2 (Domburg)	Boring 27 ligt op circa 500 meter van de duinvoet en in deze boring zijn geen gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde meer gemeten
Raai 3 (Westkapelle)	Boring 35 ligt op ongeveer 450 meter van de waterlijn en in deze boring is geen PFAS boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten;
Raai 4 (Zoutelande)	De laatste boring (boring 47) van deze raai bevindt zich aan de rand van de duinen op een afstand van circa 400 meter van de duinvoet. In de humeuze toplaag is hier nog een gehalte PFOS boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie gemeten.
Raai 5 (Dishoek)	Op iets meer dan 500 meter van de duinvoet is in de bovenste 10 cm een gehalte PFOS net boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten (1,6 µg/kgds).

Op basis van deze raaien is ervoor gekozen om de grens van de zone in principe op 500 meter van de duinvoet te leggen. Waar de duinen breder zijn dan 500 meter is in principe het hele duingebied in de zone opgenomen.

⁹ Afgezien van een stukje duin in Westkapelle over een lengte van 200 meter lang met een breedte tot maximaal 80 meter.

Enkele uitzonderingen:

- In het duingebied bij Breezand is de zone smaller gemaakt op basis van de beschikbare onderzoeksgegevens;
- de Veerse Gatdam had tot het begin van de 21^e eeuw een kale asfaltbekleding. Pas sinds het begin van deze eeuw is deze overstoven met zand en begroeid geraakt. Er zijn geen PFAS-gegevens van de Veerse Gatdam. Zekerheidshalve is de Veerse Gatdam (afgezien van de weg) in de zone PFAS Kuststrook Walcheren opgenomen;
- In Westkapelle valt een klein deel van de volkstuin aan de Jan Campertstraat binnen de strook van 500 meter. De gemeente Veere heeft hier bodemonderzoek laten uitvoeren (lit. 30). Op basis van deze onderzoeksresultaten is de hele volkstuin buiten de zone PFAS Kuststrook Walcheren gelaten.
- bij de Westkapelsche Kreek valt een klein stukje aan de overzijde van de kreek (bij de N288) binnen de strook van 500 meter. Hier is ervoor gekozen om de grens op de Westkapelsche Kreek te leggen;
- in Vlissingen is het Nollebos opgenomen in de zone PFAS Kuststrook Walcheren. Het gedeelte van de wijk Paauwenburg dat binnen de 500 meter strook valt is opgenomen in de zone PFAS Vlissingen. Vanwege de onderzoeksgegevens uit lit. 29 is een strook achter de boulevard inclusief de Spuikom opgenomen in de zone PFAS Kuststrook Walcheren. De binnenstad is daar niet in opgenomen omdat in de binnenstad weinig onverhard terrein voorkomt.

4.4 Zone PFAS Vlissingen

In de bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren uit 2020 kwam al naar voren dat in Vlissingen net wat hogere PFAS-gehalten voorkomen dan op de rest van Walcheren. Op dat moment was nog niet duidelijk dat het proces seaspray hieraan ten grondslag ligt. In de bodemkwaliteitskaart PFAS uit 2020 is een aantal zones uit de bodemkwaliteitskaart voor de standaardstoffen samengevoegd in de zone 'PFAS bedrijfsterreinen en binnenstad Vlissingen'.

Inmiddels zijn beduidend meer gegevens beschikbaar dan in 2020, ook uit extra onderzoek dat de gemeente Vlissingen heeft laten uitvoeren. Daarbij zijn ook verder landinwaarts vanaf de zee en de Westerschelde op onverharde plekken PFOS-gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten. Met de beschikbare gegevens kan niet goed een grens binnen de gemeente Vlissingen getrokken worden tot waar PFOS-gehalten boven de landelijke achtergrondwaarde kunnen worden verwacht. Daarom is de praktische keuze gemaakt om de hele gemeente in te delen in de zone PFAS Vlissingen (afgezien van het deel dat in de zone PFAS Kuststrook Walcheren zit).

PFOA is in de zone PFAS Vlissingen zelden boven de landelijke achtergrondwaarde gemeten en tot dusverre nooit boven de toepassingswaarde voor wonen en industrie.

Het rekenkundig gemiddelde van PFOS is in de bovengrond van de zone PFAS Vlissingen 1,2 µg/kgds (bijlage 6B), oftewel lager dan de landelijke achtergrondwaarde. In 30% van de bovengrondmonsters van deze zone is echter een PFOS-gehalte hoger dan de landelijke achtergrondwaarde gemeten. Daarbij wordt opgemerkt dat de dataset zowel PFAS-gegevens van onverharde terreindelen als onder verhardingen bevat. Zoals in paragraaf 4.2 al beschreven voor de omgeving van Britannia worden op onverharde terreindelen beduidend hogere PFOS-gehalten aangetroffen dan onder verhardingen.

Gezien de grote kans dat in de bovengrond van een onverharde locatie een gehalte PFOS boven de landelijke achtergrondwaarde wordt aangetroffen is de bovengrond van de zone PFAS Vlissingen geclassificeerd als 'voldoet aan de toepassingswaarden voor wonen en industrie' (en niet geclassificeerd als 'voldoet aan de toepassingswaarden voor landbouw/natuur').

In de ondergrond zijn de PFAS-gehalten beduidend lager. De ondergrond van de zone PFAS Vlissingen is daarom wel geclassificeerd als 'voldoet aan de toepassingswaarden voor landbouw/natuur'.

4.5 Zone PFAS Overig Walcheren

De zone PFAS Overig Walcheren omvat de hele gemeente Middelburg, alsmede het grootste deel van de gemeente Veere voorzover niet opgenomen in de zone PFAS Kuststrook Walcheren (waaronder Neeltje Jans).

Neeltje Jans is bij de zone PFAS Overig Walcheren gevoegd omdat zowel in raai 1 uit paragraaf 3.3 als in de overige uit Nazca beschikbare bodemonderzoeken in het algemeen geen gehalte boven de landelijke achtergrondwaarde is gemeten.

Zowel de boven- als ondergrond van deze zone voldoen aan de landelijke achtergrondwaarde oftewel aan de toepassingswaarde voor landbouw/natuur.

Plaatselijk kunnen wel hogere PFAS-gehalten worden aangetroffen die niet altijd worden verwacht op basis van het historisch vooronderzoek zoals dat normaliter voorafgaand aan een verkennend bodemonderzoek wordt uitgevoerd en waarvan de verklaring niet altijd direct duidelijk is. Grondverzet uit het verleden kan hiervan een oorzaak zijn

De gegevens van deze locaties zijn wel meegerekend in de statistische kengetallen in bijlage 6C, omdat deze locaties in het gebruikelijke historisch vooronderzoek niet op voorhand worden gesignaleerd. In bijlage 6C heeft dit alleen een zichtbaar effect op de laatste kolom met Maximale meetwaarde. Voor de overige statistische kengetallen maakt het al of niet meerekenen van deze gegevens geen verschil of hooguit een verschil van 0,1 µg/kgds.

LITERATUUR

1. Bodemkwaliteitskaart PFAS Walcheren; Marmos Bodemanagement, 15 september 2020.
2. Bodemkwaliteitskaart PFAS Zeeuws-Vlaanderen; Marmos Bodemanagement, 25 september 2020.
3. Bodemkwaliteitskaart PFAS Bevelanden en Tholen; Marmos Bodemanagement, 11 augustus 2020.
4. Voorlopige bodemkwaliteitskaart PFAS gemeente Schouwen-Duiveland; Marmos Bodemanagement, 29 juli 2020.
5. Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie; Kamerstukken II, 2018/19, 28089 nr. 146, bijlage bij Kamerbrief van 8 juli 2019.
6. PFAS in een strook van 500 meter langs de noordkant van de Westerschelde; Marmos Bodemanagement, 13 september 2023.
7. NEN5740, Bodem – Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van verkennend bodemonderzoek – Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond; NEN, januari 2009.
8. Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (versie december 2023), bijlage bij Kamerbrief: Verzamelbrief bodem en ondergrond d.d. 29 december 2023 (IENW/BSK-2023/377869).
9. Nota bodembeheer gemeente Veere. Vastgesteld in de gemeenteraad van 10 februari 2022.
10. Nota bodembeheer gemeente Vlissingen Versie 2023; Vastgesteld in de gemeenteraad van 9 november 2023.
11. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem; A. Wintersen et al., RIVM-briefrapport 2020-0100, 2020.
12. Achtergrondwaarden 2000, TNO-rapport NITG 04-242-A; F.P.J. Lamé (TNO-NITG), D.J. Brus (Alterra) en R.H. Nieuwenhuis (TNO-NITG), 10 december 2004.
13. Achtergrondwaarden PFAS in Zeeland; Marmos Bodemanagement, 19 juni 2020.
14. NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling. Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007. NOBO-2008-029. Grontmij Nederland BV, 12 september 2008.
15. Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van Interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX; A.M. Wintersen en P. Otte, RIVM, 20 juli 2021.
16. Achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing Maximale Waarden PFAS voor toepassen grond en baggerspecie; A.M. Wintersen en P. Otte, RIVM, 20 juli 2021.
17. Sea Spray Aerosol (SSA) as a Source of Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) to the Atmosphere: Field Evidence from Long-Term Air Monitoring; Sha, B., Johansson, J.H., Tunved, P., Bohlin-Nizzetto, P., Cousins, I.T., Salter, M.E., 2022. Environmental Science & Technology 56, 228-238.
18. PFAS in sea-spray aerosols; E. Amato, F. Béen en D. Vughs, KWR. BTO 2023.047, June 2023.
19. Contemporary climatology; A. Henderson-Sellers en P.J. Robinson, 1986
20. PFAS in zeewater en zeeschuim; VITO, januari 2023
21. PFAS in zeeschuim in Nederland; RIVM, 31 oktober 2023.
22. Quick Scan Zeeschuim; Philippart, K., A. Blauw, H. Bolhuis, K. Brandenburg, C. Brussaard, T. Gerkema, P. Herman, A. Hommersom, P. Jacobs, M. Laanen, M. van Leeuwe, A. van den Oever, S. Peters, M. Philippart, J. Pitarch, T. Prins, K. Ruddick, L. Spaias, D. van de Waal, D. Van der Zande & A. Zuur. Rapport van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Bureau Waardenburg BV, Deltares, Highland Statistics, Italian National Research Council (CNR), Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Rijkswaterstaat (RWS-WVL), Technische Universiteit Delft (TUD), Universiteit van Amsterdam (UvA), Universiteit Utrecht (UU), Rijksuniversiteit Groningen (RUG) & Water Insight BV. Texel, mei 2020.

23. De cirkel rond? Eindrapport van de opdrachtgever voor de aanpak van de PFAS problematiek aangesteld door de Vlaamse Regering; Vlaamse overheid, 16 december 2022.
24. Rapportage bodemonderzoek actualisatie bodemkwaliteitskaart PFAS gemeente Veere (versie 2); ABO-Milieuconsult B.V., 15 januari 2025.
25. Inventariserend bodemonderzoek Oranjezon te Walcheren. Project Zandbrommer; ABO-Milieuconsult B.V., 2 februari 2024.
26. Briefrapport bodemonderzoek PFAS Westerscheldedijk Ritthem; SMA Zeeland BV, 27 juli 2023.
27. Richtlijn bodemkwaliteitskaarten; Ministerie van VROM en Ministerie van Verkeer en Waterstaat; gepubliceerd via website NEN, 7 september 2007.
28. Nota bodembeheer inclusief bodemkwaliteitskaart voor wegbermen in de provincie Zeeland – Actualisatie 2020; Marmos Bodemmanagement, 26 november 2020.
29. (Water)bodemonderzoek Kenau Hasselaarstraat en Boulevard Evertsen te Vlissingen; Anteagroup, 30 augustus 2023.
30. Rapportage bodemonderzoek volkstuincomplex Jan Campertstraat te Westkapelle; ABO-Milieuconsult B.V., 11 december 2024.