

Saneringsonderzoek vml. Brandweerkazerne Vliegbasis Soesterberg

Provincie Utrecht en Rijksvastgoedbedrijf

11 april 2022

Contactpersoon

FRANK STRIJBOSCH
Projectleider Bodem

M + 31 (0)6 27062008
E frank.strijbosch@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Vorbereiding sanering voormalige brandweerkazerne	6
1.2	Ernst en spoedeisendheid	7
1.3	Saneringsdoelstelling	7
1.4	Leeswijzer	8
2	Wettelijk kader bodemsanering	9
2.1	Beleid provincie Utrecht	9
2.2	Risicogrenswaarden en INEV's	9
2.3	Handelingskader PFAS	10
2.4	Mogelijke terugsaneerwaarden	10
3	Achtergrondinformatie	12
3.1	Historie	12
3.2	Uitgevoerd bodemonderzoek	13
3.2.1	Verontreinigingssituatie grond	14
3.2.2	Verontreinigingssituatie grondwater	16
3.2.3	Samenvatting verontreinigingssituatie grond en grondwater	18
3.3	Uitgangspunten ruimtelijke ontwikkeling	20
3.4	Risicobeoordeling	21
4	Proefreiniging grond en grondwater	24
4.1	Algemeen	24
4.2	Pilot	24
4.2.1	Grondwasproeven	24
4.2.2	Resultaten uitloogtesten	25
4.2.3	Conclusies Pilottesten	26
4.3	Actuele status reiniging PFAS in grond en grondwater in Nederland	26
5	Modellering	28

5.1	Grondwaterstroming	28
5.1.1	Opzet en kalibratie grondwatermodel	28
5.1.2	Resultaten modellering grondwaterstroming	29
5.2	Verspreiding PFOS	29
5.2.1	Modelaanpassingen	30
5.2.2	Historische fit	30
5.2.3	Autonome ontwikkeling	32
5.3	Grondwatersanering	33
5.3.1	Inleiding	33
5.3.2	Saneringsconcepten	33
5.3.3	Verspreiding na sanering (tot 2250)	38
6	Bouwstenen keuze Saneringswijze	41
6.1	Conceptueel model en systeembegrip	41
6.2	Overzicht van technische mogelijkheden	42
6.3	Keuze- of afwegingsproces	46
6.3.1	Toelichting	46
6.3.2	Voorstel saneringsvarianten	47
6.3.3	Afwegings- of beoordelingsaspecten	48
7	Uitwerking Saneringsvarianten	49
7.1	Grondwatersanering	49
7.2	Variant 0: Maximale sanering	50
7.3	Variant 1: Wonen met tuin (geen kadastrale registratie)	51
7.4	Variant 2: Leeflaag+ 3 µg/kg ds	53
7.5	Variant 3: Leeflaag+ 18 µg/kg ds (Wonen met tuin)	54
7.6	Variant 4: Leeflaag+ 59 µg/kg ds (Wonen met tuin)	56
7.7	Variant 5: Militair gebruik 2009	58
7.8	Overzicht beoordeling saneringsvarianten	59
7.9	Resumé kenmerken en onderscheidende factoren	60
7.9.1	Kenmerken varianten	60
7.9.2	Maatschappelijke en bestuurlijke risico's	60
7.9.3	Onderscheidende factoren	61
8	Aanvullend advies	63

Bijlagen

Bijlage A Tekeningen verontreinigingssituatie	64
A.1 Verontreinigingssituatie Grond	65
A.2 Verontreinigingssituatie grondwater	66
A.3 Woningbouwplan en bomenplan inclusief verontreinigingssituatie grond	67
Bijlage B Resultaten grondwatermodellering	68
Bijlage C Analyseresultaten grondwatermonsternamen oktober 2021	69
Bijlage D Globale ramingen van kosten (varianten)	70
Colofon	71

1 Inleiding

1.1 Voorbereiding sanering voormalige brandweerkazerne

Als gevolg van het gebruik van brandblusschuim zijn grond en grondwater op de voormalige brandweerkazerne en brandblusoefenlocatie van de voormalige vliegbasis Soesterberg verontreinigd geraakt met Poly- en per Fluor Alkyl Stoffen (PFAS), en in het bijzonder PerFluorOctaan Sulfonaat (PFOS). De Provincie Utrecht heeft het voornemen om een deel van de locatie te ontwikkelen tot woningbouw.

Om het terrein geschikt te maken voor woningbouw is bodemsanering noodzakelijk. Als voorbereiding daarop heeft Arcadis in het voorjaar van 2020 op basis van de destijds bekende verontreinigingssituatie en geldende wet- en regelgeving, een verkenning van mogelijke saneringswijzen uitgevoerd, en gepresenteerd in de vorm van een saneringsvisie. Bij het verder invullen van de aanpak van sanering en het beter in beeld brengen van de verontreinigingssituatie zijn de ontwikkelingen in onderzoek en beleid op het gebied van PFAS nauwlettend gevolgd en meegenomen, te weten:

- De provincie Utrecht heeft in het voorjaar 2021, in afwachting van een landelijk normenstelsel, een tijdelijk beleidskader vastgesteld.
- Het RIVM heeft in juli 2021 adviezen uitgebracht voor nieuwe risicogrenzen ten behoeve van interventiewaarden en maximale waarden hergebruik.
- Het Ministerie van IenW heeft in december 2021 een geactualiseerde versie van het handelingskader PFAS gepubliceerd.

In dezelfde periode zijn het bodemonderzoek van Geofoxx en Antea binnen het plangebied en de pilot grondreiniging PFAS houdende grond afgerond. Op basis hiervan is de verontreinigingssituatie vastgesteld in grond en grondwater, waarbij de onderzoeken zich vooral hebben toegespitst op PFOS, de maatgevende verontreinigende stof.

In dit rapport zijn de voorgestelde saneringsvarianten uit een vorige versie van het saneringsonderzoek (maart 2021) aangepast aan deze laatste stand van zaken en worden ze kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief uitgewerkt en vergeleken met elkaar. Het uitwerkingsniveau blijft wel beperkt tot een niveau nodig voor een vergelijking van saneringsvarianten. In de saneringsplanfase zal een aantal aspecten nader moeten worden uitgewerkt, zoals bijvoorbeeld het ontwerp van de grondwatersanering. In het samenstellen van saneringsvarianten spelen drie factoren een rol:

- Geschikt maken voor het beoogde gebruik als woningbouwlocatie.
- Verspreiding zo veel mogelijk tegen te gaan en voldoende bescherming bieden voor de nabijgelegen grondwaterbeschermingsgebieden (stroomafwaarts).
- Verantwoord omgaan met onzekerheden rond deze relatief nieuwe zorgwekkende stofgroep (PFAS).

Scopegebied saneringsonderzoek

Dit saneringsonderzoek omvat het geval van bodemverontreiniging met PFOS, dat is veroorzaakt door de activiteiten op en rondom de voormalige brandweerkazerne en brandblusoefenlocatie. Dit geval van bodemverontreiniging is in 2019 beschikt op basis van het onderzoek van Aveco de Bondt, R-DSK-261-17044402, 27 februari 2019, en is nadien nader onderzocht. Het scopegebied van het saneringsonderzoek wordt gebaseerd op deze recenter verzamelde informatie, zoals weergegeven in hoofdstuk 3 en in bijlage A van dit saneringsonderzoek. Ter illustratie is in afbeelding 1 de omvang van de verontreiniging in grond en grondwater weergegeven. De grondwaterverontreiniging loopt tot buiten de contouren van de planontwikkeling. De voorgenomen ontwikkeling (woningbouw) is nader toegelicht in paragraaf 3.3.

Het gebied bevindt zich globaal tussen de Batenburgweg/Sterrenburgweg te Soesterberg en de landingsbaan van de voormalige Luchtmachtbasis Soesterberg. Wanneer gesproken wordt over de voormalige luchtmachtbasis wordt bedoeld op een omvangrijker gebied dan de contouren van het scopegebied en plangebied.



Afbeelding 1 Scopegebied saneringsonderzoek. Links de verontreiniging in grond, rechts grondwater. De dikke zwarte lijn is de begrenzing van het plangebied van de woningbouwlocatie.

1.2 Ernst en spoedeisendheid

In de risicobeoordeling van mei 2019 heeft Arcadis geconcludeerd dat het hier een ernstig en spoedeisend geval van bodemverontreiniging betreft. Het is aangemerkt als een historisch geval van bodemverontreiniging, omdat de veroorzaking hoofdzakelijk heeft plaatsgevonden voor 2006. Voor PFOS markeert de provincie Utrecht in haar beleidsregels aangaande PFAS-verontreinigingen (gepubliceerd op 7 april 2021) voor PFOS het jaar (van veroorzaking) 2006 als grens tussen wel of niet historisch. De ernst en spoedeisendheid zijn beschikt in mei 2019, waarbij is opgemerkt dat binnen 4 jaar met de sanering moet zijn aangevangen. Na het uitvoeren van de risicobeoordeling in 2019 is het landelijk beleids- of toetsingskader voor de sanering van PFAS-verontreinigingen in grond en grondwater verder ontwikkeld, zie hoofdstuk 2.

De risicobeoordeling uit 2019 is op basis van het uitgevoerde bodemonderzoek en de veranderende wet- en regelgeving eind 2021 herzien. Daarbij is ook onderscheid gemaakt in de risicobeoordeling voor het toekomstige gebruik (wonen met tuin) en het gebruik tijdens terreinoverdracht (militair terrein).

De herziening van de risicobeoordeling heeft geen nieuwe conclusies opgeleverd. Bij het gebruik als militair oefenterrein is sprake van ecologische en verspreidingsrisico's, bij het gebruik wonen met tuin komt daar humaan risico bij. In hoofdstuk 3.4 staat de risicobeoordeling toegelicht.

1.3 Saneringsdoelstelling

De doelstellingen van de geplande sanering worden bepaald door risico's en door gebruiksmogelijkheden, beide in het kader van het toekomstig gebruik. Dit leidt tot het volgende overzicht van generieke saneringsdoelstellingen.

Tabel 1 Generieke saneringsdoelstellingen

Kader	Grond	Grondwater
Wettelijk bepaald (saneringsregeling Wet bodembescherming) en beleid provincie Utrecht	Wegnemen risico's door blootstelling voor gebruikers bij normaal gebruik	Risico's als gevolg van verspreiding, zo veel als redelijkerwijs mogelijk beperken, een stabiele, milieuhygiënisch, acceptabele eindsituatie
Vanuit toekomstige bestemming als woningbouwlocatie	Inrichting gebied zo min mogelijk beperken.	Geen (grondwaterspiegel staat op ongeveer 9,5 m -mv.)

Kader	Grond	Grondwater
	Gebruiksbeperkingen voor toekomstige bewoners en nutsbedrijven en groenbeheerders minimaliseren	
Vanuit ecologie	Minimaliseren risico's voor flora en fauna door ecotoxiciteit en doorvergiftiging.	Geen

Uit het aanvullend onderzoek is gebleken dat de diepere grondverontreiniging onder een groot deel van het plangebied doorloopt tot in of onder grondwaterniveau op ongeveer 10 m -mv. Dit leidt tot gewijzigde inzichten met betrekking tot de technische haalbaarheid van een vergaande grondwatersanering en consequenties voor verspreiding via het grondwater.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 zijn het wettelijk kader en het beleid van de provincie Utrecht opgenomen.
- In hoofdstuk 3 is de achtergrondinformatie van het plangebied samengevat, de historie, de verontreinigingssituatie, de voorgenomen herontwikkeling en de geactualiseerde risicobeoordeling.
- In hoofdstuk 4 is de stand der techniek met betrekking tot reiniging van PFOS houdende grond en grondwater samengevat.
- In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de grondwatermodellering samengevat.
- In hoofdstuk 6 zijn de bouwstenen voor het samenstellen van de varianten beschreven.
- In hoofdstuk 7 zijn de saneringsvarianten beschreven, uitgewerkt en wordt de afweging gemaakt.
- In hoofdstuk 8 is een advies opgenomen om bij nadere uitwerking van het saneringsplan en het vervolgproces in overweging te nemen.

2 Wettelijk kader bodemsanering

2.1 Beleid provincie Utrecht

Op 7 april 2021 heeft de provincie Utrecht een beleidsregel gepubliceerd, waarin is opgenomen hoe om te gaan met PFAS houdende grond en grondwater. Al eerder, in 2019 is door de provincie Utrecht beleid opgesteld, op basis waarvan de beschikking ernst en spoed is genomen. Sinds 2019 zijn de risicogrenswaarden die het niveau van de interventiewaarde vertegenwoordigen naar beneden bijgesteld. Hieronder worden de in de beleidsregel genoemde waarde en de meer actuele waarde genoemd.

De hoofdlijnen van deze beleidsregel zijn:

- Indien de op een locatie aangetroffen gehalten van PFOS of PFOA in de grond lager zijn dan respectievelijk 1,4 µg/kg en 1,9 µg/kg, en/of in grondwater lager dan 0,01 µg/l, wordt de locatie als niet verontreinigd beschouwd.
- Voor alle PFAS-verontreinigingen geldt dat het resultaat na sanering geschikt moet zijn voor een veilig gebruik van de locatie voor mens en milieu. Dit dient per locatie bepaald te worden, waarbij locatiespecifieke omstandigheden betrokken kunnen worden.
- Op gemeten gehalten van PFOS of PFOA in de grond zoals hier bedoeld is de bodemtypecorrectie voor organische stoffen van toepassing als het organisch stofgehalte 10% of hoger is.
- Bij gehalten van PFOS in de grond gemiddeld hoger dan 110 µg/kg (*nu 59 µg/kg*)* en in een volume gelijk aan of groter dan 25 m³, en/of bij gehalten van PFOA in de grond gemiddeld hoger dan 1.100 µg/kg (*nu 60 µg/kg*) in een volume gelijk aan of groter dan 25 m³ is er sprake van een geval van ernstige bodemverontreiniging. In grondwaterbeschermingsgebieden geldt dat bij gehalten van PFOS in grondwater gemiddeld hoger dan 0,2 µg/l (*nu 0,0099 µg/l*)* in 100 m³, en/of gehalten van PFOA in grondwater gemiddeld hoger dan 0,39 µg/l (*nu 0,02 µg/l*)* in 100 m³ er sprake is van een geval van ernstige bodemverontreiniging. Buiten grondwaterbeschermingsgebieden geldt dat bij gehalten van PFOS in grondwater gemiddeld hoger dan 56 µg/l (*nu 2,7 µg/l*)* in 100 m³, en/of gehalten van PFOA in grondwater gemiddeld hoger dan 170 µg/l (*nu 8,6 µg/l*)* in 100 m³ er sprake is van een geval van ernstige bodemverontreiniging.
- Degene die voornemens is de bodem te saneren onderbouwt schriftelijk in een saneringsplan als bedoeld in artikel 39 van de Wet bodembescherming hoe de sanering van de historische bodemverontreiniging met PFOS en/of PFOA wordt uitgevoerd en welke saneringsdoelstelling behaald wordt. Als de saneringsdoelstelling PFOS hoger is dan 59 µg/kg in grond of 0,0099 µg/l in grondwater en/of de saneringsdoelstelling PFOA hoger is dan 60 µg/kg in grond of 0,02 µg/l in grondwater wordt dit gemotiveerd. Alleen indien en voor zover Gedeputeerde Staten schriftelijk instemmen met deze afwijkende saneringsdoelstelling kan deze doelstelling als uitgangspunt worden gekozen voor de sanering.

** Na het verschijnen van de beleidsregel zijn gewijzigde risicogrenswaarden afgeleid door het RIVM (juli 2021). De oorspronkelijke tekst uit april 2021 is hierboven opgenomen, aangevuld met de juiste nieuwe waarden in cursief. De nieuwe waarden worden gebruikt in dit onderzoek (zie ook hierna 2.2).*

2.2 Risicogrenswaarden en INEV's

Het RIVM heeft in 2018/2019 onderzoek gedaan naar de effecten van PFAS op mens en natuur. Dit is gerapporteerd in het memo van RIVM 'Overzicht van risicogrenzen voor PFOS, PFOA en GenX' gedateerd 4 maart 2019. Vervolgens heeft het RIVM op 15 januari 2020, onder meer op basis van die risicogrenzen, de indicatieve niveaus voor ernstige bodem- en grondwaterverontreiniging (INEV's) afgeleid voor deze stoffen. In juli 2021 heeft het RIVM de risicogrenzen bijgesteld naar beneden, op basis van een advies van het Europees Agentschap voor de Voedselveiligheid EFSA (Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX, 20 juli 2021, versie 1.1). De INEV's zijn op dit moment nog niet bijgesteld op basis van deze risicogrenswaarden. Het is de verwachting dat op termijn interventiewaarden zullen worden gepubliceerd op basis van de risicogrenswaarden, waarmee de INEV's komen te vervallen. Vooruitlopend op de publicatie van deze interventiewaarden worden deze meest recente risicogrenzen voor de woningbouwlocatie Soesterberg gehanteerd als saneringscriteria.

Risicogrenzen

De risicogrenzen geven aan of mogelijk sprake is van risico's voor mens of ecologie. Tabel 2 geeft een overzicht van de risicogrenzen zoals die door het RIVM zijn afgeleid ten behoeve van interventiewaarden (RIVM 2021).

Tabel 2 Risicogrenswaarden ten behoeve van interventiewaarden (nog niet vastgesteld)

	Grond	Grondwater	
		Binnen grondwater beschermingsgebieden	Buiten grondwater beschermingsgebieden
PFOS	59 µg/kg ds	0,0099 µg/l (0,01)	2,7 µg/l
PFOA	60 µg/kg ds	0,02 µg/l	8,6 µg/l
GenX	57 µg/kg ds	0,33 µg/l	60 µg/l

Voor PFOS is de risicogrenswaarde voor grond volgens de algemene methodologie afgeleid van het humane risico wonen met tuin: **59 µg/kg ds**. (Deze waarde wordt afgeleid van de meest kritische waarde van het humane risico wonen of ecologie indirect industrie) De waarde voor grondwater bedraagt 2,7 µg/l binnen het plangebied (het plangebied bevindt zich niet in een grondwaterbeschermingsgebied).

Als de grondwaterverontreiniging een grondwaterbeschermingsgebied bereikt, dan is de risicogrenswaarde 0,01 µg/l (dit is voornamelijk niet aan de orde; de reistijd wordt geschat op meer dan 100 jaar).

2.3 Handelingskader PFAS

Op 13 december 2021 is een geactualiseerd handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie door de Rijksoverheid gepubliceerd. In dit handelingskader zijn ter invulling van de zorgplichten, de toepassingswaarden voor hergebruik van grond en baggerspecie op de landbodem en in een oppervlaktewaterlichaam opgenomen. Voor PFOS wordt voor toepassingen op de landbodem geen onderscheid gemaakt tussen waarden voor de toepassingssituatie wonen of industrie. De te hanteren generieke hergebruikswaarde bij wonen is 3 µg/kg ds bij het toepassen van grond. Bevoegde gezagen kunnen gemotiveerd lokaal andere toepassingswaarden kiezen door middel van gebiedspecifiek beleid of een nadere invulling van de zorgplichten (maatwerk).

De Milieudienst Zuidoost-Utrecht heeft in 2011 een Nota bodembeheer opgesteld. Hierin is niet voorzien in nadere invulling van de zorgplichten voor PFAS in de vorm van Lokale Maximale Waarden. Voor PFAS is een achtergrondwaardenkaart opgesteld.

Het plangebied Soesterberg wordt herontwikkeld tot woningbouw. De te kiezen saneringsgrenzen kunnen invloed hebben op de hergebruiksmogelijkheden van grond. Grond die verontreinigd is met PFOS met concentraties boven 3 µg/kg ds kan generiek niet buiten de zone met concentraties boven 3 µg/kg ds of elders buiten de woningbouwlocatie worden toegepast onder de huidige invulling van de zorgplichten zoals opgenomen in voornoemd handelingskader.

2.4 Mogelijke terugsaneerwaarden

Grond

Op basis van de bovenstaande informatie kunnen voor dit geval van bodemverontreiniging de volgende maatgevende risicogrenzen in grond worden afgeleid, waaruit vervolgens de terugsaneerwaarden kunnen worden geselecteerd.

De stofgroep van PFOS blijkt in grond en grondwater maatgevend binnen de stofgroepen die onder PFAS vallen.

Vooral in het geval van PFOS/PFAS is sprake van een keuzeprocess. Soms zijn niet de humane risico's maatgevend, maar de ecologische risico's op basis van doorvergiftiging. Bij het zonder meer kiezen van risicogrenzen op basis van de ecologische risico's moet worden gerealiseerd dat de herontwikkeling binnen het plangebied leidt tot het wegvallen van de gehele bestaande flora, inclusief vergaande kap van bomen. Het effect van kap van bomen en verwijdering van flora en fauna kan het negatieve effect van beperkte verontreiniging met PFOS overschaduwen.

De meest voor de hand liggende terugsaneerwaarde is de risicogrenswaarde op het niveau van de interventiewaarde. Dit is 59 µg/kg ds, en correspondeert met het humane risico bij wonen met tuin. Als eerstvolgende waarde wordt de waarde 18 µg/kg ds gekozen. Dit is de maximale waarde voor het toepassen van PFAS houdende grond of baggerspecie (RIVM briefrapport 29 april 2021), binnen een locatie of gebied, en alleen als dit formeel is vastgelegd. Bij deze waarde voldoet de grond aan de vereiste chemische kwaliteit bij het toekomstig (her)gebruik. Deze waarde is gebaseerd op het ecologisch risico doorvergiftiging, en is lager dan de waarde voor het humane risico of ecologie direct.

Als laagste terugsaneerwaarde is de landelijke hergebruikswaarde van 3 µg/kg ds gekozen. Deze grens correspondeert met indirecte ecologische risico's voor de bestemming natuur, en zijn daarbij ook sterk afhankelijk van het totale verontreinigde oppervlak.

In Tabel 3 worden de mogelijke terugsaneerwaarden voor grond samengevat.

Tabel 3 Mogelijke terugsaneerwaarden op basis van risicogrenzen en hergebruikswaarden PFOS

Criterium	Wonen met tuin, in µg/kg ds PFOS
Hergebruikswaarde (vrij toepasbaar)	3
Risicogrenswaarde t.b.v. maximale waarde (lokaal vrij toepasbaar) hergebruik	18
Risicogrenswaarde t.b.v. interventiewaarden	59

Saneringsdoelstelling grondwater

Voor het grondwater wordt allereerst aansluiting gezocht bij de strategische doelstelling voor mobiele verontreinigingen zoals opgenomen in artikel 38 van de Wet Bodembescherming en nader verwoord in de circulaire Bodemsanering uit 2013. Daarnaast wordt voorgesteld om uit te gaan van de eerder genoemde risicogrenswaarden voor grondwater respectievelijk **2,7 µg/l en 0,01 µg/l** (buiten en binnen grondwaterbeschermingsgebieden). Indien deze getalwaarden redelijkerwijze niet kunnen worden gehaald, moet minimaal sprake zijn van de zogenaamde stabiele, milieuhygiënisch acceptabele eindsituatie zoals bedoeld in de circulaire Bodemsanering. Deze is als volgt omschreven:

“De sanering van mobiele verontreinigingen moet leiden tot een kwaliteit van grond en grondwater die het gewenste gebruik van de boven- en de ondergrond mogelijk maakt, de risico's van de verspreiding van de (rest)verontreinigingen na sanering zo veel mogelijk beperkt en zo min mogelijk nazorg vereist. Dit kan worden beschouwd als een “stabiele, milieuhygiënisch acceptabele eindsituatie”. Met deze omschrijving wordt geen numerieke invulling aan het begrip van de stabiele eindsituatie gegeven.”

In tegenstelling tot eerder definities van de stabiele eindsituatie wordt in de laatste versie niet langer een numerieke invulling (bijvoorbeeld concentratiegrenzen) vereist voor de aanpak, de daadwerkelijke verplaatsing, of vrachtverwijdering. Dit betekent ook dat deze stabiele situatie niet synoniem is met een stationaire of krimpde pluim. Beweging van de verontreiniging is toegestaan, mits deze voldoet aan de bovenstaande voorwaarden, waarbij zo veel als mogelijk moet worden geïnterpreteerd als kosteneffectief, ofwel een evenwichtige verhouding tussen de baten en de lasten van een sanering.

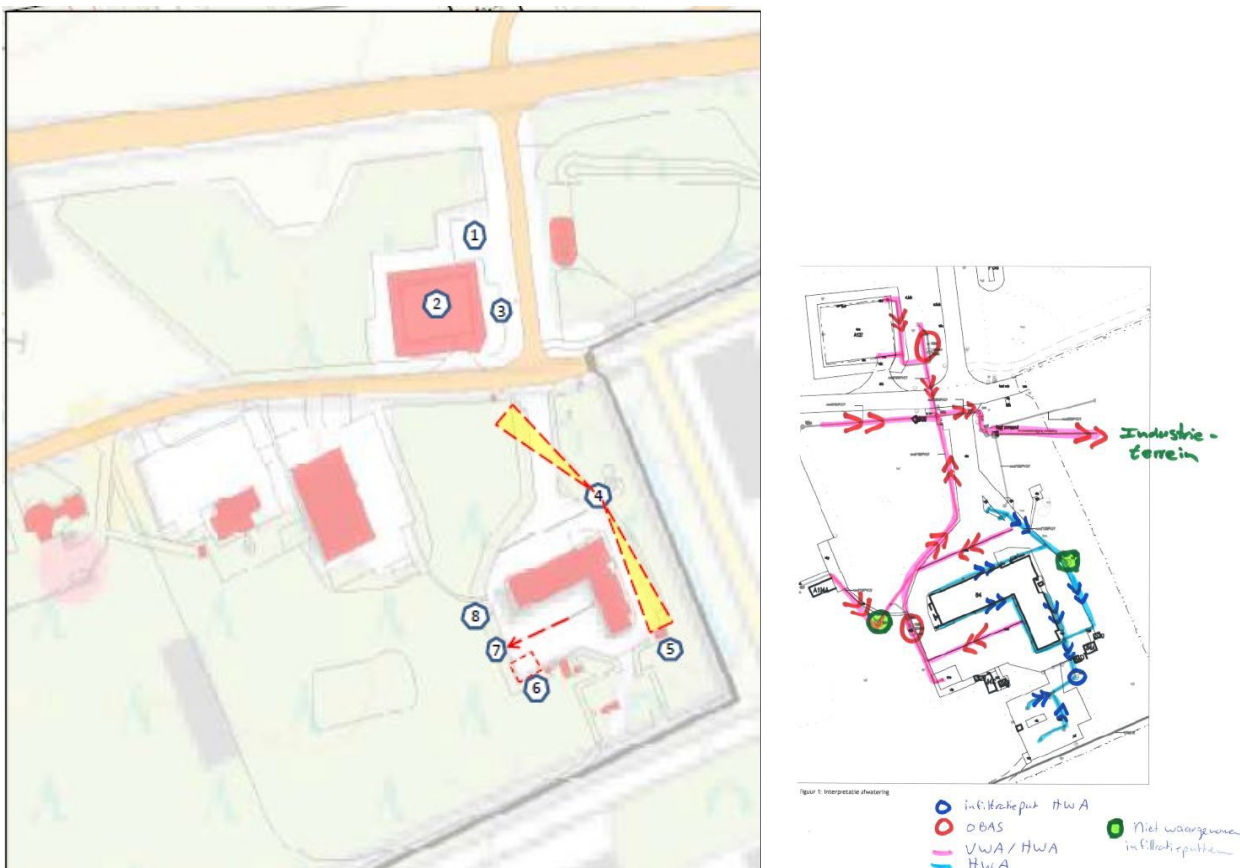
3 Achtergrondinformatie

3.1 Historie

Binnen het plangebied te Soesterberg heeft in het verleden een brandweerkazerne met brandblus oefenplaats gestaan (zie Afbeelding 2). Binnen het plangebied werden op diverse plekken PFAS-houdende middelen gebruikt. In Afbeelding 2 is een overzicht van de potentieel PFAS-verdachte locaties weergegeven.

De locatie van het plangebied is in 1913 in gebruik genomen als militair vliegveld. In de jaren '60 is de oude oefenplaats met vliegtuigmodellen in gebruik geweest. Hier zijn met oude vliegtuigmodellen blus oefeningen uitgevoerd. Op luchtfoto's uit deze periode is geen verharding herkenbaar. Pas in de jaren negentig kwam er een vuilwaterriolering. Op het noordelijke deel van het plangebied is de nieuwere verharde oefenplaats (locatie 2 op onderstaande tekening) vanaf de jaren '90 in gebruik geweest. Hier waren wel bodem beschermende maatregelen aangebracht. De berm van de naastgelegen weg is eveneens verdacht op het voorkomen van PFAS, in verband met het afspoelen van het blusschuim wat op deze weg terecht is gekomen bij brandblus oefeningen.

Op het zuidelijke deel van het plangebied is vanaf de jaren '60 een brandweerkazerne en diverse verhardingen aanwezig. Nabij de brandweerkazerne hebben wekelijkse oefeningen met een hydrant (bluskanon) plaatsgevonden (locatie 4 op onderstaande tekening). De spuitrichtingen van deze oefeningen zijn ook op Afbeelding 2 weergegeven. De vuilwater- en hemelwaterafvoer rondom de brandweerkazerne vond plaats via goten en infiltratieputten, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Afbeelding 2. In de infiltratieputten is op diepte met PFAS-verontreinigd water in de bodem terechtgekomen. De exacte infiltratiediepte is niet bekend. In de jaren '90 is er een vuilwaterriool aangelegd rondom de brandweerkazerne. Daarnaast worden op de locatie van de voormalige brandweerkazerne heterogeen voorkomend kleine bronnen van PFAS-verontreiniging aangetroffen, de oorzaak hiervan is niet bekend. Uit bodemonderzoek op deze verdachte locaties is gebleken dat op en nabij de voormalige brandweerkazerne sprake is van een grond- en grondwaterverontreiniging met PFAS, en dan met name PFOS. De verontreinigingssituatie staat omschreven in navolgende paragrafen.



Afbeelding 2 Locatie potentieel bodembedreigende activiteiten met betrekking tot PFAS binnen het plangebied Soesterberg

Legenda bij afbeelding 2:

1. Oude oefenplaats met vliegtuigmodellen (zie Afbeelding 3).
2. Oefenplaats en opslag en instructie (geen grote schuimblusoefenlocatie).
3. Olie-/waterafscheider oefenlocatie.
4. Vaste Hydrant. Wekelijks met schuimspuiten geoefend, richtingen werden indicatief aangewezen.
5. Opslag vaten AFFF-schuim in latten loods (vatenloods).
6. Spuitplaats waar Brandweerwagens werden afgespoten.
7. HWA-goot (verdacht afvoer PFOS-schuim in bodem). Infiltratieput ligt mogelijk tussen of bij 7 - 8.
8. Aangewezen plek voor bezinkput van HWA van verharding.

Op de rechterafbeelding zijn de afvoerleidingen van het hemelwater (blauw) en vuilwater (roze) zichtbaar.

De blauwe en groene punten betreffen infiltratieputten van het hemelwaterafvoersysteem, de rode punten betreffen de olie/waterafscheiders.



Afbeelding 3 Locatie voormalige oefenplaats met vliegtuigwrakken op het noordelijke deel van het plangebied (locatie 1 in Afbeelding 2). Binnen de rode stippellijn zijn de vliegtuigwrakken die gebruikt zijn bij brandblusoefeningen zichtbaar.

De locatie binnen de groen gearceerde wal betreft de latere oefenlocatie, die verhard was met beton.

3.2 Uitgevoerd bodemonderzoek

Binnen het plangebied zijn de afgelopen jaren diverse onderzoeken uitgevoerd naar de PFAS-verontreiniging in de grond en het grondwater. In het rapport 'Bodemonderzoek rondom voormalige brandweerkazerne Vliegbasis Soesterberg' van Aveco de Bondt (27 februari 2019, kenmerk: R-DSK-261-17044402) staan uitvoerig de historische informatie over het plangebied en de voormalige Luchtmachtbasis en de eerste onderzoeken van de verontreinigingssituatie beschreven. Binnen het plangebied is naast de verontreiniging met PFAS ook sprake van een verontreiniging met minerale olie. Aangezien de PFOS-verontreiniging qua mate en omvang leidend is met betrekking tot de benodigde saneringsmaatregelen, wordt in voorliggende rapportage alleen ingegaan op de PFOS-verontreiniging.

In 2019 en 2020 is door Geofoxx een nader grond- en grondwateronderzoek uitgevoerd naar de verspreiding van PFAS op het plangebied (Rapportage nader onderzoek-2 bodemverontreiniging met PFAS (grond en grondwater), 11 mei 2021, Geofoxx, kenmerk: 20191555_c5RAP).

In dit bodemonderzoek is gefaseerd onderzoek gedaan naar de verontreinigingssituatie in de grond ter plaatse van de geplande woonwijk.

Op basis van deze onderzoeken was de verontreinigingssituatie van met name het grondwater in noordwestelijke richting nog niet volledig in beeld. Daarom is door ANTEA in 2021 aanvullend onderzoek gedaan naar het diepe grondwater in met name de noordwestelijke richting (projectnummer 0471729-100, definitieve revisie 00 d.d. 11 april 2022).

In eerste instantie is de grond tot ongeveer 2 m -mv. op de verdachte locaties onderzocht en zijn diepe boringen en peilbuizen nabij de infiltratieputten geplaatst, om de mogelijke bronnen van de verontreiniging te bepalen en om een algemeen beeld van de verontreinigingssituatie buiten de verdachte locaties te verkrijgen.

De aangetroffen verontreiniging in de grond is vervolgens verder ingekaderd, uiteindelijk tot net onder de grondwaterstand op ongeveer 10 m -mv.). Ook horizontaal gezien is de verontreiniging door middel van meerdere fases grondonderzoek ingekaderd, zodat zowel de oppervlakkige als diepe verontreiniging in de grond tot 3 µg/kg is afgeperkt.

De omvang en verspreiding van de grondwaterverontreiniging is onderzocht door bemonstering van in totaal 54 peilbuizen (waarvan 34 nieuwgeplaatste) met in totaal 107 filters met filterstellingen van 11,5 tot 60 m -mv. geplaatst. In eerste instantie zijn de peilbuizen nabij de verdachte locaties (afbeelding 2), zoals infiltratieputten en de oefenplaats geplaatst. Vervolgens is de grondwaterverontreiniging in westelijke en noordelijke richting verder ingekaderd. De werkzaamheden en resultaten van het onderzoek tot en met oktober 2020 zijn in de rapportage van Geofoxx (Oktober 2020) beschreven. De resultaten van het bodemonderzoek uitgevoerd in januari tot en met maart 2021 zijn door Arcadis beschreven (22 april 2021, kenmerk: D10028444). Het grondwateronderzoek van ANTEA is separaat gerapporteerd. In november 2021 is door Arcadis een herbemonstering uitgevoerd van een aantal peilbuizen. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage C.

In de volgende paragraaf is de verontreinigingssituatie op basis van deze onderzoeken samengevat.

3.2.1 Verontreinigingssituatie grond

Uit het grondonderzoek blijkt dat de grond ter plaatse van de voormalige kazerne en de brandblusoefenlocaties zeer sterk is verontreinigd met PFOS (>1.000 µg/kg ds). Er zijn een aantal verontreinigingskernen aan te wijzen ter plaatse van de infiltratieputten en hydrant op het zuidelijke deel van het plangebied. Daarnaast is sprake van een sterke verontreiniging ter plaatse van de oefenlocaties. Op de rest van het plangebied is sprake van een heterogene verontreiniging met PFOS boven de 3 µg/kg ds., met enkele spots waarin sprake is van gehalten tot boven de risicogrenswaarde van PFOS van 59 µg/kg ds. Hieronder staat de grondverontreiniging nader beschreven. De verontreinigingscontouren zijn opgenomen in de tekeningen in Bijlage A.1. Het volume verontreinigde grond per terugsaneerwaarde en dieptetraject is opgenomen in tabel 4.

Zuidelijk gebied, rondom kazerne

In het zuidelijke deel van de voormalige vliegbasis, rondom de voormalige kazerne, is sprake van enkele kerngebieden waar de PFOS-verontreiniging tot het grondwaterniveau in de grond is aangetroffen in gehalten boven 1000 µg/kg ds PFOS. Dit betreffen onder andere het gebied rond de hemelwaterinfiltratieput, de spoelplaats (locatie 6 en 8 in Afbeelding 2) en ter plaatse van de hydrant en de spuitrichtingen (locatie 4 in Afbeelding 2). Tussen deze kernen in is ook sprake van hoge gehalten boven de risicogrenswaarde van PFOS (59 µg/kg ds) in de grond tot iets onder grondwaterniveau (tot ongeveer 11 m -mv.). Vanaf grondwaterniveau lost de verontreiniging in de grond ogenschijnlijk vrij snel op in het grondwater.

Gezien de aanwezigheid van de kazerne en verhardingen, wordt verwacht dat de mate van verontreiniging, met name de oppervlakkige verontreiniging, ter plaatse van de voormalige kazerne lager zal liggen dan in de omringende boringen. Dit blijkt ook uit de nabij de kazerne geplaatste boringen M04, D31, D33 en M35. De gehalten liggen hier een factor 10 tot 100 lager (<59 µg/kg ds PFOS) dan in de omliggende boringen (>1000 µg/kg ds PFOS).

De mate van verontreiniging is oppervlakkig (<2 m -mv.) over het algemeen groter dan in de diepere bodemlagen. Uitzondering hierop vormen de gemeten gehalten nabij de infiltratieputten. Ter plaatse van de infiltratieputten worden juist rond grondwaterniveau, ongeveer 10 m -mv., hogere gehalten aangetroffen dan op 5 - 6 m -mv., of in de bovenste meters. Dit duidt erop dat de verontreiniging op deze locaties via de infiltratieputten in de grond terecht is gekomen. De oppervlakkige verontreiniging is waarschijnlijk veroorzaakt door het afspoelen van materieel en materiaal, en het gebruik en de opslag van PFAS-houdende materialen. Deze verontreiniging heeft zich ook naar de diepte toe verspreid, maar in mindere mate dan de grondverontreiniging ontstaan door het infiltreren van PFOS-houdend hemel- en afvalwater in de infiltratieputten.

In boring M08, en westelijk van de kern nabij de infiltratieput in het westen van de locatie, is oppervlakkig zelfs geen significante verontreiniging aangetroffen, maar op diepte (10 m -mv.) is wel een gehalte van 1.100 µg/kg ds PFOS aangetroffen.

Dit duidt erop dat de verontreiniging pas op diepte (vanaf 10 m -mv.), waarschijnlijk door infiltratie uit de infiltratieputten, in de grond is ontstaan. Op deze diepte lijkt aan de stroomafwaartse zijde van de bronzone (ten noordwesten van de voormalige kazerne) sprake van een "smeerzone" met hoge concentraties in de grond rond het grondwaterniveau.

Ter plaatse van boring M08 hebben verder voor zover bekend, geen potentieel bodembedreigende activiteiten plaatsgevonden. Dit bevestigt het beeld dat de oppervlakkige verontreinigingen door plaatselijke activiteiten zijn ontstaan en de diepe grondverontreiniging afkomstig is van de infiltratieputten.

Voormalige oefenplaatsen

In het noordelijke deel van de het plangebied, ter plaatse van de oefenplaatsen, is eveneens sprake van sterke grondverontreiniging. De mate van verontreiniging is lager dan de verontreiniging nabij de voormalige kazerne. Ter plaatse van de oefenplaatsen is over het algemeen sprake van een verontreiniging van maximaal enkele honderden µg/kg ds PFOS. Alleen ter plaatse van boring K14 en 35 is sprake van een gehalte PFOS rond de 1.000 µg/kg ds PFOS op 10 m -mv. De sterke verontreiniging bevindt zich op de gehele oude oefenlocatie tot onder het niveau van het grondwater op ongeveer 10 m -mv. en maximaal 11 m -mv.

De sterke verontreiniging in grond bevindt zich ter plaatse van de oude oefenplaats (noordelijke deel van de locatie, nummer 1 in Afbeelding 2) en langs de weg naast de oude oefenplaats. Deze verontreiniging is veroorzaakt door de blusoefeningen die op deze locaties zijn uitgevoerd. Hierbij is de verontreiniging vanaf de verhardingen in de bodem terechtgekomen. Ter plaatse van de nieuwere oefenplaats (locatie 2 in Afbeelding 2) zijn geen gehalten >18 µg/kg ds PFOS aangetroffen. De verharding op deze locatie heeft voor een geringere verspreiding van de verontreiniging gezorgd.

Ter plaatse van de naastgelegen weg is de verontreiniging met name oppervlakkig aanwezig.

De concentraties nemen af naar de diepte toe, en de verontreiniging bevindt zich naar verwachting tot enkele meters in de grond. De verontreiniging PFOS met gehalten >18 µg/kg ds heeft zich niet ten noorden van de weg bij de oude oefenplaats verspreid, met uitzondering van een spot ten noordoosten (boring G09). Dit betreft een verontreiniging met PFOS van beperkte omvang met gehalten boven de 59 µg/kg ds. De oorzaak hiervan is niet bekend.

Overig terrein

Op het overige terrein van het plangebied, maar ook elders op de luchtmachtbasis is over het algemeen sprake van een diffuse verontreiniging in de bovengrond met PFOS tot circa 3 µg/kg ds, of net iets hoger. Direct ten westen van de oefenplaatsen en de kazerne is nog sprake van een diffuse verontreiniging met gehalten PFOS >18 µg/kg ds. In het uiterste westen van de onderzoekslocatie is in enkele boringen geen verontreiniging met PFOS >3 µg/kg ds aangetroffen. Echter kan gezien het verontreinigingsbeeld op de rest van het plangebied niet worden uitgesloten dat ook hier sprake is van verhoogde gehalten PFOS in de grond.

De grondverontreiniging is binnen het plangebied ingekaderd tot 18 µg/kg ds PFOS. De verontreiniging >18 µg/kg ds overschrijdt de grenzen van het plangebied hier niet en bevindt zich met name op de locatie rondom de voormalige kazerne en infiltratieputten en de oefenplaatsen.

De sterke verontreiniging in het zuiden van het plangebied heeft zich richting het westen tot in de bosrand verspreid. Ook onder de bomen is sprake van vergelijkbare gehalten PFOS als in het open gebied. In het bosgebied is sprake van enkele spots met gehalten hoger dan 59 µg/kg ds. Dit betreft naar verwachting een heterogene verontreiniging ontstaan door gebruik en opslag van PFAS-houdende materialen.

Verwacht wordt dat de verontreinigingen buiten de oefenlocaties en voormalige brandweerkazerne oppervlakkige verontreinigingen van beperkte mate en omvang zijn. De verwachting is dat deze verontreinigingen beperkt zijn van diepte (tot maximaal 1 m -mv.) en dat de vracht in deze spots beperkt is.

Westelijk van de voormalige brandweerkazerne zijn in het bos monsters genomen van de toplaag. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen monsters onder de kroonprojectie (gebied waar wortels zitten van de boom) en daarbuiten. Ook zijn meerdere lagen bemonsterd en geanalyseerd. Het blijkt dat de grondconcentraties binnen de kroonprojectie niet of nauwelijks afwijken van direct buiten de kroonprojectie. De verticale indringing is niet beperkt tot een halve meter. Op basis van deze gegevens wordt er van uit gegaan dat voor het saneren van de leeflaag de bomen verwijderd zullen worden.

In onderstaande tabel 4 zijn de berekende volumes grond binnen de verontreinigingscontouren voor de concentratieniveaus van (>3, >18 en >59 µg/kg ds) opgenomen. Deze volumes zijn bepaald op basis van de verontreinigingscontouren op de tekeningen in bijlage A. Er is bij de volumebepaling onderscheid gemaakt in de oppervlakkige verontreiniging tot 1,5 m -mv. en de verontreiniging vanaf 1,5 m -mv. tot onder het grondwaterniveau.

Tabel 4 Oppervlakte en volume verontreinigde grond per concentratieniveau (>3, >18 en >59 µg/kg ds) en per dieptetraject

	Concentratieniveaus (µg/kg ds)		
	59	18	3
Diepte traject (m -mv.)	Volume (m³)		
Tot en met 1,5	16.000	29.000	114.000
1,5 en dieper	73.000	118.000	167.000
0 tot en met 11 (totaal)	89.000	147.000	281.000
Oppervlakte (m²)			
Tot en met 1,5	11.000	19.000	79.000

De grootste volumes van de verontreiniging bevinden zich tot 5 m -mv. in de grond, met enkele kernen tot 11 m -mv. De genoemde volumes betreffen het volume binnen het genoemde dieptetraject wat verontreinigd is tot boven de genoemde concentratieniveaus. Sommige kernen hebben een einddiepte beneden de grondwaterstand, die extra dieptes en volumina zijn meegenomen in de laatste regel in deze tabel.

3.2.2 Verontreinigingssituatie grondwater

De sterke grondverontreinigingen ter plaatse van de oude oefenlocatie en de infiltratieputten bij de voormalige kazerne hebben geleid tot een verontreiniging met PFAS in het grondwater. Een overzicht van de grondwaterverontreiniging op het plangebied en de voormalige luchtmachtbasis is weergegeven op de tekeningen in Bijlage A.2.

De twee bronlocaties hebben geleid tot twee verontreinigingspluimen in het grondwater. In het ondiepe grondwater is sprake van twee verontreinigingspluimen vanuit de noordelijke infiltratieputten, hydrant en de oude oefenplaats en één pluim vanuit de infiltratieputten in het zuidwesten van het plangebied. Vanuit deze pluimen vindt verspreiding van de grondwaterverontreiniging plaats in westelijke tot noordwestelijke richting. In het diepe grondwater (>20 m -mv.) zijn de afzonderlijke pluimen niet meer te onderscheiden en is sprake van een verontreinigingspluim richting het noordwesten. Deze pluim is met name afkomstig van de zuidelijke bronlocatie. Door de omvang en mate van verontreiniging in deze pluim is de pluim vanaf de noordelijke bronlocatie niet duidelijk meer te onderscheiden.

Noorden

In het noorden van de locatie ter plaatse van de oude oefenplaats is vanaf de grondwaterstand tot >24 m -mv. sprake van enkele tientallen µg/l PFOS in het grondwater. In twee peilbuizen is sprake van een gehalte PFOS (27 µg/l) wat 10 keer boven de risicogrenswaarde is gelegen: 36 µg/l op 10,5-11,5 in peilbuis 400-2 (bronlocatie) en 32 µg/l op 23-24 m -mv. in peilbuis K16 (ten westen van bronlocatie).

De verontreiniging neemt op de bronlocatie naar de diepte toe af, en op 16,5 m -mv. is nog 13 µg/l PFOS aangetroffen. Daarom wordt verwacht dat de verontreiniging zich hier niet verder naar de diepte toe heeft verspreid. Stroomafwaarts wordt de verontreiniging wel dieper aangetroffen in concentraties 10 - 32 µg/l PFOS op 24 m -mv. (richting het westen) en 31 m -mv. (noorden). Hier is ondieper juist sprake van lagere gehalten, wat er op duidt dat de verontreiniging naar de diepte zakt. In diepere stroomafwaartse peilbuizen ten noorden van de weg (op 30 en 40 m -mv.) is de grondwaterverontreiniging niet meer aangetroffen. Hiermee is de pluim afkomstig van de oude oefenplaats horizontaal en verticaal voldoende ingekaderd. Richting het westen is de verontreiniging ondiep eveneens voldoende ingekaderd. In het diepe grondwater loopt de pluim vanaf de oude oefenplaats over in de grotere pluim afkomstig van de zuidelijke bronlocatie. Op basis van de samenstelling van de PFAS-verontreiniging is geen goed onderscheid in de 2,7 µg/l-contour van beide pluimen te maken.

Op basis van de gehalten gemeten in de grond rond de grondwaterstand ($>1.000 \mu\text{g/kg}$) is de evenwichtsconstante voor PFOS tussen de grond en het grondwater niet lineair. Bij deze hoge grondconcentraties, waarbij nog sprake zou kunnen zijn van nalevering naar de grondwaterverontreiniging, zijn relatief lage concentraties in het grondwater gemeten.

Zuiden

De grondwaterverontreiniging afkomstig van de infiltratieputten bij de brandweerkazerne in het zuiden van de locatie is qua mate en omvang aanzienlijk groter dan de verontreiniging afkomstig van de voormalige oefenplaats, en is verspreid tot de voormalige landingsbaan. Ter plaatse van de diepe bronzones in het zuiden van het plangebied is sprake van hoge gehalten PFAS tot onder het grondwaterniveau. Richting het westen en noordwesten is sprake van een contour met gehalten boven $10\times$ de risicogrenswaarde ($>27 \mu\text{g/l}$).

In het zuiden van het plangebied is vooral sprake van hoge gehalten PFOS ter plaatse van de infiltratieputten ten westen van de voormalige kazerne. Hier is sprake van gehalten $>27 \mu\text{g/l}$ in het grondwater tot een diepte van ongeveer 30 m -mv. Dieper zijn geen gehalten boven de risicogrenswaarde van $2,7 \mu\text{g/l}$ aangetroffen. Aan de oostelijke zijde van de voormalige kazerne zijn relatief lage gehalten in het grondwater aangetroffen ($<2,7 \mu\text{g/l}$), wat er op duidt dat de bron van de grondwaterverontreiniging bij deze infiltratieputten aan de westzijde ligt.

Het feit dat in deze bronzone bij hoge grondconcentraties ($>1.000 \mu\text{g/kg}$ ds) de grondwaterconcentraties naar verhouding duidelijk lager zijn dan in verderop in de pluim duidt erop dat de evenwichtsconstante (verdeling grond/grondwater) varieert per zone. Gecombineerd met het feit dat de verontreiniging zich al over een grote afstand heeft verplaatst, hetgeen juist wijst op een geringe sorptie, leidt tot de conclusie dat met name de infiltratie van bluswater in de jaren 80 heeft geleid tot de hoge concentraties in het grondwater, en dat de nalevering naar het grondwater vanuit de grondverontreiniging kleiner is dan de lengte van de pluim doet vermoeden.

Pluim

De sterke verontreiniging heeft zich vanaf de infiltratieputten richting het westen en noordwesten verspreid, waarbij direct stroomafwaarts een uitloper zich richting het westen tussen 10 - 17 m -mv. bevindt (tot ongeveer 100 meter vanaf de bronlocatie). Hier is sprake van de hoogste gehalten PFOS, tot $235 \mu\text{g/l}$ op 17 m -mv. in peilbuis J2. De grootste verontreiniging heeft zich echter hoofdzakelijk met de grondwaterstromingsrichting verspreid richting het noordwesten tot 40 à 50 m -mv. op circa 300 meter vanaf de bronlocatie, waar gehalten $>100 \mu\text{g/l}$ zijn gemeten. De verspreiding richting westen is mogelijk veroorzaakt door periodieke infiltratie in de infiltratiesloot aan de oostzijde van de brandweerkazerne.

De hoge gehalten op ongeveer 100 tot 300 m aan de noordwestzijde vanaf de bronlocatie duiden op een pluim waarvan het zwaartepunt zich al geruime tijd verplaatst, en waarvan de nalevering in de bron in het verleden zeer veel groter moet zijn geweest. Gezien de oorsprong van de verontreiniging, en het feit dat de infiltratieputten vanaf medio jaren '90 niet meer in gebruik zijn, is dit een logische ontwikkeling.

Ter plaatse van de landingsbaan, in peilbuis N26, N28 en N29 is geen grondwaterverontreiniging boven de risicogrenswaarde ($2,7 \mu\text{g/l}$) aangetroffen in het diepe grondwater tot 60 m -mv. Hiermee is de grondwaterverontreiniging richting het noordwesten ingekaderd. Er is sprake van een pluim in het diepe grondwater tot aan de landingsbaan.

Zoals bij de beschrijving van de pluim vanaf de oude oefenplaats reeds vermeld, is er geen duidelijk onderscheid te maken tussen de twee pluimen in het diepere grondwater. De gehalten in de noordwestelijke pluim ($>100 \mu\text{g/l}$) zijn niet ter plaatse of rondom de oude oefenplaats gemeten, daarnaast is die verontreiniging in het ondiepe grondwater ingekaderd tot $2,7 \mu\text{g/l}$. De grondwaterstroming in het diepe grondwater (op ca 40 m -mv.) is noordwestelijk gericht. Dit samen maakt het aannemelijk dat de verontreinigingspluim in het grondwater afkomstig is van de zuidelijke bronlocatie (infiltratieputten).

Afhankelijk van de mate waarin de hoeveelheid regen kan infiltreren in de bodem (bijvoorbeeld hoog rondom de landingsbaan of in de oostelijke infiltratiesloot) kan de grondwaterstroming in de bovenste bodemlagen westelijk zijn, en naar de diepte toe neemt geleidelijk de regionale noordwestelijke stromingsrichting de overhand. De verspreiding van de sterke grondwaterverontreiniging ondiep richting het westen en dieper richting het noordwesten, past bij deze interpretatie van het grondwatermodel (hoofdstuk 5).

Binnen het gehele plangebied zijn gehalten $>0,01 \mu\text{g/l}$ PFOS gemeten in het grondwater (de risicogrenswaarde inclusief drinkwater). Deze contour is niet ingekaderd. Het grondwater is tot $0,1 \mu\text{g/l}$ PFOS ingekaderd, deze contour is weergegeven op de tekeningen in bijlage A2.

3.2.3 Samenvatting verontreinigingssituatie grond en grondwater

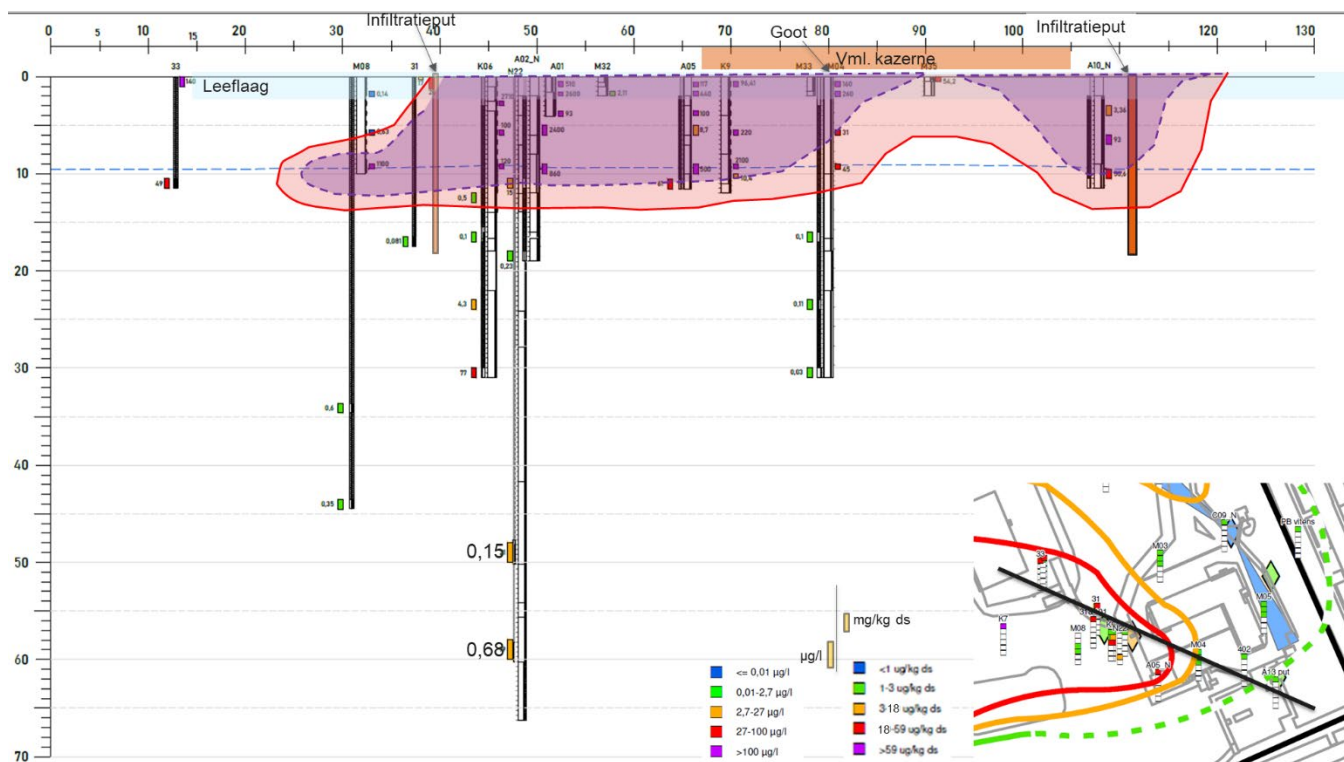
De bodemverontreiniging met PFOS ter plaatse van de voormalige kazerne en oude oefenplaats heeft zich in het verleden door de infiltratieputten snel naar de diepte kunnen verspreiden, tot in het grondwater. Ten gevolge van vooral het oppervlakkige gebruik van blusschuim bevindt de grootste vracht van de grondverontreiniging zich echter vooral in de bovenste bodemlaag. Ter plaatse van de infiltratieputten is ook sprake van zeer hoge concentraties in de grond tot een diepte van minimaal 11 m -mv, tot onder grondwaterniveau, waarvan de nalevering ook na het stoppen van de infiltratie doorgaat.

Ter plaatse van de voormalige oefenplaatsen in het noorden blijkt de grondwaterverontreiniging beperkt. De zuidelijke bronlocatie heeft geleid tot een grondwaterpluim van circa 300 meter richting het noordwesten, waarbij de grondwaterverontreiniging zich vanaf de zuidelijke bronlocatie van 10-30 m -mv. richting het noordwesten tot 35-55 m -mv. heeft verspreid. De grondwaterverontreiniging is ingekaderd tot de risicogrenswaarde van $2,7 \mu\text{g/l}$.

Ter plaatse van de zuidelijke bronlocatie is waarschijnlijk sprake van een soort "smeerzone" rond het grondwaterniveau direct stroomafwaarts van de bronzone. Het sterk geconcentreerde en geïnfiltreerde bluswater heeft zich waarschijnlijk voor een deel horizontaal verspreid op grondwaterniveau. Deze verontreinigingssituatie is ook weergegeven in het dwarsprofiel op afbeelding 4.

In totaal bevindt zich naar verwachting nog circa 100 kg PFOS in de grond. In de volledige grondwaterpluim is sprake van circa 18 kg PFOS (opgeloste fase). Dit zou erop kunnen duiden dat nog nalevering mag worden verwacht vanuit de grondverontreiniging naar het grondwater. Het feit dat in de bron sprake is van lagere gehalten in het grondwater dan verderop in de pluim duidt er echter op dat de nalevering van de grondverontreiniging naar het grondwater reeds is afgenomen. Deze nalevering is echter wel afhankelijk van fluctuaties in het grondwaterniveau. Bij hogere grondwaterstanden zal meer grondverontreiniging in aanraking zijn met het grondwater.

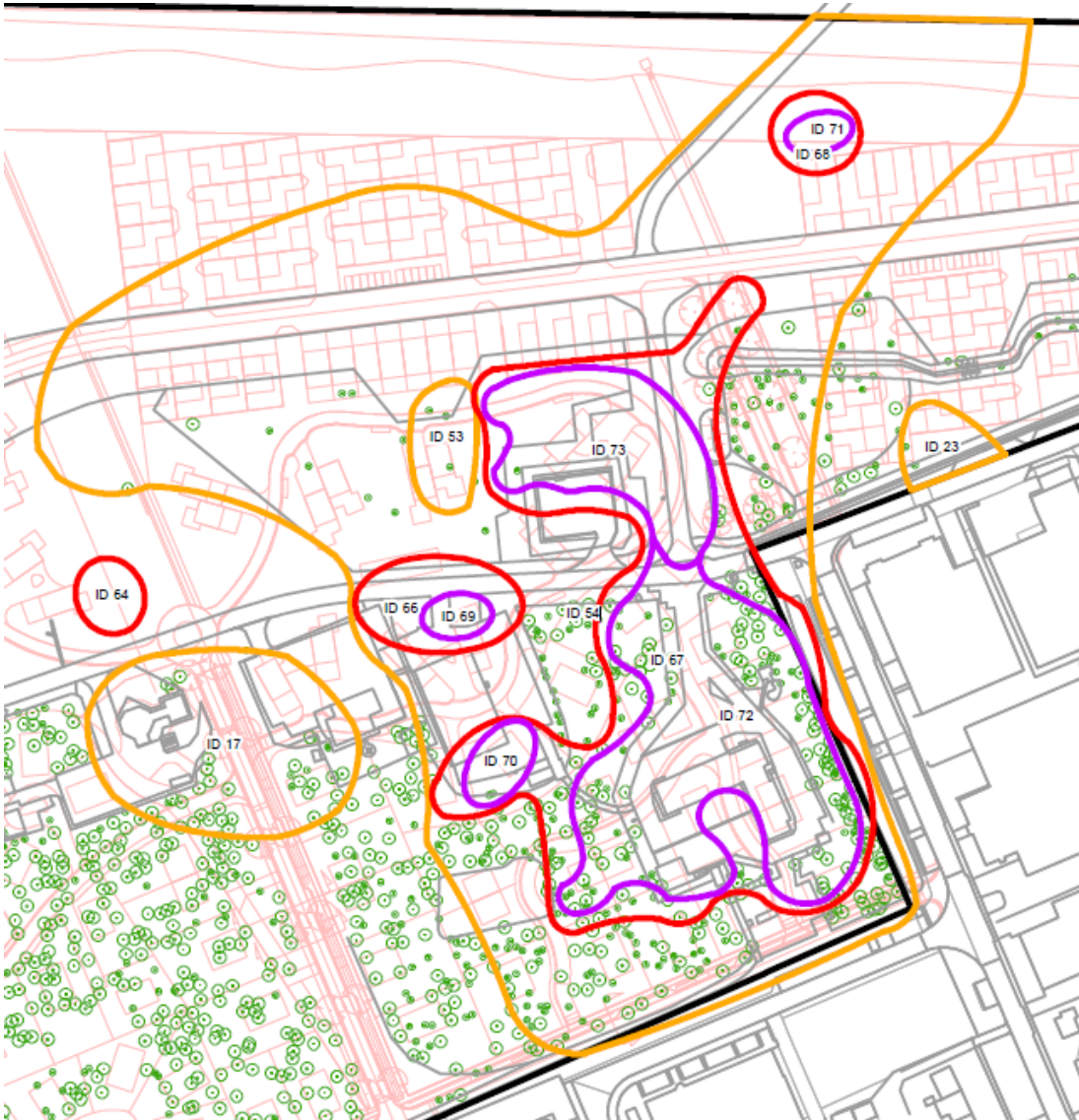
De verhouding tussen de concentraties in grond en grondwater verschilt sterk tussen de "smeerzone" en het pluimgebied. Er is vooral in deze bronzone niet sprake van een eenduidige evenwichtsconstante. In het pluimgebied is wel een evenwichtsconstante afgeleid (zie hoofdstuk 5 modellering). Door deze niet-lineaire relatie tussen de grond- en grondwaterverontreiniging in de bronzone is de nalevering vanuit de grondverontreiniging naar het grondwater aanzienlijk lager dan op basis van de grondconcentraties zou worden verwacht, en zal gezien de trend in de concentraties naar verwachting nog verder afnemen. Het gebied waar nog nalevering naar het grondwater plaats vindt bevindt zich daarbij met name ten westen van de voormalige kazerne, nabij de voormalige infiltratieput.



Afbeelding 4 Schematische weergave dwarsdoorsnede ter plaatse van zuidelijke bronlocatie voormalige kazerne. De contouren betreffen de gehalten in grond boven de risicogrenswaarde van 59 µg/kg ds (paars) en 18 µg/kg ds (rood). De resultaten tonen rechts van het meetpunt de gehalten in grond in µg/kg ds en links het gehalte in grondwater in µg/l PFOS.

3.3 Uitgangspunten ruimtelijke ontwikkeling

In het kader van dit saneringsonderzoek is bijgaand schetsontwerp van het plangebied als uitgangspunt gehanteerd voor de gewenste eindsituatie.



Afbeelding 5 Woningbouwplan en bomenplan ter plaatse van de sterke grondverontreiniging. De volledige tekening is opgenomen in bijlage A3.

Het zuidelijke deel van het plangebied bevat veel bos, zie afbeelding 5. Het behoud van aanwezige bomen is wenselijk vanuit ecologisch perspectief maar niet als voorschrift in het bestemmingplan specifiek genoemd.

De plankaart voor dit deel van de gemeente Soesterberg is opgenomen in Afbeelding 6. De sterke verontreiniging met PFOS bevindt zich met name in het groen gekleurde deel. De omschrijving van de bestemming met groene kleur is opgenomen in Afbeelding 7.



Afbeelding 6 Plankaart vliegbasis Soesterberg 2019-06-24 172216

Artikel 5 Groen

5.1 Bestemmingsomschrijving

De voor "Groen" aangewezen gronden zijn bestemd voor:

- groenvoorzieningen en een op de natuurwaarden van het plangebied afgestemde groene inrichting;
- watgangen en waterpartijen en waterbergingen;
- speelvoorzieningen;
- fiets- en voetpaden, wegen, in- en uitritten en andere ondergeschikte verhardingen;
- bij de bestemming woongebied behorende voorzieningen, zoals verkeersvoorzieningen, nutsvoorzieningen, verblijfsgebieden en straatmeubilair;
- overige bij de bestemming behorende voorzieningen.
- geluidsschermen

Afbeelding 7 Bestemmingsomschrijving groen binnen woongebied bij plankaart vliegbasis Soesterberg

De dubbelbestemming groen schrijft groenvoorzieningen voor die aansluiten op natuurwaarden van het plangebied. Er is geen expliciete voorwaarde voor het behoud van natuurwaarden opgenomen.

De te onderscheiden functies in het gebied in termen van de saneringsregeling uit de Wet bodembescherming zijn als volgt samen te vatten:

- Wonen met tuin - standaard (moestuin gebruik waarbij meer dan 10% van eigen consumptie uit de tuin komt is niet aannemelijk).
- Openbare wegen (verhard).
- Recreatieve uitloopzone (recreatie).

3.4 Risicobeoordeling

De risicobeoordeling uit 2019 is op basis van het uitgevoerde bodemonderzoek en de veranderende wet- en regelgeving herzien. Daarbij is ook onderscheid gemaakt in de risicobeoordeling voor het toekomstige gebruik (wonen met tuin) en het gebruik ten tijde van de terreinoverdracht (militair terrein).

Bij het uitvoeren van een risicobeoordeling wordt gekeken naar de actuele risico's van de bodemverontreiniging op drie gebieden: humane risico's (blootstelling voor de mens), ecologische risico's en risico's op verspreiding.

In verband met verschil in het gebruik van het plangebied, is er verschil in de risicobeoordeling met betrekking tot de humane risico's voor het huidige en toekomstig gebruik.

Op het gebied van ecologische risico's of risico's op verspreiding is er geen sprake van verschil tussen het huidige gebruik en het toekomstige gebruik. Voor wat betreft de humane risico's is er wel verschil. Bij militair gebruik was geen sprake van humane risico's. Bij wonen met tuin is wel sprake van humane risico's.

Hiernavolgend staan de belangrijkste afwegingen met betrekking tot het bepalen van de risico's toegelicht.

Humane risico's:

- Bij militair gebruik is geen sprake van gebruik van of contact met de verontreiniging. Dit betekent dat er geen sprake is van blootstellingsrisico's aan de mens, ofwel dat er geen sprake is van een humaan risico bij militair gebruik van het plangebied.
- Het toekomstige gebruik betreft wonen met tuin, daarbij is wel sprake van blootstellingsrisico's ten gevolge van mogelijk contact met de bodemverontreiniging. Op basis van het bodemonderzoek is een oppervlakte van 11.000 m² verontreinigd boven de risicogrenswaarde van 59 µg/kg ds. Deze grenswaarde betreft eveneens de MTR (maximaal toelaatbaar risico) voor de bodemfunctie wonen met tuin. Aangezien deze MTR overschreden wordt, is er sprake van blootstellingsrisico's aan een onacceptabele verontreiniging en daarmee sprake van een humaan risico.

Ecologische risico's:

- Het ecologisch risico wordt bepaald op basis van de omvang van de verontreiniging boven de ecologische grenswaarde. De grenswaarden voor indirecte ecologie voor PFOS is 18 µg/kg ds.
- Indien >500 m² PFOS-verontreiniging boven de TD25 (Toxische Druk) is gelegen, is sprake van een ecologisch risico. Voor PFOS is formeel geen TD25 vastgesteld, daarom wordt de grenswaarde van 18 µg/kg ds. gehanteerd, deze komt ongeveer overeen met de TD20. De oppervlakte van het gebied met gehalten boven 18 µg/kg ds. is circa 19.000 m² en ligt daarmee ruimschoots boven de 500 m².
- Er is daarmee zowel bij het huidige gebruik als het toekomstige gebruik sprake van ecologische risico's.

Risico's op verspreiding:

- Formeel is sprake van een risico op verspreiding indien het volume verontreinigd grondwater boven de risicogrenswaarde groter is dan 6.000 m³. Het volume verontreinigd grondwater >2,7 µg/l is circa 3 miljoen m³ en ligt daar dus ruim boven.
- Om te bepalen of er daadwerkelijk sprake is van een risico op verspreiding moet bepaald worden of per jaar de risicogrenswaarde -contour met meer dan 1.000 m³ toeneemt. Op basis van de verspreidingsnelheid van 7 meter per jaar en een doorstroomd oppervlakte van meer dan 1.500 m² ligt de toename van de risicogrenswaarde -contour ruim boven de 1.000 m³ per jaar.
- Er is daarmee zowel bij het huidige gebruik als het toekomstige gebruik sprake van risico op verspreiding.

In de onderstaande tabel is de risicobeoordeling van 2019 en 2021 en het huidige en toekomstige gebruik opgenomen.

Tabel 5 Samenvatting risicobeoordeling huidige en toekomstige situatie zoals bepaald in 2019 en in 2021.

Risico's	2019 Huidig gebruik: militair terrein	2019 Toekomstig gebruik: wonen	2021 huidig gebruik: militair terrein	2021 toekomstig gebruik: wonen
Humane risico's	Geen contact met verontreiniging, geen blootstellingsrisico's. Geen humaan risico	830 m ² met concentraties > MTR humaan (1.200 µg/kg ds) Wel humaan risico	Geen contact met verontreiniging, geen blootstellingsrisico's. Geen humaan risico	11.000 m ² met concentraties > risicogrenswaarde (59 µg/kg ds) = MTR humaan voor wonen met tuin. Wel humaan risico
Ecologische risico's	Op meer dan 13.055 m ² sprake van concentratie > 18 µg/kg ds PFOS > 500 m ² PFOS > TD 25	Op meer dan 13.055 m ² sprake van concentratie > 18 µg/kg ds PFOS > 500 m ² PFOS > TD 25	Op meer dan 19.000 m ² sprake van concentratie > 18 µg/kg ds PFOS > 500 m ² PFOS > TD 25	Op meer dan 19.000 m ² sprake van concentratie > 18 µg/kg ds PFOS > 500 m ² PFOS > TD 25

Risico's	2019 Huidig gebruik: militair terrein	2019 Toekomstig gebruik: wonen	2021 huidig gebruik: militair terrein	2021 toekomstig gebruik: wonen
Risico op verspreiding	>6.000 m ³ met concentratie boven risicogrenswaarde Wel verspreidings-risico	>6.000 m ³ met concentratie boven risicogrenswaarde Wel verspreidings-risico	>6000 m ³ met concentratie boven risicogrenswaarde. Op basis van grondwaterstromingssn elheid en verticaal oppervlak pluim: Meer dan 1.000 m ³ toename per jaar Wel verspreidingsrisico	>6.000 m ³ met concentratie boven risicogrenswaarde. Op basis van grondwaterstromingssn elheid en verticaal oppervlak pluim: Meer dan 1.000 m ³ toename per jaar Wel verspreidingsrisico

4 Proefreiniging grond en grondwater

4.1 Algemeen

Voor een effectieve saneringsaanpak is een goed begrip van het plangebied en verspreiding van de verontreiniging essentieel. Inzicht in de verspreidingsprocessen wordt beter als ook de sorptie en nalevering van PFOS uit grond naar grondwater goed wordt begrepen. PFOS is een stofgroep die zijn gelijke niet kent in vergelijking met de stoffen uit het standaardpakket grond en grondwater. PFOS is mobiel (weinig retardatie in de bodem) en goed oplosbaar en niet afbreekbaar. Op het plangebied is sprake van een loslatende en uitdijende pluim. Een goed begrip van het stofgedrag is daarom essentieel.

In het pilotproject POP-UP project Soesterberg (POP-UP, 9 juni 2020, kenmerk: 105010/20-008.827) is er onderzoek gedaan naar de reinigingsmogelijkheden van PFAS in grond en grondwater. Het POP-UP project was een project met betrekking tot de opkomende stoffen in het bodembeheer dat werd uitgevoerd in het kader van het kennisprogramma van het uitvoeringsprogramma (UP) van het Convenant Bodem en Ondergrond.

Het onderzoek naar de reinigingsmogelijkheden van met PFAS verontreinigde grond bestond uit interviews met grondreinigers en een aantal reinigingsproeven met betrekking tot extractieve reiniging van PFAS. Voor het onderzoek naar de nalevering van grond naar grondwater zijn kolomproeven of uitloogtesten uitgevoerd.

De belangrijkste bevindingen uit het onderzoek naar reinigingsmogelijkheden zijn de volgende:

1. De reiniging van PFAS-houdende grond staat nog in de kinderschoenen. Sommige Nederlandse aannemers hebben proeven gedaan op lab- en batchschaal en hebben een positieve verwachting van de reinigbaarheid door middel van grondwastechiek met water. Rendementen van 85% - 95% worden haalbaar geacht.
2. Thermische grondreiniging zou bij hoge temperaturen effectief moeten zijn, maar op dit moment zit er - los van de PFAS-problematiek - stagnatie in de hele thermische reinigingsbranche als gevolg van problemen met de afzet van gereinigd product. Of Nederlandse installaties geschikt zijn voor de behandeling van PFAS-houdende grond is punt van nadere studie. In situ verhitten is technisch mogelijk, maar is nog niet vertoond op deze schaal, kostbaar en schadelijk voor de ecologie en bomen.
3. Omdat het vergunning technisch nog lastig is om PFAS-houdende grond of water te verwerken, zijn aannemers zeer terughoudend om meer dan op labschaal proeven te doen. Ook vergaand gezuiverd water (met licht verhoogde PFAS-concentraties.) mag veelal (nog) niet worden geloosd. Vaste grondreinigingsinstallaties zijn op dit punt het verst.

Inmiddels hebben twee reinigers nadien bevestigd dat PFAS-houdende grond nu wordt geaccepteerd en ingenomen door grondverwerkers. Verwacht wordt ook dat hogere reinigingsrendementen haalbaar zijn.

In volgende paragrafen zijn de belangrijkste resultaten van deze pilot samengevat.

4.2 Pilot

De voornaamste focus ligt in het pilot onderzoek op het wassen van de grond (met bijbehorende waterbehandeling), in beperkte mate wordt er onderzoek verricht naar andere technieken die wellicht meer van toepassing zijn op specifieke situaties (aanpak hot spots, extensieve aanpak). De resultaten van de grondwasproeven en uitloogtesten zijn onderstaand samengevat.

4.2.1 Grondwasproeven

Door middel van het afscheiden van de fractie <63 µm en de organische stof, en het wassen van de grond (transport naar de waterfase) kan het gehalte PFAS in de grond sterk gereduceerd worden. Het gewassen zand (63 µm-3 mm) bevat slechts 1% tot 1,7% van de hoeveelheid PFOS in de oorspronkelijke monsters. Het reinigingsrendement is 98 - 99%. De behaalde concentraties liggen globaal tussen de 25 en 50 µg/kg ds. Deze waarden voldoen aan het huidige indicatieve niveau voor ernstige verontreiniging voor PFOS (59 µg/kg ds).

Het PFOS kan voor een significant deel, ongeveer 4 - 13% van de vracht aan PFOS, worden afgescheiden door afscheiding van de fijnste fractie. Het grootste deel van de aanwezige PFOS komt in de waterfase terecht (85 - 95%). Door middel van grondwassen kan een reinigingsrendement van 98 - 99% behaald worden (op basis van de concentraties in het gewassen zand).

Door het wassen van de zandfracties kan een aanzienlijke reductie in PFOS worden bereikt. Het indicatieve niveau voor ernstige verontreiniging (risicogrenswaarde, interventiewaardeniveau) kan behaald worden, ook bij de sterkst verontreinigde monsters.

De waarden voldoen nog niet aan de hergebruikswaarden voor klasse wonen en industrie (3 µg/kg). De verwachting is wel dat bij lagere uitgangskonzentraties, een extra spoelstap en mogelijk een finetuning van de scheiding van de verschillende fracties, lagere eindconcentraties behaald kunnen worden dan nu tijdens deze test.

4.2.2 Resultaten uitloogtesten

Net als bij de grondwasproeven komt uit de uitloogtesten naar voren dat de PFAS goed uitloogt. Vooral in de eerste fractie (L/S = 1) wordt veel PFOS uitgespoeld, 48-72 %. Na de initiële snelle uitspoeling van PFOS, vindt door middel van het spoelen met extra water (tot L/S = 10) minder uitspoeling van PFOS plaats (1,2 tot 17% extra). In totaal zijn 3 kolomproeven uitgevoerd. De resultaten zijn samengevat in Tabel 6.

Tabel 6 Resultaten kolomproeven pilotproject POP UP (concentraties PFOS, tenzij anders aangegeven)

Input/output	Monster	C09 (900-1.100)	A05 (200-600)	D25 (400-900)
Input	Oorspronkelijke (meng)monster	710 µg/kg ds (PFAS-totaal = 716 µg/kg)	71 µg/kg ds (PFAS-totaal = 94 µg/kg)	43 µg/kg ds (PFAS-totaal = 44 µg/kg)
Output	Water L/S 1	340 µg/l	0,075 µg/l	31 µg/l
	Water L/S 10	14 µg/l	<0,05 µg/l	0,056 µg/l

De resultaten van de proef met monster A05 worden niet betrouwbaar geacht. De overige twee monsters komen uit de nabijheid van de hydrant waar wekelijks de blusschuim oefening werd gedaan. Het monster C09 kenmerkt zich door een relatief hoog organisch stofgehalte van 2%.

De verhouding tussen grond en water op basis van de concentraties zoals bij L/S 1 zijn gemeten, is respectievelijk 2,1 en 1,4, oftewel gemiddeld 1,75. Dit zijn echter monsters uit de onverzadigde zone, waarin geen sprake was van evenwicht tussen grond en grondwater.

Uit het verontreinigingsbeeld blijkt dat concentraties in het grondwater onder het brongebied om en nabij de een waarde van 50 µg/l zijn aangetroffen. Echter, de grondconcentraties in de verzadigde zone het brongebied bedragen wel meer dan 1.000 µg/kg ds, terwijl de grondwaterconcentraties stroomafwaarts in de pluim juist hoger zijn dan in het brongebied, tot bijna meer dan 200 µg/l, en bij veel lagere concentraties in de grond.

Conceptueel begrip

Het beeld dat hieruit ontstaat, is dat de hoge concentraties (>1.000 µg/kg ds) in de onverzadigde zone nog niet in evenwicht zijn met de toekomstige waterfase en flink na kunnen leveren. Nadat dergelijke hoge concentraties vaker zijn doorspoeld (in verzadigde zone) nemen de concentraties in de waterfase flink af.

Dit is ook de reden dat vrij snel onder de grondwaterspiegel de grondconcentraties sterk dalen. De hoge concentraties in onverzadigde en verzadigde zone zijn veroorzaakt door zeer sterk verontreinigd bluswater (bv. >10.000 µg/l) tijdens het in bedrijf zijn van de infiltratiebronnen. Die hoge concentraties zijn ook de oorzaak van de hogere concentraties in de pluim.

De verschillen tussen de kolomproeven bevestigen ook het vermoeden dat de evenwichtsconstante voor PFAS tussen grond en grondwater niet lineair is: hogere (>1.000 µg/kg ds) concentraties in grond leiden niet direct tot lineair hogere concentraties in het grondwater.

Sanering

In de verzadigde zone kan door middel van grondwateronttrekking een groot deel van de verontreiniging verwijderd worden. De PFOS-verontreiniging is erg mobiel.

Theoretisch gezien kan ook de onverzadigde zone worden uitgespoeld. Een groot deel van de verontreiniging (50 - 70%) gaat al bij het spoelen met 1 L/S ratio in de waterfase zitten. Echter, na tien L/S-ratio's is de reductie van de grondverontreiniging slechts 66 - 73%. Er wordt verwacht dat ook na lang spoelen een restverontreiniging achterblijft. In de praktijk is het echter niet goed mogelijk om een onverzadigde zone in zijn geheel en homogeen te doorspoelen. Gezien de dikte van de onverzadigde zone (9 - 10 meter) wordt dit daarom niet als een effectieve techniek gezien.

4.2.3 Conclusies Pilottesten

De uitgevoerde proeven laten een aantal interessante observaties zien die bij het nadenken over saneringsaanpakken meegenomen moeten worden. Navolgend worden de bevindingen van de beide sporen (grondwassen en doorspoelen) nader in beschouwing genomen. In z'n algemeenheid geldt het volgende beeld:

- De PFOS-verontreiniging is goed mobiel, behalve het gedeelte wat zich in de zogenaamde afslibbare fractie bevindt.
- Dit betekent dat in geval van (ex situ) grondwassen er hoge reinigingsrendementen behaald kunnen worden. De inschatting is dat dit tot > 95 % kan zijn. In de afslibbare fractie zullen bij dit proces hogere gehalten achterblijven; dit materiaal zal sowieso gestort moeten worden. Er moet rekening worden gehouden met hoge gehalten in het spoelwater.
- Het in situ schoonspoelen van de grond, bijv. via infiltratie/percolatiesysteem zal naar verwachting lastig worden omdat een deel van de PFAS niet of slecht uitspoelt, de PFAS verzamelt zich namelijk in de waterfase én in de fractie <63 µm + organische stof. Deze fractie <63 µm + organische stof blijft bij uitloging in de grond aanwezig. Het 'schoonspoelen' van de bodem wordt daarmee een langdurige operatie; bovendien waarschijnlijk ook kostbaar vanwege het langdurig moeten zuiveren van het spoelwater.
- Het is wel mogelijk om relatief snel de grondconcentraties te reduceren.

4.3 Actuele status reiniging PFAS in grond en grondwater in Nederland

Grond

Op basis van interviews in oktober 2020 is het beeld over de markt van grondverwerking als volgt:

- Grondreiniging op basis van het extractieve proces wordt inmiddels aangeboden voor grond met concentraties PFOS tot 60 µg/kg ds. De technische mogelijkheden gaan verder, maar vergunning technisch is dit soms een knelpunt. De verwachting is dat de bovengrens voor acceptatie van PFOS houdende grond op korte termijn zal stijgen.
- Sommige stortplaatsen accepteren PFOS houdende grond in concentraties boven de grens van 60 µg/kg ds, zoals die door Bodemplus is vastgesteld als ondergrens voor een af te geven verklaring van niet reinigbaarheid. Op 14 mei 2020 heeft het Ministerie van IenW via een beleidsnotitie laten weten dat - in tegenstelling tot eerdere standpunten - sterk met PFAS-verontreinigde grond (gehalten > 60 µg/kg ds) wel in aanmerking komt voor ontheffing op het stortverbod. Dit opent nieuwe mogelijkheden bij de saneringsoplossingen.

Er zijn ook mobiele installaties voor grondreiniging. De rendabiliteit zal afhangen van de hoeveelheid te reinigen grond. Eenmalige kosten overschrijden de € 50.000,--. De grondreiniging heeft een waterzuivering, die ook geschikt is om op een later moment een grondwatersanering uit te voeren.

Grondwater

Grondwatersaneringen voor PFAS zijn in uitvoering op locaties in Haarlem en de Haarlemmermeer. Tot nu toe wordt alleen nog onttrekking en ex-situ reiniging toegepast. Uit het buitenland zijn toepassingen bekend met adsorbentia die in de bodem worden gebracht (Plumestop bijvoorbeeld), die worden gebruikt om de verspreiding tot stilstand te brengen.

Bijvoorbeeld door de grootschalige injectie met actief kool wordt PFOS vastgelegd. De toepassing op grotere diepte luistert echter nauw, en het is de vraag hoelang het kool actief blijft.

Technieken die gebruikt worden voor de **ex-situ reiniging** van grondwater zijn:

- Actief kool.
- Harsen.
- Adsorbent perfluoradd (die in oplossing wordt ingebracht en vervolgens neerslaat met de geadsorbeerde PFAS).

In augustus 2020 heeft Concawe een studie (report 14/20 review of water treatment systems for PFAS removal, august 2020) afgerond naar waterzuiveringstechnieken voor PFAS. In de studie is een inventarisatie uitgevoerd van technieken die op dit moment op pilot schaal zijn getest en full scale operationeel zijn. De operationele technieken zijn samengevat in Tabel 7.

Tabel 7 PFAS grondwaterzuiveringstechnieken op full scale 2020 (bron Concawe rapport 14/20, augustus 2020)

Techniek	Bewezen	Factoren die compliceren	Kosten*
Actief kool	Veel review data	IJzer / mangaan, hoge DOC, hoge conc. olieproducten, korte keten PFAS	+
IEX (ion exchange, hars) zonder regeneratie	Veel review data	IJzer / Mangaan, hoge DOC, hoge zoutlast, hoge conc. Olieproducten	+
Adsorbent perfluoradd	Beperkte review data	Hoge DOC, hoge conc. Olieproducten, gebruik van chemicaliën (voor neerslagvorming)	?
Reverse osmosis (nano filtratie)	Veel review data	IJzer / mangaan, troebelheid, gebruik van chemicaliën	o

* Legenda Kosten:

+ : positief

o : neutraal

? : onbekend

In het kader van dit saneringsonderzoek zijn de bevindingen met actief kool in de markt geverifieerd en bevestigd. Eind 2021 is de stand der techniek niet significant veranderd.

5 Modelling

Op het plangebied en de voormalige luchtmachtbasis is een PFOS-pluim aanwezig in het grondwater met een lengte van enkele honderden meters, en in concentraties tot meer dan 500 µg/l. PFOS is mobiel en breekt niet af en vormt daarmee een mogelijk risico als gevolg van verspreiding. In de omgeving zijn 4 waterwingebieden aanwezig en een goed beeld van de toekomstige verspreiding van PFOS in het autonoom scenario en met mogelijk sanerende maatregelen is essentieel om mogelijk toekomstige risico's te kunnen schatten en om te kunnen inschatten of wordt voldaan aan de strategische saneringsdoelstelling van een stabiele, milieuhygiënisch acceptabele eindtoestand. Er is daartoe een uitgebreide modelstudie uitgevoerd die is toegelicht in bijlage B. In dit hoofdstuk zijn de opzet en bevindingen beknopt weergegeven. Allereerst is de verfijning van het grondwatermodel toegelicht, waarna de aannames en scenario's voor de verspreiding van PFOS (stoftransport) zijn gepresenteerd. Daarnaast zijn twee mogelijke concepten doorerekend voor het ontwerp van een grondwatersanering.

Kanttekeningen:

- Het grondwater- en transportmodel is door ervaren deskundigen opgesteld om de werkelijkheid zo goed als mogelijk te benaderen. Toch moeten we hier benadrukken dat deze benadering aan aannamen en onzekerheden onderhevig is. Dit betreft de ligging op een waterscheiding en gestuwd gebied, het grillige verontreinigingspatroon en het bijzondere verspreidingsgedrag van PFOS. In de vorige hoofdstukken is al geconcludeerd dat sprake is van verschillende sorptieconstanten. De grondwatermodellering is gebaseerd op de verontreinigingssituatie zoals vastgesteld in oktober/november 2021. De modellering biedt vooral inzicht in de omvang van de autonome verspreiding van de grondwaterverontreiniging en de mogelijke effectiviteit van maatregelen.
- In de eerdere versie van dit saneringsonderzoek is gebruik gemaakt van een grondwatermodel gebaseerd op AZURE. Alhoewel ook daarop de nodige verfijningen voor dit deelgebied zijn aangebracht bleek het niet mogelijk om een voldoende nauwkeurig grondwaterstromingspatroon te verkrijgen. De basis van AZURE is daarop verlaten. De hier gepresenteerde, huidige versie van het grondwatermodel is een nieuw gebouwd model, dat een betere overeenkomst laat zien met de gemeten stijghoogte en verspreidingsrichtingen. Bij de huidige, ruime beschikbaarheid van ondergronddata, geeft een zelfgebouwd model meer inzicht in de mechanismen in de ondergrond, dan een bestaand model waarvan minder duidelijk is wat er precies onder de "motorkap" gebeurt.

5.1 Grondwaterstroming

5.1.1 Opzet en kalibratie grondwatermodel

Voor de modellering van de grondwaterstroming is een driedimensionaal MODFLOW-model opgesteld in de grafische gebruikersinterface (GUI) Groundwater Vistas 7.24 (build 269). Het modelgebied is 11 x 11 km, waarbinnen de 4 drinkwaterwinningen (grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones) in de omgeving van Soesterberg zijn gelegen: Beerschoten, Bilthoven, Soestduinen en Zeist. De grondwaterstroming en transportmodellering zijn geoptimaliseerd voor de onderzoekslocatie tot aan de drinkwaterwinningen. De modelbouw- en kalibratie is uitgevoerd in een iteratief proces van gevoeligheidsanalyses, parameteraanpassingen en bijstelling van modelkeuzes (resolutie, aantal modellen) door voortschrijdend inzicht en nieuwe (veld)gegevens en informatie. Tussentijdse iteraties en modelversies zijn vastgelegd in een logboek. Hieronder is op hoofdlijnen het gekalibreerd grondwater- en transportmodel beschreven.

- De bodemopbouw en -parameters/variabelen zijn gebaseerd op REGIS II v2.2 (resolutie 100x100 m), aangepast op basis van de nieuwe informatie en inzichten zoals lokale ondergrondinformatie (boringen; voorkomen van keilagen) en historisch inzicht (stuwwal).
- Het stromingsmodel is stationair gekalibreerd voor de periode 2016-2019. Hiervoor zijn de gemiddelde onttrekkingshoeveelheden van de verschillende pompstations toegepast.
- De grondwateraanvulling is voor het huidige landgebruik (TOP10NL; resolutie 25 x 25 m)) berekend aan de hand van neerslag en verdampingsgegevens van KNMI-meteostation De Bilt.
- De bodemdoorlatendheden (k-waarden; hydrogeologische eenheden REGIS II v2.2) zijn gekalibreerd met representatieve grondwaterstandsmetingen over de periode van 2010-2020 (langjarig gemiddelde BRO-database DINOLoket).
- De berekende grondwaterstroming binnen een straal van circa 1,0-1,5 km van de onderzoekslocatie is gevalideerd met een eenmalige meetronde in circa 50 peilbuisfilters (13-10-2021).

- Door optimalisatie en kalibratie van het grondwaterstromingsmodel wordt een representatieve grondwaterstroming berekend:
 - De absolute gemiddelde afwijking (te hoog/te laag) binnen het hele modelgebied is 0,19 m (n = 239 meetlocaties).
 - De gemiddelde afwijking is +0,02 m (gemiddelde over te hoog/te laag berekend).
 - De maximaal berekende afwijking bevinden zich nabij de onttrekkingsbronnen van de drinkwaterwinningen (max. +1,06 m; min. -0,62 m).
 - Ter plaatse van het plangebied Soesterberg is de berekende absolute afwijking kleiner dan 0,1 m.
- In Bijlage B is een nadere beschrijving van het grondwater- en transportmodel opgenomen.

5.1.2 Resultaten modellering grondwaterstroming

De stromingsrichting vanaf het plangebied Soesterberg is in noordwestelijke richting in het eerste watervoerend pakket (tot een diepte van ongeveer 60 m onder maaiveld). Het grondwater verplaatst zich onder natuurlijk verhang met een snelheid van circa 15 m/j. Het plangebied ligt op een grondwaterscheiding wat betekent dat de grondwaterstroming aan de westzijde van de onderzoekslocatie verandert van noordwestelijk naar westelijk en aan de noordzijde van de onderzoekslocatie verandert van noordwestelijk naar noordelijk. In de diepere watervoerende pakketten is de stromingsrichting hoofdzakelijk in noordwestelijke richting. Door het ontbreken van diepe stijghoogtemetingen is een validatie van de stromingsrichting dieper dan 60 m onder maaiveld niet mogelijk gebleken. Op basis van de berekende stijghoogten rondom de 4 drinkwaterwinningen, die goed overeenkomen met langjarige metingen, is de berekende regionale grondwaterstroming in de diepere watervoerende pakketten als betrouwbaar beoordeeld.

5.2 Verspreiding PFOS

Tijdens de kalibratie van de grondwaterstroming is het model ook geoptimaliseerd voor de stoftransportberekeningen (iteratief proces). Bij de kalibratie is gebruik gemaakt van de onderzoeksgegevens zoals die in oktober 2020 en november 2021 beschikbaar waren. In het grondwateronderzoek van 2021 is de omvang van de PFOS-verontreiniging in het diepe grondwater voldoende afgeperkt. Deze situatie is gebruikt voor de definitieve kalibratie van de grondwaterstroming en transportberekeningen (verspreiding PFOS).

Toelichting transportberekeningen

In de paragrafen 5.2.2; 5.2.3; 5.3.2 en 5.3.3 zijn de transportberekeningen van de historische fit, autonome ontwikkeling, saneringsconcepten en het effect van het beperken van de nalevering na grondwatersanering beschreven. De berekeningen zijn uitgevoerd met het gekalibreerd grondwater- en transportmodel. Voor de transportberekeningen zijn verschillende uitgangspunten gebruikt voor de concentraties (pluim), nalevering en rekenperiode. In onderstaande tabel zijn de voornaamste verschillen samengevat. De uitgangspunten van de transportberekeningen zijn per paragraaf en in Bijlage B uitgebreider toegelicht.

Tabel 8 Uitgangspunten verontreinigingspluim en rekenperioden transportberekeningen

Transportberekening	Paragraaf	Verontreinigingspluim	Rekenperiode
Historische fit	5.2.2	Berekend vanuit bronzone (1983 – 2021)	1983 – 2022
Autonome ontwikkeling	5.2.3	Berekend vanuit historische fit (2021)	2022 – 2250
Saneringsconcepten	5.3.2	Interpolatie gemeten concentraties (2020/2021)	2022 – 2030
Beperken nalevering na grondwatersanering	5.3.3	Berekend vanuit historische fit (2021), startconcentraties in de pluim verlaagd tot max. 2,7 µg/l (aangenomen saneringsdoel) en concentraties onder de 2,7 µg/l zijn op nul gezet ((buiten de i-contour).	2022 – 2250

5.2.1 Modelaanpassingen

- Voor de transportberekeningen is het modelgrid verfijnd naar 12,5 x 12,5 m en is het eerste watervoerend pakket vanaf de grondwaterspiegel opgedeeld in circa 8 m dikke modellagen (totaal 14 modellagen).
- De numerieke dispersie is berekend op ongeveer 1,0 m. Omdat de werkelijke advectie en dispersie van PFOS vermoedelijk kleiner is dan 1,0 m, is er aan de transportberekeningen geen dispersie meer opgelegd (de numerieke dispersie is groter dan de vermoedelijk werkelijk optredende dispersie).
- PFOS is een persistente stof. Er is daarom geen rekening gehouden met natuurlijke afbraak in de stoftransportberekeningen.
- Voor kalibratie van de stoftransportparameters is een historische berekening uitgevoerd van 1983 tot en met 2020.
- Hiervoor zijn de jaargemiddelde onttrekkingsdebieten van de drinkwaterwinningen aan het model opgelegd. Voor het jaar 2020 en 2021 zijn dezelfde gemiddelde onttrekkingsdebieten van 2019 gehanteerd (metingen van onttrekkingsgegevens door Vitens waren beschikbaar tot en met 2019).

5.2.2 Historische fit

In veelvuldige kalibratieslagen of modelruns over de periode van 2020 t/m 2021 met optimalisaties zijn de meest waarschijnlijke waarden voor de parameters stoftransport en de grootte en concentratie van de nalevering uit de bronzone bepaald. Uiteindelijk is een goede fit verkregen met de volgende uitgangspunten:

- Voor de periode 1983 – 1993, de periode waarin bluswater actief is geïnfiltreerd in de infiltratiebronnen, is een constante bronzone van 5.000 µg/l aangenomen (bepaald in meerdere kalibratieslagen).
- Vanaf 1993 – 2021 is een exponentiële afname van PFOS voor de bronzone aangenomen tot de huidige gemeten, gemiddelde concentraties in de bronzone (ongeveer 24 µg/l). De uiteindelijke bronterm is weergegeven in afbeelding 8.
- Er is geen lokale waarde voor de retardatie bekend. Voor dit saneringsonderzoek is uitgegaan van een (conservatieve) retardatie van 1,9. Dit geeft een goede fit, het betekent dat de organische verbinding PFOS slechts gering vertraagd ten opzichte van de grondwaterstroming. Met een hogere waarde ofwel sterkere sorptie kan de omvang van de geconstateerde pluim niet worden verklaard (het grondwatermodel en bijbehorende grondwaterstromingssnelheid, geven een uitstekend calibratieresultaat):
 - Op basis van literatuurwaarden¹ kunnen organisch stofgehaltes tussen de 0,1 % en maximaal 0,6 % worden verwacht in het watervoerend pakket tot circa 60 m -mv (NAP -50 m). Hiermee ligt de f_{oc} tussen de 0,001 en 0,003 kg/kg. De Log K_{oc} voor PFOS² ligt tussen de 2,4 en 3,7. Op basis van deze bandbreedtes bevindt de distributiecoëfficiënt (K_d) zich tussen de 0,15 en 17,44 L/kg.
 - In een studie van Wintersen³ (2020) zijn K_d waarden voor landbodems rond de 200 L/kg bepaald, ondanks lage organisch stofgehaltes. Een verklaring hiervoor is dat niet alleen organisch koolstof de sorptie verklaard, maar ook elektrostatische interacties lijken een bepalende rol te spelen in het sorptiegedrag van PFAS. Hoge K_d waarden (20 L/kg) en retardaties (91) zijn alleen in de bronzone toegepast om nalevering vanuit de bronzone vanaf 2022 te berekenen. Buiten de bronzone is een lagere K_d -waarde (0,2 L/kg) en retardatiefactor (1,9) toegepast in een historisch fit met het verspreidingsbeeld anno 2021.
 - Bij een porositeit van 0,37, bulkdichtheid van 1,67 kg/L en de Log K_{oc} tussen de 2,4 en 3,7 ligt het bereik van de retardatie tussen de 1,7 en 79,7. Voor het in beeld brengen van het verspreidingsrisico is een conservatieve aanname van de laagste K_{oc} waarde (2,4) gehanteerd. De uiteindelijk gehanteerde retardatie ligt dus aan de onderzijde van dit bereik.

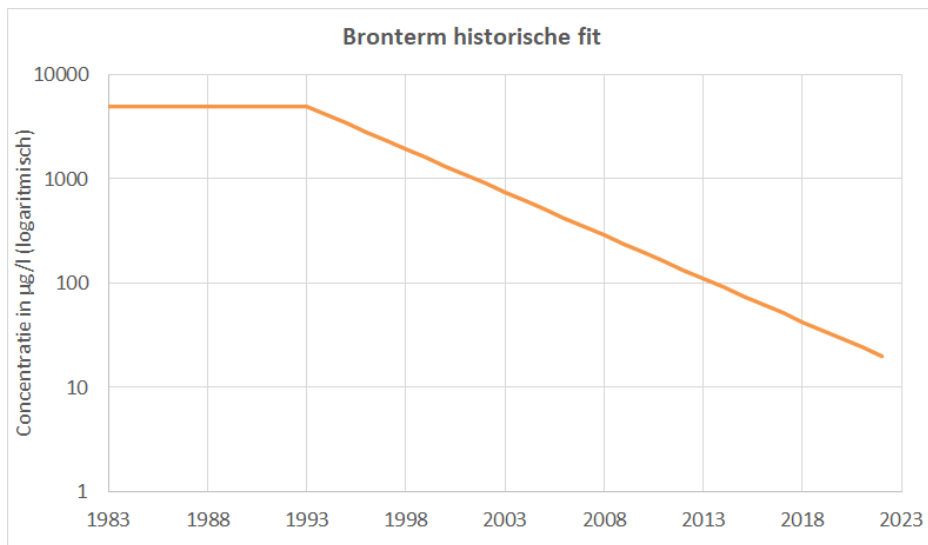
¹ Van Boekel, E.M.P.M., 2009. Geochemische modellering van de ondergrond in het STONE model - organische stof gehalte in de ondergrond. Alterra rapport 1830, Wageningen.

Van Gaans, P.F.M.; Hartog, N.; Bakker, I.J.I.; Kiden, P.; Griffioen, J., 2007. Het topsysteem van de ondergrond: Een reactievat. Deelrapport 3. Eerste statistische karakterisering van de geochemische reactiecapaciteit van de geotopgebieden Holland en Rivierengebied. TNO Bouw en Ondergrond/Alterra. Utrecht/Wageningen

Griffioen, J.; Klein, J.; Van Gaans, P.F.M., 2012. Reaction capacity characterisation of shallow sedimentary deposits in geologically different regions of the Netherlands. Journal of Contaminant Hydrology, 127: 30-46.

² Interstate Technology Regulatory Council, 2020. PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances. ITRC, April 2020. URL: <https://pfas-1.itrcweb.org/fact-sheets/>, Viewed on 22-10-2020.

³ Wintersen, A.; Osté, L.; van der Meiracker, R.; van Breemen, P.; Roskam, G.; Spijker, J., 2020. Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger. RIVM-briefrapport 2020-0102, Bilthoven.



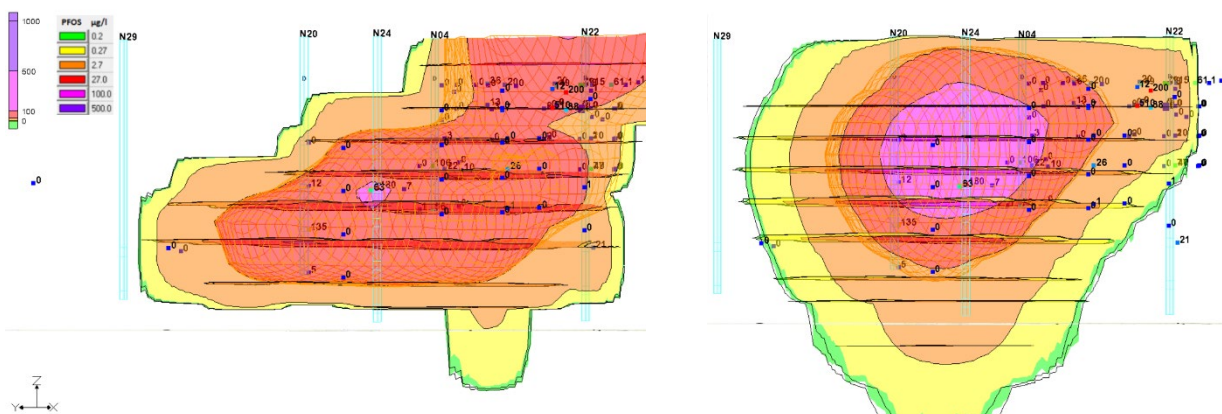
Afbeelding 8 Gehanteerde bronterm (logaritmische schaal)

Met het gekalibreerde grondwater- en transportmodel wordt met de historische fit van 1983-2021 een verspreidingsbeeld berekend dat in de hoofdverspreidingsrichting goed overeenkomt met de gemeten PFOS-waarden anno 2021. Op 350 m noordwestelijk van de kazerne zijn de concentraties PFOS nog circa 135 µg/l (peilbuis N20). Op 700 m, ter hoogte van peilbuis N29 is de maximaal gemeten concentratie 0,17 µg/l (16-11-2021; afperking van de pluim). Het model berekent op deze afstanden en diepten vergelijkbare waarden.

Afwijking in westelijke richting nabij J02

De voornaamste afwijking met de gemeten concentraties zijn circa 100 m in westelijke richting van de bronzone ter plaatse van meetpunt J02 waar concentraties tussen de 210 en 510 µg/l zijn gemeten. Tijdens de kalibratie en het onderzoek zijn diverse pogingen ondernomen om deze hoge waarden op deze afstand en richting te verklaren, hetgeen niet tot resultaat heeft geleid. Waarschijnlijk is sprake van een lokale afwijking door heterogeniteit of de oostelijk gelegen infiltratiesloot. Omdat de historisch fit op grotere schaal wel goed aansluit bij de veldmetingen, (over een afstand meer dan 100 m in westelijke richting (nabij M06/M07) en over meer dan 500 m in noordwestelijke richting), is de afwijking ter plaatse van J02 niet verder geoptimaliseerd.

De overeenkomst tussen de werkelijk gemeten concentraties en de bereikte modelfit wordt geïllustreerd met de onderstaande doorsneden (zie ook Bijlage B). In de linker figuur staat een interpolatie van de werkelijk gemeten concentraties. In de rechterfiguur is het modelresultaat voor 2021 opgenomen. Door heterogeniteiten en fluctuaties van veldmetingen is het geïnterpoleerde model vanzelfsprekend grilliger dan het modelresultaat. De snelheid en richting van verspreiding en de ordegrootte van de concentraties stemmen echter goed overeen. Er is een betrouwbare basis voor het berekenen van toekomstige scenario's.



Afbeelding 9 Vergelijk tussen gemeten concentraties (interpolatie; links) en modelresultaat historische fit (rechts)

5.2.3 Autonome ontwikkeling

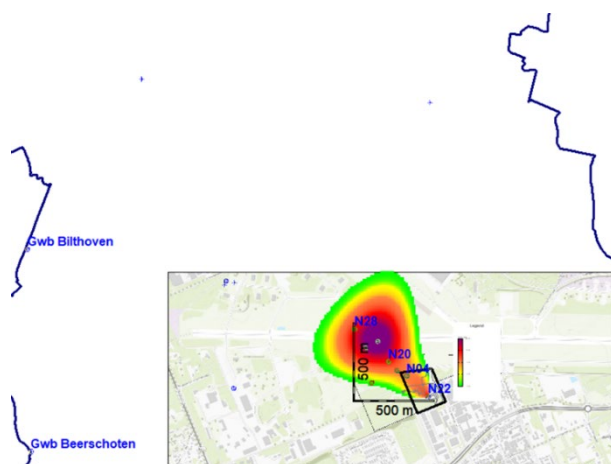
De centrale vraag in de beschouwing van het stoftransport is of de grens van een van de grondwaterbeschermingsgebieden in de toekomst kan worden bereikt in concentraties PFOS boven de $0,0099 \mu\text{g/l}$ (risicogrenswaarde; rgw, vaak afgerond naar $0,01 \mu\text{g/l}$). Daartoe zijn prognoseberekeringen uitgevoerd tot ongeveer 230 jaar na 2021.

Met het modelresultaat van de historische fit is de autonome ontwikkeling (zonder ingrepen) vanaf 2022 doorgerekend tot en met 2250. De nalevering na 2022 vindt plaats vanuit de vaste fase als gevolg van evenwichtssorptie. In de bronzone berekent het model bij de start van de berekening dan circa $480 \mu\text{g/kg}$ geadsorbeerd aan de vaste bodem (grondwaterconcentratie $24 \mu\text{g/l}$). Dit is een worst-case benadering; vrachtberekeningen aan werkelijke concentraties leiden tot een geschatte hoeveelheid PFOS in de onverzadigde zone van circa 100 kg.

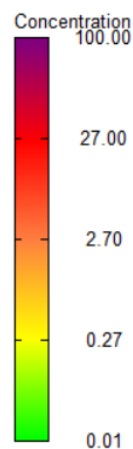
De prognoseberekening van de autonome ontwikkeling heeft als resultaat (zie ook Afbeelding 10):

- Anno 2050 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 900 m van de bronzone berekend boven de $0,01 \mu\text{g/l}$. De maximale concentraties (tot $173 \mu\text{g/l}$) worden op een diepte van 30-50 m berekend.
- Anno 2120 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 1.500 m van de bronzone berekend boven de $0,01 \mu\text{g/l}$. De maximale concentraties (tot $60 \mu\text{g/l}$) worden op een diepte van 50-60 m berekend.
- Anno 2250 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 2.500 m van de bronzone berekend boven de $0,01 \mu\text{g/l}$. De maximale concentraties (tot $17 \mu\text{g/l}$) worden op een diepte van 60-100 m berekend.

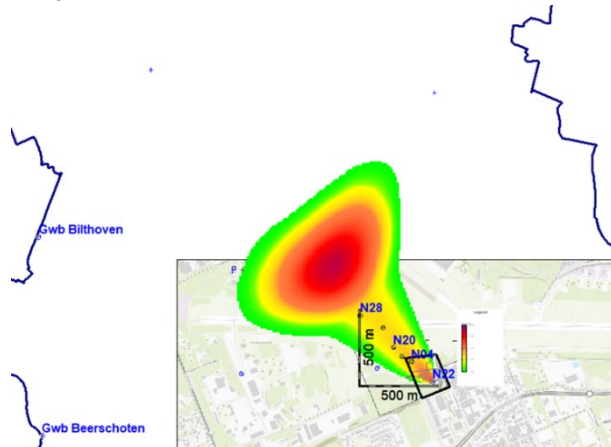
2050



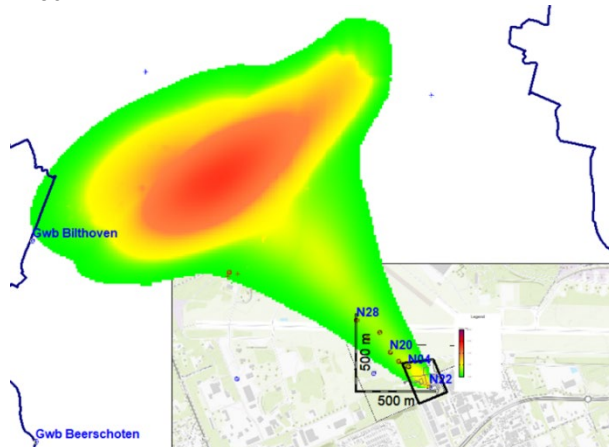
Legenda



2120



2250



Afbeelding 10 Prognoseberekening autonome ontwikkeling. In de afbeeldingen zijn de driedimensionaal maximaal berekende concentraties tot een diepte van 160 onder maaiveld tweedimensionaal weergegeven.

De grenzen van de grondwaterbeschermingsgebieden (Beerschoten en Soestduinen) en boringvrije zone (Bilthoven) zijn in de afbeeldingen in donkerblauw weergegeven.

De prognoseberekening geeft aan dat na 230 jaar:

- Op de grens van boringvrije zone van drinkwaterwinning Bilthoven concentraties worden berekend boven de 0,01 µg/l (risicogrenswaarde).
- De grenzen van drinkwaterwinningen Soestduinen en Beerschoten niet worden bedreigd.
- De hoogste concentraties in de pluim gedaald zijn van 200 µg/l nu, tot minder dan 27 µg/l.

Conclusie autonome verspreiding:

Op basis van de aannamen voor zowel de bronterm als de retardatie die uit de kalibratie volgen, kan de verontreiniging op een termijn van 230 jaar de grenzen van een grondwaterbeschermingsgebied of boringvrije zone bereiken. Er is een reële kans op risico's als gevolg van verspreiding. Daarnaast zal een zeer groot volume grondwater verontreinigd raken boven de risicogrenswaarde-drinkwater (wordt gehanteerd in grondwaterbeschermingsgebieden).

Opgemerkt wordt dat de westelijke verspreiding (10-17 m -mv) ten zuiden van de verkeerstoren niet is meegenomen in de berekeningen. De autonome ontwikkeling is berekend vanuit de historische fit, waarin deze "lob" niet is opgenomen. Bij de scenarioberekeningen voor de grondwatersanering en de daaropvolgende toekomstige verspreiding is de westelijke verspreiding wel meegenomen. Deze berekeningen starten met een interpretatie van de huidige concentraties (zie hierna).

5.3 Grondwatersanering

5.3.1 Inleiding

Uit de modellering kan worden afgeleid dat de omvangrijke pluimen (ondiep en vooral diep) ertoe zullen leiden dat een zeer groot volume grondwater in de toekomst kan of zal worden verontreinigd. Daarom is onderzocht op welke wijze het grondwater kan worden gesaneerd, en of het terugbrengen van deze concentraties en nalevering effect heeft op de omvang en concentraties in de toekomst. Deze berekeningen zijn vooral bedoeld om te toetsen of de concepten haalbaar zijn. In de saneringsplanfase kunnen ze verder worden gedetailleerd. Allereerst worden hierna de twee saneringsconcepten toegelicht, daarna wordt de "autonome" ontwikkeling toegelicht die ontstaat nadat de grondwatersaneringen zijn uitgevoerd.

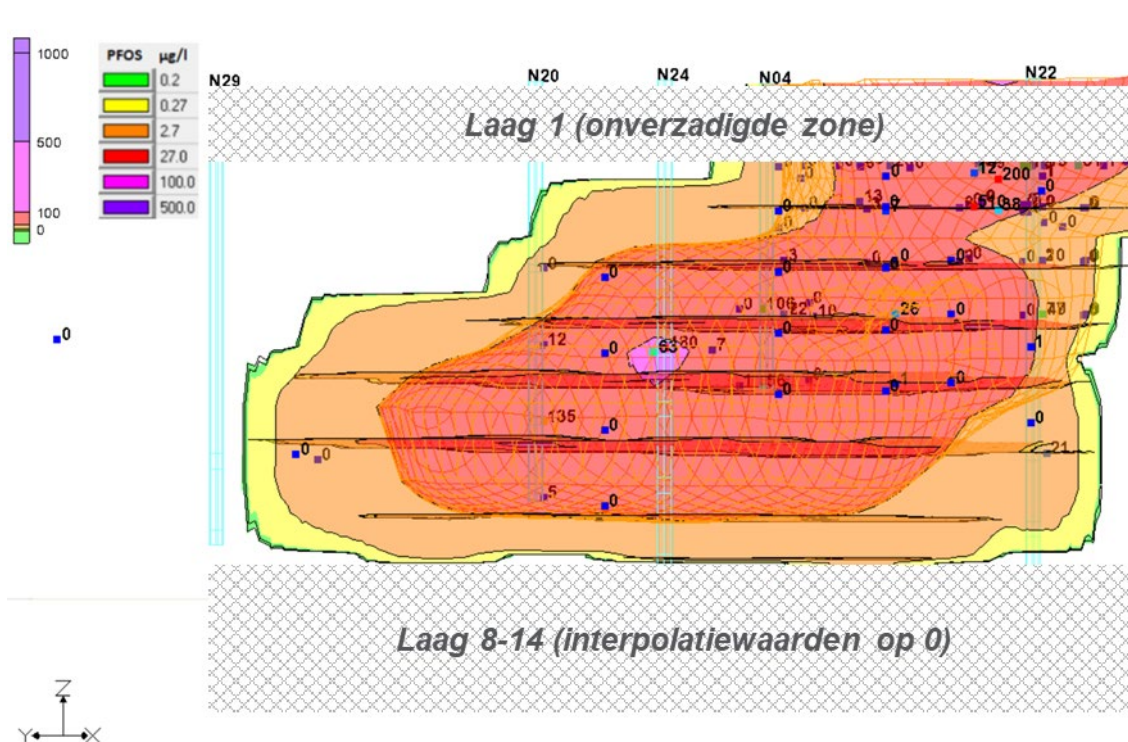
5.3.2 Saneringsconcepten

Voor de grondwatersanering zijn 2 concept-ontwerpen doorgerekend met een debiet van 100 m³/u. Lozing op het riool wordt niet haalbaar geacht, en evenmin is volledige reiniging waarschijnlijk. Daarom is bij de verkenning van deze concepten gerekend met de injectie van gesaneerd grondwater met een restconcentratie van 0,27 µg/l. De concepten voor de grondwatersanering zijn voor een periode van 2022 t/m 2050 doorgerekend. Het doel is om in 8-10 jaar de huidige concentraties terug te saneren tot onder de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l.

We merken op dat tijdens de saneringsplanfase deze concepten verder kunnen worden geoptimaliseerd.

- Concept 1 onttrekt grondwater in de as van de pluim en injecteert gesaneerde concentraties op de risicogrenswaarde-contour.
- Concept 2 is precies omgekeerd, en onttrekt grondwater op de risicogrenswaarde-contour en injecteert gesaneerde concentraties in de as van de pluim.
- Voor de filterlengtes is 15 m aangenomen en de filterstellingen zijn over 4 diepten verdeeld (15-30; 20-35; 25-40 & 30-45), trapsgewijs verlopend met de diepteligging van de verontreiniging. Nabij de bronzone (N22) zijn filterstelling van 15-30 m toegepast en de meest noordwestelijke bronnen hebben een filterstelling van 30-45 m-mv.
- Bij de keuze van de locaties van de onttrekkings- en infiltratiebronnen is rekening gehouden met de gemeten concentraties uit het veldonderzoek en rgw-contour.
- De doorrekening van beide ontwerpen is bedoeld om het verschil in ontwerpprincipes in beeld te brengen en een inschatting te doen of de aangenomen saneringsduur van 8 jaar realistisch is (resultaat 2030). Om het verschil tussen beide ontwerpprincipes beter te duiden is gerekend tot 2050 (circa 30 jaar).

- De startconcentraties van de transportberekening zijn driedimensionale interpolaties van de gemeten concentraties in 2021 (zie afbeelding 11). Dit wijkt af van de berekening van de autonome ontwikkeling. Hiervoor is gekozen om de huidige verontreinigingssituatie anno 2021 zo goed mogelijk te representeren, inclusief de verhoogde concentraties in westelijke richting nabij meetpunt J02.
 - *De geïnterpoleerde pluim is een conservatieve uitgangssituatie omdat de hoge gemeten concentraties een sterke invloed hebben op de geïnterpoleerde concentraties. Voor de prognoseberekningen zijn alle geïnterpoleerde concentraties buiten de risicogrenswaarde-contour (rgw-contour), in de onverzadigde zone en dieper dan 60 m-mv op nul gesteld/afgekap.*



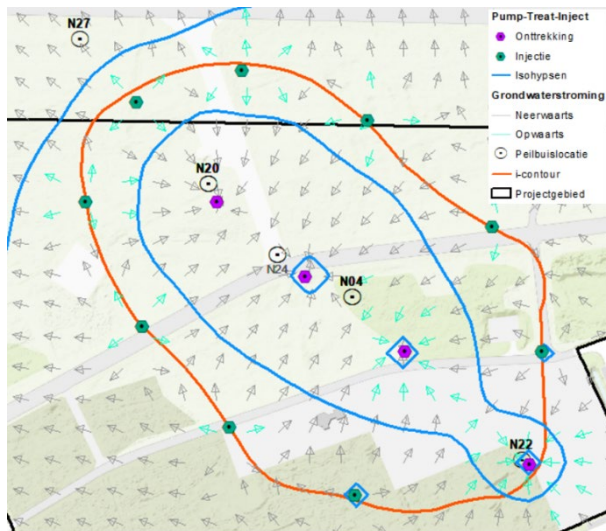
Afbeelding 11 Dwarsdoorsnede van de driedimensionale pluim. Interpolatie van gemeten PFOS-concentraties 2021. In de doorsnede zijn de gemeten concentraties weergegeven en enkele peilbuislocaties over de as van de pluim/doorsnede.

NOOT: De saneringsconcepten zijn doorgerekend en gepresenteerd tot 2050. Het ligt in de bedoeling om de grondwatersanering na 8-10 jaar, wanneer het rendement sterk daalt, te beëindigen.

Concept 1

4 onttrekkingsbronnen (in de as-van de pluim)

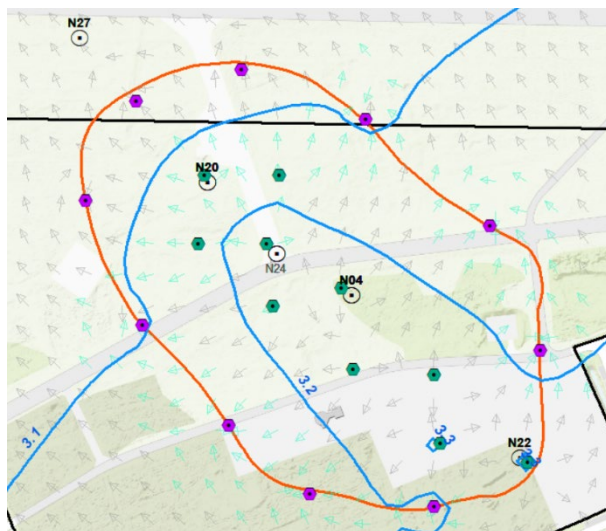
9 injectiebronnen (op de rgw-contour)



Concept 2

10 onttrekkingsbronnen (op de rgw-contour)

10 injectiebronnen (in de as-van de pluim)



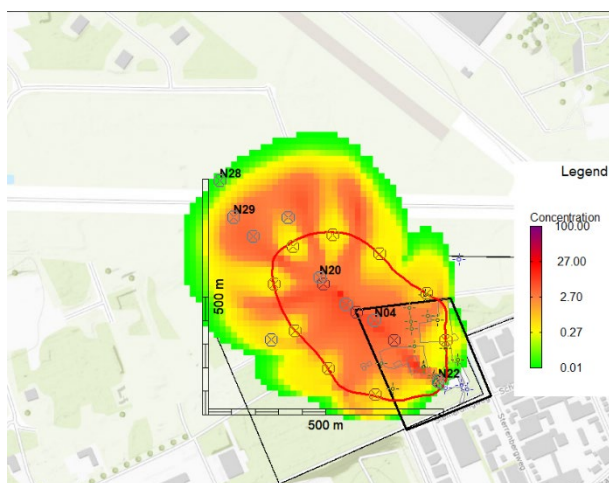
De berekeningsresultaten van beiden conceptontwerpen zijn in bovenaanzicht en grafieken in afbeelding 12 en 13 hieronder weergegeven.

Uit de modelverwachtingen en de grafieken kan het volgende worden afgeleid:

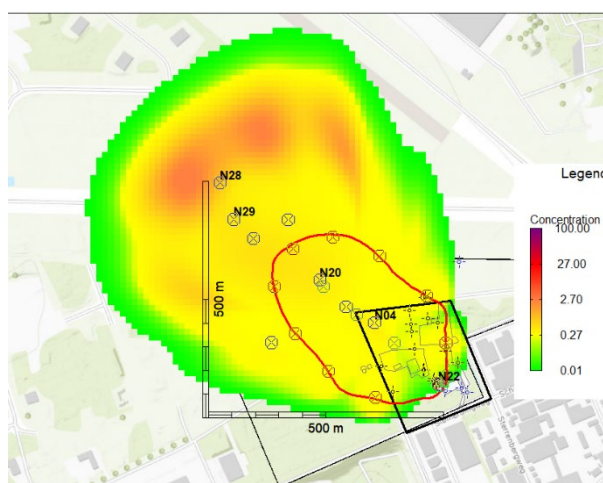
- In 2030 is de laterale verspreiding van de pluim bij concept 1 circa 100 m verder in noordwestelijke richting (zie bovenaanzichten). In concept 2 komt het front van de pluim in 2030 pas aan in N29 terwijl deze in concept 1 al tussen 2025 en 2030 passeert (zie grafieken). In concept 1 worden lagere concentraties berekend (grotendeels onder de 10-14 $\mu\text{g/l}$) binnen de pluim omdat de onttrekkingsfilters de hoge grondwaterconcentraties in het centrum verwijderen. In concept 2 vindt doorspoeling van het grondwater plaats met gezuiverd grondwater en worden de hogere concentraties vanuit het midden naar de buitenkant van de grondwatersanering (onttrekkingsfilters) onttrokken. De berekende concentraties anno 2030 liggen bij dit concept ongeveer een factor 2 hoger (grotendeels onder de 20-28 $\mu\text{g/l}$)
- Na 2030, hier gesimuleerd waar de grondwatersanering wordt voortgezet tot 2050, worden in concept 1 de concentraties grotendeels onder de 2,7 $\mu\text{g/l}$ berekend (op een paar kleine gebieden na die rond de 2,7 $\mu\text{g/l}$ liggen). Ook is hier de laterale verspreiding groter (circa 120 m) dan bij concept 2 (zie bovenaanzichten). Bij concept 2 worden concentraties buiten de grondwatersanering berekend tot circa 10 $\mu\text{g/l}$. Deze concentraties boven de 2,7 $\mu\text{g/l}$ passeren vanaf 2037 peilbuislocatie N29 (zie grafieken).
- De concentratie die buiten de grondwatersanering ter plaatse van peilbuis N29 wordt berekend, is in concept 1 circa 2 $\mu\text{g/l}$ lager dan in concept 2.

Een meer exacte vergelijking tussen de twee concepten is niet verder zinvol zonder dat een betere detaillering van de ontwerpen plaatsvindt.

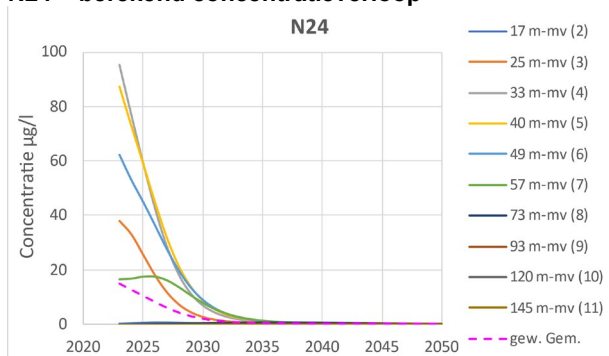
2030



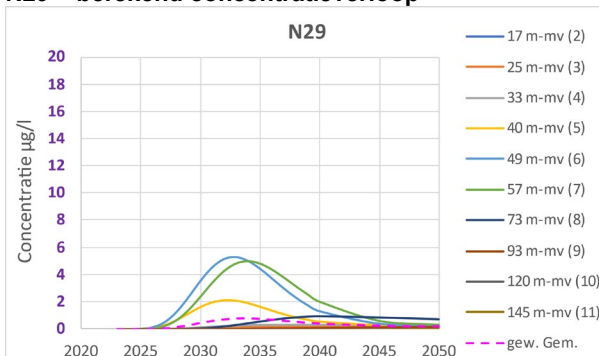
2050



N24 – berekend concentratieverloop

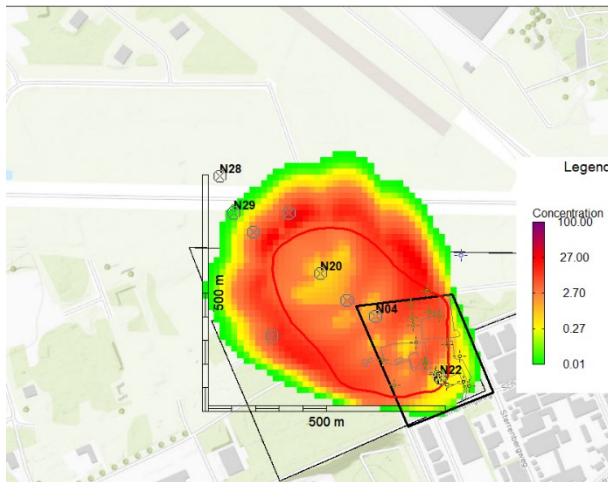


N29 – berekend concentratieverloop

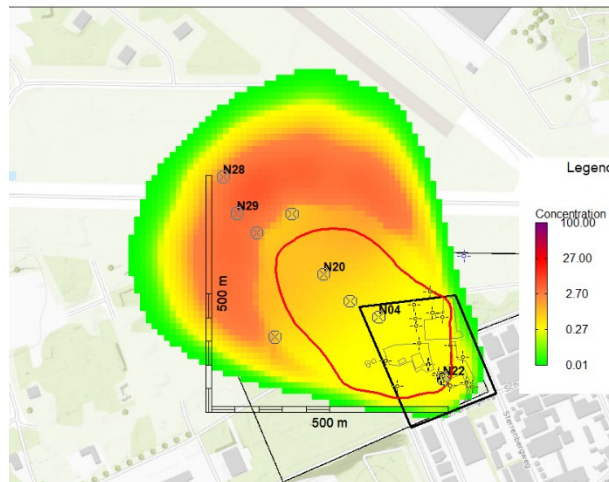


Afbeelding 12 Prognoseberekening grondwatersanering concept 1. In de bovenaanzichten zijn de driedimensionaal maximaal berekende concentraties tot een diepte van 160 onder maaiveld tweedimensionaal weergegeven. De y-as van de grafieken zijn verschillend. De modellagen zijn in de grafieken achter de diepte aangegeven.

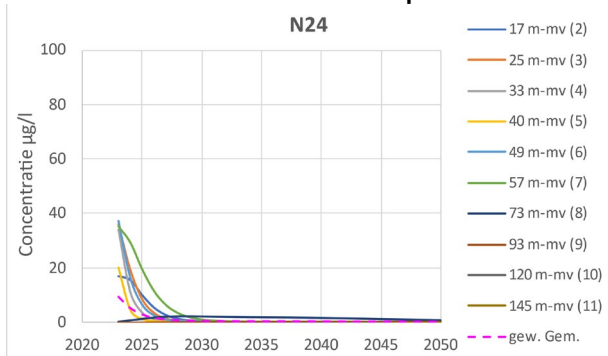
2030



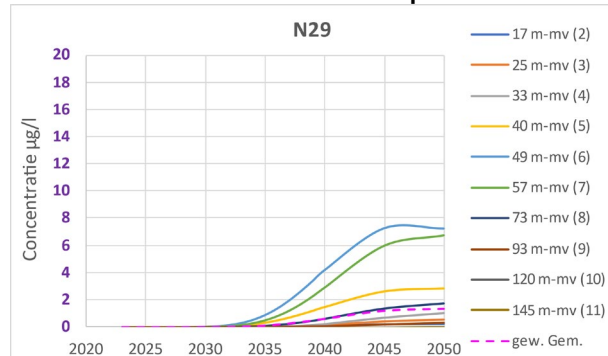
2050



N24 – berekend concentratieverloop



N29 – berekend concentratieverloop



Afbeelding 13 Prognoseberekening grondwatersanering concept 2. In de bovenaanzichten zijn de driedimensionaal maximaal berekende concentraties tot een diepte van 160 onder maaiveld tweedimensionaal weergegeven. De y-as van de grafieken zijn verschillend. De modellen zijn in de grafieken achter de diepte aangegeven.

Conclusies concepten grondwatersanering:

- In beide concepten wordt een terugsaneerwaarde tot onder de 2,7 µg/l binnen 8-7 jaar niet bereikt. Weliswaar wordt in grote delen van de pluimen deze waarde wel bereikt, maar de maximale concentraties liggen rond de 10-20 µg/l.
- Op basis van de 2 conceptontwerpen pleiten de lager berekende concentraties voor concept 1 (onttrekken in de as van de pluim en injecteren aan de rand van de pluim/de i-contour). Dit komt omdat in concept 1 de hoogste concentraties direct worden onttrokken. Echter, worden in dit concept ook concentraties rond of boven de risicogrenswaarde (2,7 µg/l) niet gesaneerd aan de randen van de pluim. Daarnaast wordt in concept 1 verontreinigd grondwater (in dit rekenvoorbeeld is 0,27 µ/l als restconcentratie aangenomen) buiten de bronzone geïnjecteerd. Dit kan gezien worden als het verspreiden van de verontreiniging.
- In concept 2 wordt juist op de rgw-contour (2,7 µg/l) onttrokken, zodat van verspreiding dóór het grondwatersaneringsontwerp veel minder sprake is.
- De hogere concentraties die in beide concepten in noordwestelijke richting buiten de grondwatersanering berekend worden, bevinden zich op een diepte tussen de 40 en 60 m. Een optimalisatie van de filterstellingen, bijvoorbeeld dieper plaatsen dan 45 m-mv, kan het verspreidingsrisico verminderen.

Beide conceptontwerpen hebben voor- en nadelen en zijn slechts op hoofdlijnen doorgerekend. Er zijn geen optimalisatieslagen op de conceptontwerpen doorgevoerd. Bijvoorbeeld andere debieten, andere filterstellingen en optimalisatie van het aantal bronnen.

NOOT: Voor het saneringsplan is het zinvol om een combinatie van beide concepten uit te werken. Het heeft de voorkeur om in de bronzone een infiltratie toe te passen conform concept 2, zodat de “smeerzone” en de onverzadigde zone direct daarboven beter worden doorspoeld om langjarige nalevering te beperken. Concept 1 is dan geschikter om in de pluimzone sneller meer verontreiniging te verwijderen.

5.3.3 Verspreiding na sanering (tot 2250)

In voorliggende paragraaf wordt beschreven welk resultaat wordt bereikt door het saneren van het grondwater tot onder de 2,7 µg/l en het beperken van de nalevering van de bronzone door het aanbrengen van een bovenafdichting. Wat betekent dit voor de ontwikkeling van de grondwaterverontreiniging na sanering tot 2250?

Eén van de mogelijke saneringsopties betreft het aanbrengen van een bovenafdichting bestaande uit een leeflaag met een afdichtende laag om de nalevering van verontreiniging uit de onverzadigde zone naar het grondwater te beperken. De technische uitwerking van deze saneringstechniek staat toegelicht in paragraaf 6.2.

Voor deze berekening zijn de concentraties van de berekende pluim in 2021 uit de historische fit (paragraaf 5.2.2) verlaagd tot maximaal 2,7 µg/l (aangenomen saneringsdoel) en concentraties onder de 2,7 µg/l zijn op nul gezet ((buiten de rgw-contour).

- Ter plaatse van de te realiseren bovenafdichting (linksboven in afbeelding 14) is de grondwateraanvulling in het grondwatermodel gereduceerd tot 20 mm/j. Hiermee is een afdichtende laag nabij maaiveld gesimuleerd.
- De nalevering onder de bronzone is afhankelijk gesteld van evenwichtssorptie in de bovenste laag van het grondwater (evenals bij de autonome ontwikkeling).
- Het effect van het beperken van de nalevering en grondwatersanering is doorgerekend voor de periode 2022-2250. Hierbij is gemakshalve aangenomen dat de grondwatersanering in 2021 heeft plaatsgevonden.

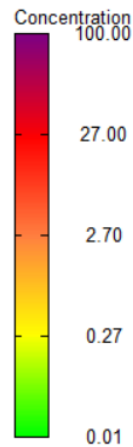
De prognoseberekening van grondwatersanering en beperken van de nalevering heeft als resultaat (zie ook afbeelding 14):

- Anno 2120 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 1.300 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l (*autonome ontwikkeling: 1.500 m berekend*). De maximale concentraties (tot 1,7 µg/l; *autonome ontwikkeling: tot 60 µg/l*) worden op een diepte van 50-60 m berekend (*autonome ontwikkeling: idem*).
- Anno 2250 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 2.200 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l (*autonome ontwikkeling: 2.500 m berekend*). De maximale concentraties (tot 0,7 µg/l; *autonome ontwikkeling: tot 17 µg/l*) worden op een diepte van 60-100 m berekend.

Afdekken (arcering)

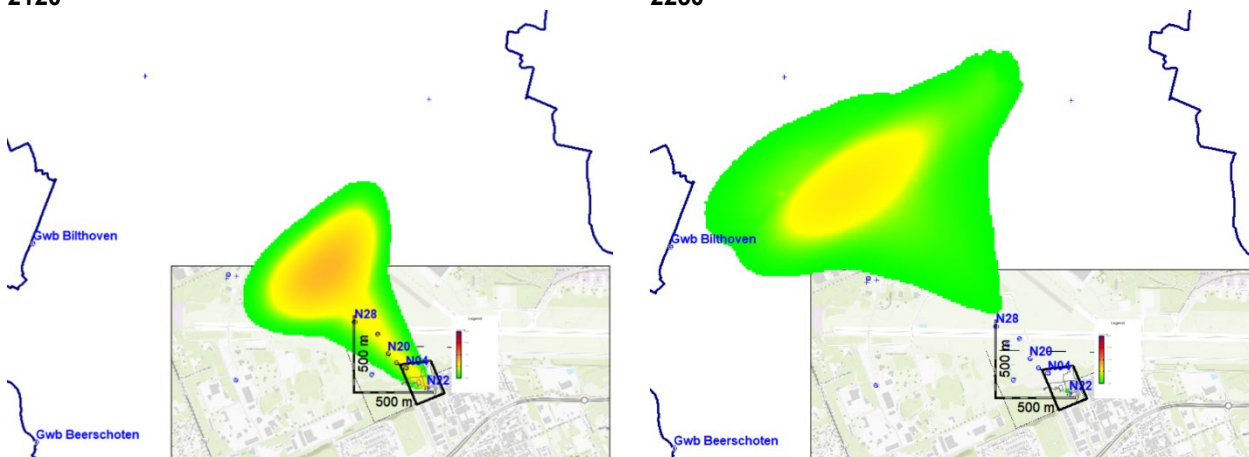


Legenda



2120

2250



Afbeelding 14 Prognoseberekening na grondwatersanering en beperken nalevering. In de afbeeldingen zijn de driedimensionaal maximaal berekende concentraties tot een diepte van 160 onder maaiveld tweedimensionaal weergegeven.

De grenzen van de grondwaterbeschermingsgebieden (Beerschoten en Soestduinen) en boringvrije zone (Bilthoven) zijn in de afbeeldingen in donkerblauw weergegeven.

De prognoseberekening geeft aan dat na 230 jaar:

- Op de grens van boringvrije zone van drinkwaterwinning Bilthoven geen concentraties worden berekend boven de 0,01 µg/l (risicogrenswaarde). Wel ligt de breed uitgestroomde pluim in het pad om de grens van de boringvrije zone op termijn te bereiken.
- De grenzen van drinkwaterwinningen Soestduinen en Beerschoten niet worden bedreigd.
- De hoogste concentraties in de pluim gedaald zijn van 2,7 µg/l na grondwatersanering, tot minder dan 0,7 µg/l anno 2250.

Conclusie verspreiding na grondwatersanering en beperken nalevering

De concentraties na de grondwatersanering zijn én blijven onder de risicogrenswaarden, terwijl bij de autonome variant tot na 230 jaar de risicogrenswaarde voor grondwater buiten grondwaterbeschermingsgebieden overschreden blijft worden, én op termijn ook de risicogrenswaarde binnen grondwaterbeschermingsgebieden zal worden overschreden. Ofwel, ook op de zeer lange termijn is er na sanering niet of nauwelijks sprake van risico's als gevolg van verspreiding.

De prognoseberekeningen laten een vergelijkbare verspreiding zien als bij de autonome ontwikkeling, met enkele honderden meters verschil en veel lagere concentraties door de grondwatersanering.

Doordat het stoftransportmodel rekening houdt met een (3 tot 5x) grotere vracht dan in werkelijkheid is gemeten in de bodem, én met een iets snellere verspreiding dan waarschijnlijk in de werkelijkheid optreedt, is sprake van een worst case benadering. Het is echter niet volledig uit te sluiten dat verontreiniging op een termijn van 230 jaar of meer de grenzen van een grondwaterbeschermingsgebied of boringvrije zone kan bereiken. Daarnaast zal een zeer groot volume grondwater verontreinigd raken boven de risicogrenswaarde-drinkwaternorm (0,0099 µg/l). Deze waarde is echter niet van toepassing in het gebied waar de pluim is berekend.

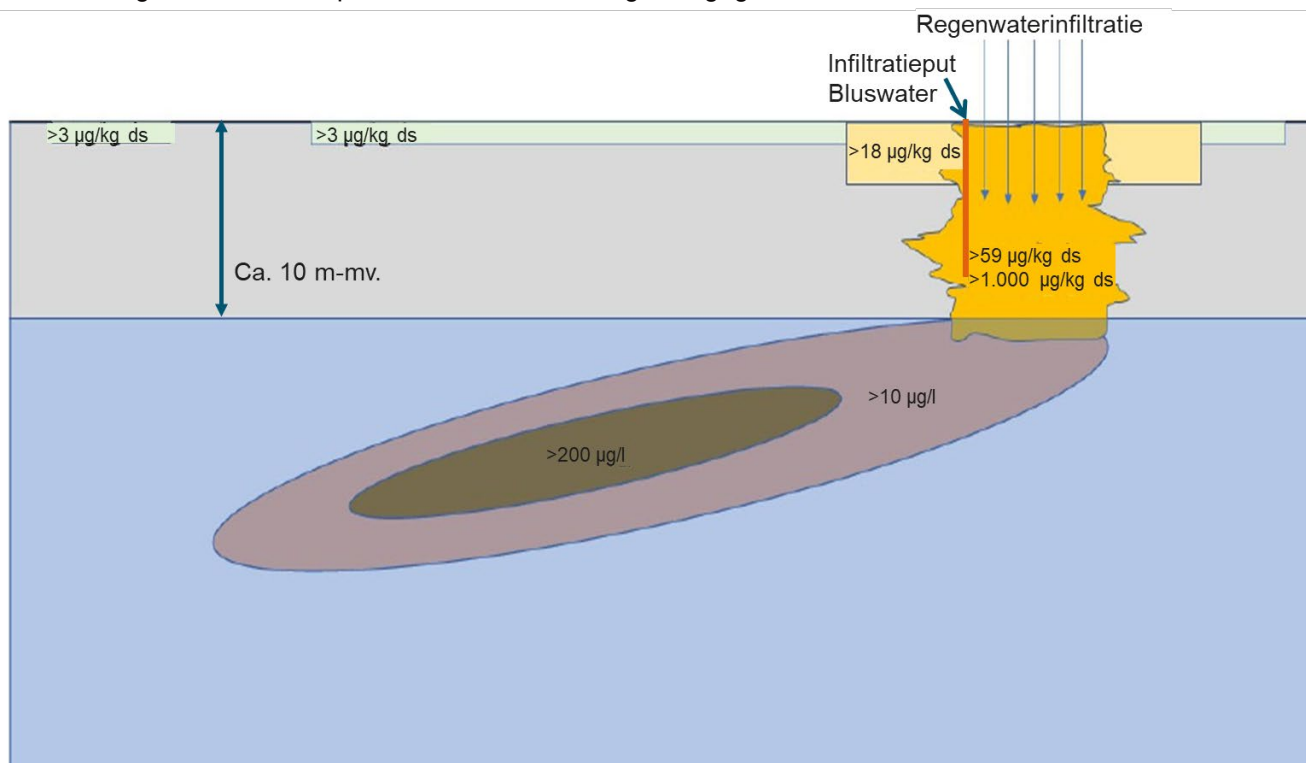
6 Bouwstenen keuze Saneringswijze

Voor de sanering van het plangebied Soesterberg kan worden gekozen tussen verschillende saneringswijzen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de bouwstenen van deze keuze, de saneringstechnieken en de daarmee te bereiken resultaten, en er wordt uiteengezet op welke manier dat een keuze kan worden gemaakt. De keuze wordt echter niet alleen gemaakt door specialisten of experts die alle details van het plangebied en de technische ins- and outs kennen. Om ook minder ingewijden mee te kunnen nemen in de afweging, wordt allereerst een conceptueel model gepresenteerd waarmee begrip in de verontreinigingssituatie wordt gekweekt en inzicht in de zin en onzin van maatregelen.

6.1 Conceptueel model en systeembegrip

Een goede keuze van een saneringsaanpak is alleen mogelijk als de risico's en gebruiksbeperkingen aan maaiveld en de processen in de ondergrond goed worden begrepen. Een conceptueel model is een vereenvoudigde weergave van de onderzoekslocatie waarin de relevante onderdelen en processen schematisch zijn weergegeven. Het doel van een conceptueel model is bovendien dat ook niet bodemspecialisten worden betrokken en doordringen van de keuzes die moeten worden gemaakt.

In Afbeelding 15 is het conceptueel model schetsmatig weergegeven.



Afbeelding 15 Schetsmatige weergave verontreiniging met PFOS; conceptueel model

De volgende aspecten zijn het meest relevant voor goed begrip van de situatie:

Introductie verontreiniging en verspreiding in de vaste bodem

De verontreiniging met PFOS is op hoofdlijnen op 2 manieren in en op de bodem gekomen:

- **Oppervlakkig** door incidenteel gebruik blusschuim en voor een (gering) deel door atmosferische depositie (achtergrondwaarde Nederland ongeveer $1,4 \mu\text{g/kg ds}$). Dit heeft ertoe geleid dat grote oppervlakken op het plangebied zijn verontreinigd tot boven de hergebruikswaarde of laagste risicogrens voor natuur van $3 \mu\text{g/kg ds}$. De onderzoekslocatie kan daardoor niet goed op deze grens worden afgebakend omdat de waarde ook in de omgeving wordt aangetroffen.

- **Tot in het grondwater** op ongeveer 10 m -mv. door regelmatig gebruik van blusschuim en de infiltratie van bluswater in infiltratieputten. Vooral bij afvoergoten en infiltratieputten worden hoge concentraties PFOS in de bodem aangetroffen tot boven 1.000 µg/kg ds. De infiltratie van water door een onverzadigde zone verloopt doorgaans zeer grillig (vingerpatronen) en is zeker niet altijd verticaal, maar afhankelijk van de sedimentologie. Bij de infiltratieputten zijn gedurende een periode van ongeveer 10 jaar zeer hoge concentraties water direct in het grondwater ingebracht. Deze zijn veel hoger dan de concentraties die door nalevering vanuit de grond in het grondwater komen. De infiltratie is de oorzaak van de “loslatende” pluim.

Nalevering door hoge concentraties PFOS in capillaire zone en top grondwater

Bluswater dat (vrij direct via infiltratie) het grondwater bereikt op ongeveer 10 m -mv. bevat relatief hoge concentraties organische stof en micellen, kleine bolletjes van PFOS-moleculen. Het bluswater verspreidt zich ook deels horizontaal op de grondwaterspiegel. Deze micellen kunnen zeer langzaam in oplossing gaan, en deze zone zal gedurende lange tijd naleveren. Eerst gaan vooral de makkelijk oplosbare deeltjes in oplossing en vervolgens zal de nalevering afnemen. De gemeten concentraties zijn momenteel in de orde grootte 30-50 µg/l. Door het direct ingebrachte bluswater was op deze plaats eerder sprake van veel hogere concentraties in het grondwater. Deze zijn inmiddels sterk afgenomen.

“Loslatende” pluim

In werkelijkheid zal de pluim weliswaar niet volledig loslaten van de bronzone, maar tijdens het in gebruik zijn van de infiltratiebronnen en de eerder sterke uitloging van de hierboven benoemde zone rondom de grondwaterspiegel, zijn in het verleden veel hogere concentraties PFOS weggestroomd in de pluim.

De kernzone van de pluim bevindt zich inmiddels op enkele honderden meters afstand van de bron.

Het stoppen van de bronterm voorkomt niet dat de hoogste concentraties verderop zullen verspreiden. Uit de modellering is gevolgd dat wegnemen van de hoogste concentraties in de pluim veel meer effect heeft op de verspreiding dan het stoppen van de nalevering.

Nut wegnemen nalevering grondverontreiniging

Uit het bovenstaande mag niet worden afgeleid dat het wegnemen van de nalevering geen effect heeft. Al is de nalevering uit de grondverontreiniging lager dan het eerder geïnjecteerde bluswater, als de kernzone van het grondwater wordt gesaneerd, dan leidt het wegnemen van de nalevering ertoe dat de grondwaterverontreiniging sneller zal afnemen en “oplossen”. Bovendien bestaat er nog de nodige onzekerheid over de nalevering uit de onverzadigde zone, en uit de “smeerzone” van het voormalige bluswater. Door een paar gerichte maatregelen zoals afdichten en versneld doorspoelen smeerzone tijdens de grondwatersanering kan die onzekerheid aanzienlijk worden verkleind. Als de nalevering niet wordt verminderd dan zal de pluim (weliswaar minder), maar wel langer blijven gevoed, en dus minder snel oplossen. De modellering geeft aan dat ook bij het stoppen van de nalevering dit “oplossen” al meer dan 200 jaar zal duren.

6.2 Overzicht van technische mogelijkheden

In paragraaf 4.3 is al ingegaan op de algemeen beschikbare reinigingstechnieken voor grond en grondwater. Het is de verwachting dat meer technieken beschikbaar zullen komen. Deze zijn nu echter nog geen state of art. In deze paragraaf wordt ingegaan op de technische uitvoeringsmogelijkheden die meer specifiek op dit plangebied kunnen worden ingezet om de grond te saneren. Dit zijn de bouwstenen waarmee de saneringsvarianten later kunnen worden samengesteld.

Voor de aanpak van de grondsanering kunnen de volgende vier methoden worden onderscheiden:

- Isolatie van de verontreiniging (afdekken met grond of duurzame verharding).
- Ontgraven van de verontreiniging en elders of op locatie verwerken of tijdelijk opslaan in afwachting van reinigingsmogelijkheden.
- Ontgraven van de verontreiniging en storten (mogelijk vanaf 60 µg/kg ds).
- In situ reinigen van de verontreiniging.

In dit saneringsonderzoek is op basis van navraag in de markt voor behandeling van vrijkomende sterk verontreinigde grond uitgegaan van de volgende afvalstromen:

- Grond met concentraties PFOS tot 60 µg/kg ds wordt gereinigd.
- Grond met concentraties PFOS hoger dan 60 µg/kg ds wordt verwerkt op een stortplaats.

In Tabel 9 staan mogelijke technieken voor de grond bij de drie verschillende methoden.

Tabel 9 Technische opties voor de grondsanering

Methode	Techniek	Opmerking
Isolatie	Afdekken met grond / leeflaag eventueel gecombineerd met een slecht doorlatende laag.	De aansluiting van de aan te brengen laag met de aanwezige bomen vormen is niet eenvoudig. Aansluiting op peilen en niveaus in omgeving leidt tot knelpunten. Het is onzeker of dit te combineren is met een (aangepast) woningbouwplan. Ook bij een ingegraven leeflaag is de aansluiting aan te handhaven bomen moeilijk uitvoerbaar, het wortelstelsel van de bodem zit in de te ontgraven grond.
	Afdekken met duurzame verharding.	Aanwezige bomen vormen obstakel. Verharding van openbare weg / parkeerplaatsen kan aangepast worden tot duurzame verharding. Aanleg nutsvoorziening vraagt om plaatselijk stroken voor te saneren. Dit is geen optie ter plaatse van woningbouw.
Ontgraven	Traditioneel ontgraven en elders laten reinigen of storten (ook verkenning van mogelijkheden in het buitenland).	Mogelijk tot verschillende terugsaneerwaarden. De markt is in ontwikkeling, op dit moment zijn er een beperkt aantal reinigers en stortplaatsen die de grond accepteren, dit betekent dat verwacht mag worden dat reinigers hun tarieven op termijn zullen laten zakken. Grotere dieptes zijn problematisch.
	Traditioneel ontgraven en ter plaatse reinigen en terugplaatsen.	Mogelijk tot verschillende terugsaneerwaarden. Gebruik van grondwater in proces of leidingwater, maar een hoge mate van recirculatie en reiniging zijn waarschijnlijk nodig. Resultaten van schudproeven zijn gunstig voor mogelijkheid van extractieve reiniging. Grotere dieptes zijn problematisch.
	Boorpalen tot meer dan 10 m -mv. bodemaustausch technieken met boorpalen met diameter van 2 m worden tot 20 m -mv. veelvuldig toegepast in Duitsland	Deze techniek is kostbaarder dan traditionele ontgraving en is in Nederland nog weinig toegepast, maar zeker interessant als wordt besloten om de diepe kernen weg te nemen. NOOT: De sanering van de diepe kernen is vooral afhankelijk van de noodzaak voor het verminderen van de uitloging naar het grondwater.
	Ontgraven en toepassen in een grootschalige bodemtoepassing (GBT) elders op de vliegbasis of buiten de vliegbasis.	Conflict met invulling zorgplichten op basis van het handelingskader PFAS. GBT mag in principe maximale concentraties bestemming industrie toelaten, dat is 3 µg/kg ds. Alleen binnen de contouren van het geval van ernstige bodemverontreiniging kunnen hogere concentraties, mits onderbouwd en onder voorwaarden, worden toegelaten.
In situ sanering	Doorspoelen van de onverzadigde zone en onttrekken en reinigen van grondwater.	Alle diepe boringen vermelden: zand, zeer grof, matig siltig, zwak humeus, laagjes grind, lichtbruin. Dit is gunstig voor het doorspoelen, maar risico op ontstaan van voorkeurskanalen en daarmee het onvoldoende doorspoelen van alle zones is groot.
	Verhitten tot 500 °C	Techniek is toegepast tot minder hoge temperaturen op vluchtige verbindingen zoals olie en aromaten, maar nog niet full scale op PFOS.

Op dit moment ligt het voor de hand dat de uitvoering van de grondsanering zal worden uitgevoerd door middel van ontgraving. De in situ saneringswijzen zijn nog onvoldoende doorontwikkeld om een full scale toepassing mogelijk te maken met een voldoende saneringsresultaat bij de toekomstige woningbouwbestemming. In situ doorspoelen is zeker in de oppervlakkige lagen te gevoelig voor voorkeursstromen, en verhitten tot hoge temperatuur is moeilijk haalbaar en kostbaar op deze schaal, en zal bovendien zeer grote schade toebrengen aan de ecologie en bomen. In situ technieken zouden vooral voordeel boeken bij het saneren van diepere verontreiniging. De kans dat het gevraagde saneringsresultaat binnen het plangebied op een diepte rondom de grondwaterspiegel (10 m -mv.) niet wordt behaald wordt bovendien hoog ingeschat. Dit betekent hoge uitgaven terwijl bijvoorbeeld de kadastrale registratie moet blijven bestaan.

Het is meer waarschijnlijk dat de uiteindelijke saneringsvariant zal zijn opgebouwd uit ontgraving en aanvullen, al dan niet als leeflaag of gecombineerd met een isolerende laag om uitloging tegen te gaan.

De PFOS-verontreiniging van dit geval van ernstige bodemverontreiniging kenmerkt zich door een grote verticale verspreiding, plaatselijk tot de grondwaterspiegel (9,5 m -mv.) en soms nog dieper (1 à 2 m in de verzadigde zone). Dit betekent dat het nastreven van een terugsaneerwaarde in zowel horizontale als verticale richting binnen het plangebied, een forse extra inspanning vraagt.

Het is daarom waarschijnlijk dat een vorm van een leeflaagconstructie een kansrijke optie is. De afmetingen en saneringsgrenzen kunnen daarbij variëren.

Toelichting leeflaag

Omdat in veel saneringsvarianten de toepassing van een leeflaag voorkomt, wordt de techniek van leeflaagconstructies toegelicht. Door het toepassen van een leeflaag wordt de grondkwaliteit in de toplaag (afhankelijk van het doel en functie kan de dikte variëren van 0,5 tot 2,5 m) verbeterd en wordt contact met onderliggende verontreiniging voorkomen. Dit is een relatief sobere en doelmatige oplossing maar na aanbrengen zal afhankelijk van de dikte en de bestemming van de locatie sprake kunnen zijn van gebruikbeperkingen. Wanneer na aanleg van de leeflaag alsnog tot een grotere diepte wordt gegraven, dan is dit mogelijk, maar moet een meldingsprocedure worden doorlopen en krijgen de grondwerkzaamheden het karakter van een grondsanering.

Dimensionering van een leeflaag

De **horizontale omvang** van een te realiseren leeflaag is gelijkgesteld aan de contour van de te kiezen terugsaneerwaarde. In dit geval wordt gekozen voor de grenzen 3, 18 en 59 µg/kg ds (zie paragraaf 2.4). De hoeveelheden zijn genoemd in hoofdstuk 3 (tabel 4). De contouren behorende bij voornoemde terugsaneerwaarden (grenzen) zijn opgenomen in bijlage A1.

In de praktijk zal de rand van de leeflaag zo veel mogelijk samenvallen met perceelsgrenzen en de geplande infrastructuur. Daarnaast dient bij de leeflaag ook de diepe grondverontreiniging zo veel als mogelijk afgedekt te worden om de nalevering naar het grondwater te beperken. In onderstaande afbeelding is een voorstel voor de oppervlakte van de leeflaag opgenomen. De oppervlakte hiervan is circa 21.600 m².



Afbeelding 16 Voorstel leeflaag boven sterke grondverontreiniging PFOS

De **verticale omvang**, ofwel de dikte van de leeflaag bedraagt minimaal 0,5 m, en wordt verder volgens de Bodemrichtlijn (herstel bodemkwaliteit) afgestemd op het gebruik:

- Tuin; 1 m.
- Bouwblokken; 2,5 m.
- Weg met riool; 2,5 m.
- Nutstracé; 1,5 m.
- Recreatieve uitloopzones; 1 m.

In het kader van de hoeveelhedenbepaling en kostenramingen is voor de woningbouwvarianten uitgegaan van een gemiddelde dikte van 1,5 m, met een toeslag van 1,5 m over de oppervlaktes van bouwblokken (contouren van de huizen). Dit laatste faciliteert de aanleg van een kelder of een ontwerp met split level en half verdiepte garage. Voor het militair gebruik is een minimale dikte van 0,5 m gekozen om te voorkomen dat de ondoorlatende laag wordt aangetast (bevrozing, knaagdieren, vegetatie, mechanische beschadiging). Omdat er een afwatering noodzakelijk is in de leeflaag zullen er op regelmatige afstand drains gelegd moeten worden. Voor een goede afwatering is uitgegaan van een gemiddelde rekendikte van 1,5 m over de volledige oppervlakte voor de leeflaag inclusief drainagelaag. Er wordt van uitgegaan dat het nieuwe maaiveld gelijk zal dienen te zijn aan het bestaande maaiveld. Dit betekent dat de leeflaag volledig wordt ingegraven. Er wordt net zoveel grond ontgraven als er wordt aangevuld in de vorm van een leeflaag.

Keuze isolerende of afdichtende laag

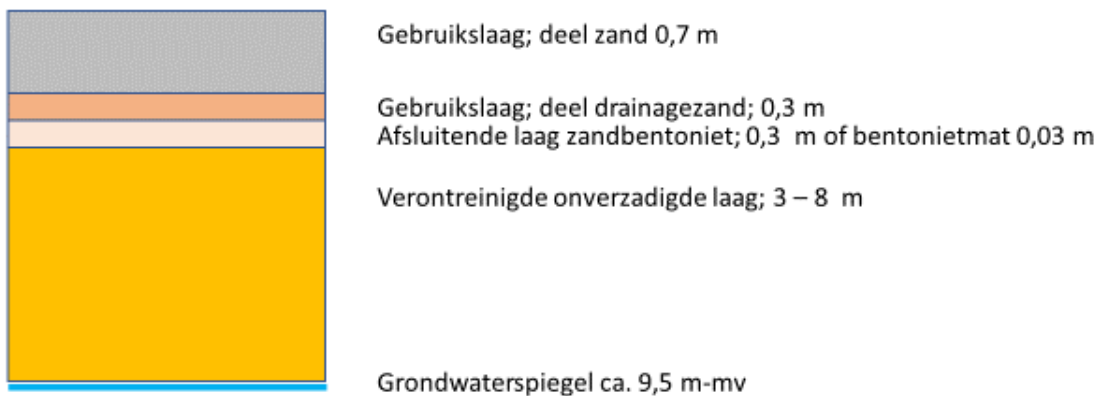
Uit de uitloogtesten en modellering is naar voren gekomen dat het reduceren van de nalevering uit de onverzadigde zone zin heeft. Door het aanbrengen van een slecht waterdoorlatende laag wordt de infiltratie van regenwater tegengegaan. De nalevering van PFOS via het oplossen van PFOS uit de vaste fase en verder verticaal transport naar het grondwater wordt vergaand verminderd. In de bodemrichtlijn zijn diverse materialen die een waterkerende laag vormen op doorlatendheid met elkaar vergeleken. In het kader van dit saneringsonderzoek is de keuze mogelijk tussen bentonietmatten (dikte 3 - 5 cm) of zandbentoniet dat gemaakt wordt door het infresen en verdichten van bentonietpoeder in de verontreinigde ondergrond (zand), meestal een laag van ongeveer 0,3 m. In een volgende fase zal bij de detaillering aandacht moeten zijn voor:

- Hinder tijdens het bouwen van huizen.
- Mogelijkheden tot herstel bij beschadiging van de laag.
- Te volgen profiel bij nutstracé en riool/openbare weg.

- Voorkomen van zoutlast op de laag (uitwisseling ionen in bentoniet is niet wenselijk).

Kostentechnisch ontlopen de beide technieken elkaar niet veel. En ook het ruimtebeslag hoeft niet te verschillen. Het is wel nodig om een drainagelaag aan te brengen op de bentonietmat of de zandbentonietlaag om wateroverlast tegen te gaan.

De drainagelaag sluit aan op een drainstelsel onder de wegen, het drainstelsel brengt het grondwater naar een infiltratiesloot of naar infiltratiepunten (bijvoorbeeld kratten) ruimschoots buiten de contouren van de afdichtende laag. De constructie van de leeflaag als bovenafdichting bij de woningbouwvarianten ziet er als volgt uit, zie afbeelding 17. Bij voortzetting van militair gebruik zal de gebruikslaag uit één laag bestaan van zand met een minimale dikte van 0,5 m.



Afbeelding 17 Opbouw leeflaag met afsluitende laag

Optimalisatie leeflaag

Bij een isolerende leeflaag kan ook overwogen worden om onder de leeflaag een drainage aan te brengen en deze aan te sluiten op de grondwatersanering. Bij voorkeur worden de oude infiltratieputten hiertoe vervangen. Dit heeft als voordeel dat het extra doorspoeling van de meest verontreinigde grondzones kan realiseren gedurende de grondwatersanering (tenslotte is de bulk van de verontreiniging op deze wijze in de bodem beland). Deze optie is niet uitgewerkt in het huidige saneringsonderzoek, maar kan in een volgende fase (saneringsplan) overwogen worden. Een andere optie die in een volgende fase overwogen kan worden is het deels afdekken van de leeflaag. In afbeelding 16 is de afsluitende laag voorgesteld over de gehele sterke grondverontreiniging. Aangezien de grondverontreiniging in het noorden niet tot noemenswaardige nalevering leidt, kan ook overwogen worden om de afdichtende leeflaag alleen ter plaatse van de zuidelijke deellocatie aan te brengen, en in het noorden te beperken tot een traditionele leeflaag.

6.3 Keuze- of afwegingsproces

6.3.1 Toelichting

Het keuze- of afwegingsproces beschrijft de stappen en acties die mogelijk zijn om tot een evenwichtige en gedragen keuze te komen. In dit geval wordt een iets aangepaste versie van het proces voor duurzaam saneren voorgesteld. Het is bovendien vergelijkbaar met vertaling van kosteneffectiviteit in baten en lasten zoals deze is opgenomen in de Circulaire Bodemsanering (juli 2013).

In het afwegingsproces wordt onder meer overeengekomen met stakeholders op basis van welke afwegingsaspecten of beoordelingscriteria een keuze kan worden gemaakt én welke saneringsvarianten daarbij in beschouwing worden genomen. Op basis van deze evenwichtige set van criteria kan op basis van de doorslaggevende argumenten de voorkeursvariant worden bepaald. Omdat voorafgaand aan de uitwerking van de varianten de globale opties zijn verkend, én bovendien de aspecten waarop deze varianten worden beoordeeld, is er bij de keuze van de voorkeursvariant doorgaans minder discussie.

Hier wordt toegelicht welke saneringsvarianten zijn geselecteerd en op welke uitgangspunten deze zijn gebaseerd. Vervolgens wordt aangehaald welke afwegingsaspecten zullen worden gebruikt bij de uitwerking van deze varianten in het volgende hoofdstuk.

6.3.2 Voorstel saneringsvarianten

Uitgangspunten

- Er wordt alleen gekozen voor state of the art technieken, of technieken waarvan mag worden verwacht dat ze op afzienbare tijd binnen handbereik zijn. Voor grondreiniging wordt uitgegaan van extractieve reiniging. Vooralsnog wordt thermische in situ reiniging niet meegenomen. Indien haalbaarheidsproeven het tegendeel bewijzen kan overwogen worden deze toe te voegen, maar internationaal zijn nog onvoldoende referenties beschikbaar.
- Een grondsanering is niet te combineren met behoud van bestaande bomen binnen de verschillende te ontgraven gebieden. Er is van uitgegaan dat het bos waar nodig gekapt zal worden.
- Voor de consequenties van de keuze van de terugsaneerwaarden wordt verwezen naar hoofdstuk 3. Dat zijn 3, 18 en 59 µg/kg ds.
Alle varianten worden hierop gebaseerd, met de filosofie dat een strengere waarde meer onbelemmerd gebruik mogelijk maakt maar ook meer kosten en andere lasten met zich meebrengt.
- In aanvulling op deze varianten wordt ook de variant voortzetten militair gebruik meegenomen. Dit was de situatie tijdens de terreinoverdracht in 2009, en is op verzoek van RVB/defensie als referentie toegevoegd.
- De grondwatersanering is bij alle varianten noodzakelijk. Verspreiding is een van de belangrijkste triggers van spoedeisendheid, met een reële bedreiging van kwetsbare objecten. Deze grondwatersanering is ten opzichte van grondsanering minder kostbaar en is nodig om toekomstige verspreiding vanuit de restverontreinigingen te voorkomen.
- Omdat PFOS zeer persistent is en er weinig bekend is over gedrag op de zeer lange termijn (>50 jaar) helpt het tegengaan van uitloging uit de onverzadigde zone om de onzekerheid van het stofgedrag weg te nemen, en biedt het risicoreductie tegen relatief geringe kosten. Bij de uitwerking van de leeflaagvarianten wordt daarom een afsluitende laag aangebracht om uitloging ten gevolge van infiltratie van regenwater tegen te gaan.
- Het saneringssysteem voor het grondwater overlapt grotendeels met de nieuw aan te leggen woonwijk. Na ontwikkeling kan het systeem slechts beperkt worden aangepast. De overlast na installatie te zijner tijd moet nu afgewogen worden tegen de investering van een eventueel overgedimensioneerd grondwatersaneringssysteem. In dit saneringsonderzoek wordt in de varianten, met als doel het beperken van de risico's van verspreiding via grondwater, de grondwatersanering direct bij aanvang uitgevoerd. De grondwatersanering zal de concentraties terugbrengen tot om en nabij de risicogrenswaarde (2,7 µg/l).

Haalbaarheid hergebruikswaarde grond en fondsvorming

Om het aantal gebruiksbeperkingen bij herontwikkeling te minimaliseren is het ultieme doel om alle concentraties PFOS in de grond beneden de bovengrens voor hergebruik van grond uit het Handelingskader PFAS te brengen; 3 µg/kg ds. Hiermee worden gebruiksbeperkingen voor toekomstige bewoners geminimaliseerd bij afvoer van grondstromen naar elders. De hoeveelheid grond die daarvoor ontgraven zou moeten worden is enorm en zou leiden tot buiten proportionele kosten, en bovendien tot het kappen van vrijwel alle bomen in het gebied en grote schade aan de bestaande ecologie. Voor de volledigheid wordt deze aanpak verderop beknopt uitgewerkt als variant 0. Een dergelijke operatie is niet gericht op (humane) risico's en wordt niet als duurzaam of realistisch beschouwd. Laatstgenoemde variant wordt daarom vervolgens niet verder meegenomen in de afweging. Om toekomstige bewoners tegemoet te komen ten aanzien van de (relatief geringe) meerkosten van afvoer van vrijkomende grond op eigen perceel kan men een fonds vormen waar bewoners een beroep op kunnen doen wanneer er bij grondverzet niet toepasbare grond over blijft. Het spreekt voor zich dat dit gepaard moet gaan met een heldere communicatie. Dit fonds zou men een bepaalde looptijd kunnen geven.

De looptijd kan gebaseerd worden op verschillende criteria, te denken valt aan:

- Initiële bouw/ontwikkelfase; 5 jaar.
- Een generatie; 30 jaar.
- Een looptijd afgestemd op overige nazorgbepalingen.

Voor alle leeflaagvarianten is voor dit fonds uitgegaan van een looptijd van 10 jaar. Daarna vervalt de voorziening van het fonds en zullen bewoners een eventueel surplus aan grond bij diepe bouwwerkzaamheden zelf moeten betalen. De meerkosten zullen tegen die tijd gedaald zijn omdat de stand der techniek zich in de jaren ontwikkeld.

Saneringsvarianten

De volgende varianten zijn overeengekomen en zullen worden uitgewerkt (zie volgend hoofdstuk voor nadere toelichting). Bij alle varianten wordt het grondwater gesaneerd tot 2,7 µg/l:

0. **Maximale sanering**, alle grond ontgraven tot generieke hergebruikswaarde 3 µg/kg ds.
1. **Wonen met tuin**, geen kadastrale registratie doordat alle grond wordt ontgraven tot niveau interventiewaarde, 59 µg/kg ds.
2. **Leeflaag tot 3 µg/kg ds** en afsluitende laag tot 59 µg/kg ds contour, (wonen met tuin en generiek hergebruik toplaag mogelijk).
3. **Leeflaag tot 18 µg/kg ds** en afsluitende laag tot 59 µg/kg ds (wonen met tuin en lokaal hergebruik mogelijk).
4. **Leeflaag tot 59 µg/kg ds** en afsluitende laag (wonen met tuin mogelijk).
5. **Militair gebruik**, leeflaag tot 59 µg/kg ds met afsluitende laag (laag dunner dan bij wonen).

NOOT:

- De varianten 0 en 5 zijn vooral als referentie toegevoegd. Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat deze varianten in uitvoering gaan. Ze worden beschreven en gecalculeerd, maar niet meegenomen in de vergelijking naar een voorkeursvariant voor de daadwerkelijke uitvoering.
- Bij alle varianten is de grondwatersanering voorzien, en bij de leeflaagvarianten wordt ook rekening gehouden met de uitvoering van een afsluitende laag onder een deel van de leeflaag (contour 59 µg/kg ds).

6.3.3 Afwegings- of beoordelingsaspecten

De varianten zullen worden beoordeeld aan de hand van een set van afwegingsaspecten.

De afwegingsaspecten zijn ingedeeld in voor- en nadelen, ofwel baten en lasten. Daarmee kunnen de 'voors' en 'tegens' van de verschillende varianten tegen elkaar worden afgezet. Voor deze benadering wordt gekozen omdat een toenemende saneringsinspanning gepaard kan gaan met meer nadelen dan alleen hogere kosten.

De afwegingsaspecten worden zo gekozen dat ze niet overlappen, evenwichtig en duidelijk gedefinieerd zijn als baat of last.

Wij stellen de volgende aspecten voor (vergelijkbare sets zijn gehanteerd bij de saneringskeuze voor de Vetgasfabriek in Amersfoort of het project Edelchemie in Panheel, beiden 10 miljoen+ projecten):

Lasten:

- Kosten (alle bedragen in dit rapport zijn exclusief btw).
- Faalrisico's en/of technische uitvoerbaarheid. De technische uitvoerbaarheid van de verschillende varianten is redelijk tot goed en daarmee niet sterk verschillend. Dit aspect is niet onderscheidend. Daarom gaat de score alleen over faalrisico.
- Saneringsduur en nazorg.
- Emissies en overlast.

Baten:

- Risicoreductie.
- Toename gebruiksmogelijkheden of waarde onroerend goed.
- Maatschappelijke acceptatie/verantwoordelijkheid.
- Vrachtverwijdering.

In het volgende hoofdstuk worden de gekozen saneringsvarianten uitgewerkt en beoordeeld op deze afwegingsaspecten. De invulling van de afwegingsaspecten is vooral kwalitatief, en voor de aspecten kosten, saneringsduur en vrachtverwijdering kwantitatief. Deze semi-kwantitatieve invulling is erop gericht dat een vergelijking tussen de varianten mogelijk is.

De kosten worden daarbij gepresenteerd met een onzekerheidsmarge van 20%, hetgeen veroorzaakt wordt door:

- Onzekerheden in de hoeveelheden verontreinigde grond en grondwater.
- Markteffecten op de prijs voor sanerings- en reinigingstechnieken.
- Wijzigingen in de normstelling voor PFOS.
- Het complexe stofgedrag van PFOS en de relatief beperkte ervaring met de sanering daarvan.

7 Uitwerking Saneringsvarianten

Allereerst wordt in dit hoofdstuk de grondwatersanering geraamd. De opzet is voor alle te kiezen saneringsoplossingen vergelijkbaar. Alleen de monitoring na afloop zal verschillen afhankelijk van de aanpak van de grondsanering. Na de beschrijving van de grondwatersanering worden de saneringsvarianten voor de grond beschreven en vervolgens beoordeeld op de afgesproken afwegingsaspecten. De beoordeling vindt vooral plaats ten opzichte van de andere varianten. De varianten 0. “Maximale sanering” en 5.

“Militair gebruik 2009” worden niet voor alle afwegingsaspecten in detail beoordeeld omdat de daadwerkelijke keuze of uitvoering van deze varianten niet waarschijnlijk is.

7.1 Grondwatersanering

Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de grondwatersanering zal worden uitgevoerd als een traditionele “pump and treat” met onttrekkingen en infiltraties, waarvan de globale dimensionering is toegelicht in paragraaf 5.3.

Niet uitgesloten kan worden dat de stand der techniek voortschrijdt en een andere uitvoeringswijze mogelijk wordt. Deze optimalisatie kan plaatsvinden in het saneringsplan. Het is mogelijk dat de grondwatersanering tot $<2,7 \mu\text{g/l}$ niet mogelijk is, maar dat plaatselijk nog gehalten tot circa $10 \mu\text{g/l}$ PFOS in het grondwater achterblijven. Omdat de hoogste concentraties in het grondwater voorkomen relatief ver vanaf de bronzone in de grond, geldt dit voor alle varianten.

Op basis van de verontreinigingsbeelden is een globale volumebepaling uitgevoerd van grondwater met concentraties boven de $2,7 \mu\text{g/l}$ PFOS. Deze schatting is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 10 Geschat volume sterk verontreinigd grondwater (PFOS)

Contour	Van (m -mv.)	Tot (m -mv.)	Dikte >2,7 $\mu\text{g/l}$ (m)	Volume (m^3)	Max. concentratie PFOS $\mu\text{g/l}$
<18 m -mv. bronlocatie zuid	9	18	9	130.000	235
<18 m -mv. bronlocatie noord	9	18	9	55.000	79
18-35	18	35	17	1.100.000	201
>35 m -mv.	35	55	20	1.800.000	201
Totaal				3.200.000	

De grootste vracht van de grondwaterverontreiniging betreft een relatief dunne laag (ca. 15 m dikte) die met de afstand tot de bron dieper gaat, van 18 naar 50 m -mv. De relatief geringe dikte van deze laag bemoeilijkt een kosteneffectieve grondwatersanering gericht op de hoge concentraties (vracht). Naarmate het debiet van een bron toeneemt wordt het grondwater uit een steeds dikker pakket aangetrokken. Dit effect kan alleen gemitigeerd worden door veel bronnen te plaatsen en per bron een laag debiet te handhaven.

Na de grondwatersanering zal de restverontreiniging zich in lage concentraties verspreiden. Deze verspreiding vormt geen bedreiging voor de grondwaterwinningen, maar zal wel een relatief groot volume aan grondwater negatief beïnvloeden. De modelberekeningen geven wel aan dat sanering tot $2,7 \mu\text{g/l}$ naar verwachting voldoende is om te voorkomen dat concentraties boven $0,01 \mu\text{g/l}$ de grondwaterbeschermingsgebieden bereiken.

In het kader van de kostenraming zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De terugsanereerswaarde is 2,7 µg/l. Mogelijk kan zelfs 0,27 µg/l gehaald worden. Een actieve sanering naar de risicogrenswaarde drinkwater (0,01 µg/l) wordt niet haalbaar geacht.
- Te saneren pakket: 10-55 m -mv. In de sanering is rekening gehouden met een pakket van 15-30 en 30-45 m -mv.
- Aantal bronnen: 4 onttrekkingsbronnen – 9 injectiebronnen.
- De tijdsduur van de grondwatersanering is in de modelberekeningen weliswaar gepresenteerd voor 8 jaar, maar in de kostenramingen wordt uitgegaan van 10 jaar. Na 8 jaar is het gewenste saneringsdoel 2,7 µg/l in zicht, maar nog niet volledig bereikt.
- De monitoring wordt, afhankelijk van de variant, voortgezet voor 20 tot 50 jaar.
- De totale kosten inclusief monitoring bedragen ca. 9 miljoen euro.
- De belading van de koolfilters bepaald een groot deel van de kosten, en bevat ook een grote kosten-onzekerheid.
- Er vindt 100% herinfiltratie plaats van gezuiverd onttrokken water. Dit water is niet volledig schoon, de concentratie wordt ingeschat op maximaal 0,27 µg/l PFOS. Waarschijnlijk zal in de praktijk een hoger reinigingsrendement mogelijk blijken, maar in het geval infiltratie van water met deze kwaliteit niet aanvaardbaar blijkt, dan is het meest waarschijnlijke terugvals scenario een persleiding (ca. 20 km). Naar bijvoorbeeld het Amsterdam-Rijnkanaal) naar ruim ontvangend oppervlaktewater.

7.2 Variant 0: Maximale sanering

Omschrijving

Bij de variant maximale sanering wordt de PFOS-verontreiniging in de grond tot aan de laagste risicogrens en/of hergebruikswaarde (3 µg/kg ds) bij de bodemfunctieklasse wonen weggenomen. Daarbij is uitgegaan van een grootschalige ontgraving, met behulp van civieltechnische hulpconstructies (damwanden etc.). In situ-reinigingstechnieken zijn nog in ontwikkeling en binnen het plangebied is op grote diepte een sterke verontreiniging aanwezig, waarvan het te onzeker is of die met in situ-technieken tot onder deze terugsanereerswaarde kan worden verwijderd. Ook het grondwater wordt vergaand gesaneerd tot onder de grenswaarde van 2,7 µg/l, maar volledige verwijdering tot bijvoorbeeld de grenswaarde voor drinkwater (0,01 µg/l) wordt niet mogelijk geacht. Daarom wordt gesproken van maximale sanering.

Deze variant betreft een zeer vergaande sanering met grote impact op de omgeving, die binnen het plangebied ook niet duidelijk is afgebakend. Dat hangt met name samen met de volgende aspecten:

- De hoge mobiliteit van de stof in combinatie met de diepe grondwaterstand (9,5-10 m -mv.) heeft ertoe geleid dat de stof over een grote oppervlakte is geïnfilteerd en in licht verhoogde concentraties is geadsorbeerd aan de bodem in de onverzadigde zone. Het resultaat is dat een bodempakket van 10-11 m dikte over een grote oppervlakte is verontreinigd tot boven de achtergrondwaarde.
- De horizontale verspreiding in de toplaag van het plangebied is groot. Binnen het plangebied is de contour van de 3 µg/kg ds niet overal vastgesteld, oftewel, de belasting met PFOS loopt door tot buiten de grenzen van het plangebied. Regionaal zijn geen verhoogde achtergrondgehalten tot boven de landelijke achtergrondwaarden (1,4 µg/kg ds) vastgesteld.

De hoeveelheden verontreinigde grond (met concentraties boven de generieke toepassingssituatie wonen/industrie) zijn opgenomen in tabel 3 in paragraaf 2.3. Het totaal volume grond boven deze concentraties tot aan de maximale diepte van voorkomen, wordt geraamd op 281.000 m³. Voor deze hoeveelheid loont het om een mobiele reinigingsinstallatie op het terrein op te stellen. Deze kostenbesparingen worden te niet gedaan door de extra voorzieningen die nodig zijn om tot onder de grondwaterspiegel te kunnen ontgraven, en om de uitstraling van de enorme ontgraving te minimaliseren. Plaatselijk zullen tijdelijke wandconstructies nodig zijn.

Op basis van evenwicht tussen de restverontreiniging in de grond en het gesaneerde grondwater is het niet waarschijnlijk dat het grondwater tot de detectiegrens (0,01 µg/l) of achtergrondwaarde kan worden gesaneerd. Waarschijnlijk is de nieuwe risicogrenswaarde (buiten grondwaterbeschermingsgebieden) van 2,7 µg/l PFOS wel haalbaar. Deze terugsanereerswaarde is uitgangspunt voor de kostenraming.

Van de oorspronkelijke ecologie blijft weinig bespaard in deze variant. Het risico dat deze variant niet slaagt is groot, hetzij door uitvoeringsproblemen door de grote diepte, hetzij dat maximale verwijdering niet mogelijk blijkt door het grillige verspreidingspatroon op grote diepte in de onverzadigde zone (zie conceptueel model).

Afwegingsaspecten

De kosten worden globaal geraamd op 96 miljoen euro. De actieve saneringsduur is lang vanwege de zeer omvangrijke ontgraving (>2 jaar) en trage grondwatersanering (>5 jaar). Het terrein kan pas laat worden vrijgegeven. De schade aan het milieu/ecologie en de milieubelasting door de veelheid aan activiteiten is zeer groot. Het merendeel van de aanwezige bomen zal het veld moeten ruimen, en de winst om te saneren tot aan de risicogrenswaarde voor natuur wordt ruimschoots teniet gedaan doordat de aanwezige ecologie vrijwel volledig wordt weggenomen. Bovendien is de kans dat deze variant niet slaagt, ofwel faalt, in zijn doelstelling volledige verwijdering zeer aanzienlijk. Weliswaar wordt de grond op het plangebied volledig herbruikbaar, maar dit wordt meer dan ruimschoots overschaduwt door de enorme impact van deze operatie.

Dit alles maakt deze variant niet wenselijk, en is reden dat de baten en lasten niet verder worden uitgewerkt, en dat de variant niet verder wordt meegenomen in de vergelijking.

7.3 Variant 1: Wonen met tuin (geen kadastrale registratie)

Omschrijving

Deze variant is erop gericht om de risico's van de verontreiniging zo veel als mogelijk weg te nemen, en om het plangebied voor zo veel mogelijk vormen van gebruik geschikt te maken, waarbij het streven is om te voorkomen dat sprake is van een kadastrale registratie. Voor wat betreft het gebruik van het plangebied is het verschil met variant 0, volledige verwijdering, beperkt. Daarvoor is eveneens vergaande ontgraving noodzakelijk, maar het is niet nodig om alle verontreiniging te verwijderen. Alle grond wordt tot de risicogrenswaarde voor PFOS van 59 µg/kg ontgraven. Ook hier wordt ingeschat dat de faalrisico's, kosten en impact op de ecologie van een in situ techniek groot zijn, echter de saneringsoppervlakte is aanzienlijk kleiner dan bij variant 0.

Omdat na sanering een zone met grond met concentraties tussen de 3 en 59 µg/kg achterblijft, kan deze grond na mogelijk toekomstige grondwerkzaamheden niet zonder meer worden afgevoerd of toegepast. Om dit te ondervangen wordt een fonds opgericht voor bewoners, gemeente of nutsbedrijven, die te maken krijgen met de afvoer van grond met gehalten PFOS tussen de 3 en 59 µg/kg.

Overigens worden op de voormalige luchtmachtbasis op enkele locaties ook buiten het plangebied PFOS-concentraties gemeten boven de grens van 3 µg/kg ds. Ten opzichte van de terugsaneerwaarde variant 'maximale sanering' is het belangrijke voordeel dat veel minder grond ontgraven hoeft te worden en dat de horizontale omvang aanzienlijk kleiner is. Daardoor zijn de kosten lager, en hoeven veel minder bomen gekapt te worden. Daarmee wordt voorkomen dat een zeer groot gedeelte van de oorspronkelijke bodemecologie wordt verwijderd.

Voor de verontreiniging wordt een terugsaneerwaarde voor PFOS van 59 µg/kg ds gehanteerd. Dit betekent een omvangrijke ontgraving tot ongeveer 1 m onder het grondwaterniveau (dus tot ongeveer 11 m -mv.). De kadastrale registratie kan dan worden opgeheven. Bovendien wordt het grondwater gesaneerd tot zover haalbaar is, indien mogelijk tot onder de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l. Door de vergaande ontgraving wordt ook de nalevering van de verontreinigde grond naar het grondwater verregaand beperkt, en aanvullende maatregelen zoals isolerende lagen zijn niet nodig. Wel blijft mogelijk een deel van de "smeerzone" rond het grondwaterniveau achter, doordat deze dunne laag door kan lopen buiten de maximale ontgravingsgrenzen op diepte. Dit is ook een mogelijk faalrisico met betrekking tot de saneringsdoelstelling. Het is mogelijk dat plaatselijk niet alle concentraties boven 59 µg/kg ds kunnen worden ontgraven op diepte, en dat alsnog een kadastrale registratie nodig is.

Om tot onder de grondwaterspiegel te ontgraven en om de uitstraling van de ontgraving te minimaliseren zullen wel extra voorzieningen tijdens de uitvoering noodzakelijk zijn. Plaatselijk zullen tijdelijke wandconstructies nodig zijn. Er resteert een beperkte gebruiksbeperking op het gebruik van grondwater en op het hergebruik van grond uit de toplaag in de zone (tussen 3 en 59 µg/kg ds).

Het totale volume grond dat bij deze variant wordt ontgraven betreft 137.000 m³ en wordt bepaald door de 59 µg/kg ds contour in de toplaag en de ernstige PFOS-verontreiniging in de diepere grondlagen.

Afwegingsaspecten

Lasten

Kosten:

De kosten voor deze variant worden geraamd op 40 miljoen euro. In deze kosten is een klein fonds voor afvoer van niet toepasbare grond opgenomen voor gemeente en bewoners samen van 100.000 euro.

Faalisico:

Het risico dat deze variant niet slaagt is aanzienlijk, hetzij door uitvoeringsproblemen door de grote diepte, hetzij dat volledige verwijdering niet mogelijk blijkt door het grillige verspreidingspatroon. Er zijn veel praktijkvoorbeelden beschikbaar waarbij door plotse uitlopers niet alle verontreiniging bleek te kunnen worden verwijderd. Dan is alsnog kadastrale registratie nodig.

Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie/autonoom scenario al beperkt, en na grondwatersanering en het verwijderen van de bronzones in de onverzadigde zone vrijwel volledig weggenomen.

Saneringsduur en nazorg:

De grond- en grondwatersanering zullen respectievelijk circa 24 maanden en 10 jaar duren. Er is wel sprake van beperkte en deels eindige nazorg:

- Buiten de ontgraving is grond aanwezig in de toplaag met concentraties boven de generieke hergebruikswaarde, dit leidt bij afvoer van een overschot aan grond tot aanvullende kosten. Hier is altijd aandacht voor nodig en mogelijk de inrichting van een fonds, zoals hierboven benoemd.
- De grondwatermonitoring is eindig, aangezien er geen nalevering vanuit de bronzones meer plaatsvindt. Er zal nog 20 jaar grondwatermonitoring nodig zijn.

Emissies en overlast:

Dit is een omvangrijke operatie met veel activiteiten en omvangrijke emissies van CO₂, stof, geluid en transportbewegingen. Van voornoemde hoeveelheid te ontgraven grond zal naar schatting 89.000 m³ grond afgevoerd dienen te worden naar een erkende verwerker. Hiervoor zijn circa 8.000 rijbewegingen met een vrachtwagen (8x8) benodigd. Daarnaast moet veel "schone" grond worden aangevoerd. Afhankelijk van de definitieve planning en herkomst vergt dit mogelijk een vergelijkbare hoeveelheid rijbewegingen.

Baten

Risicoreductie:

Alle risico's voor de mens worden weggenomen. Alleen het gebruik van grondwater voor drinkwater is niet mogelijk. Overigens zal dit ook bij de variant 'maximale sanering' niet mogelijk zijn (pas na zeer lange tijd >30-50 jaar). Ook de risico's voor de ecologie worden beperkt, alleen niet tot aan de grens voor indirecte risico's bij het gebruik wonen. Die resteren in de zone tussen 18 en 59 µg/kg ds.

Toename gebruiksmogelijkheden:

De toename van gebruiksmogelijkheden is bij deze variant goed. Er is nog maar in zeer geringe mate sprake van gebruiksbependingen:

- Bij grondverzet in de gebieden buiten de saneringscontour van de ontgraving, waar de concentraties nog boven 3 µg/kg ds zijn kan eventueel overblijvende grond niet zondermeer als vrij toepasbaar worden geclassificeerd.
- Bij voorgenomen ontgraving tot beneden de aangevoerde schone grond is de saneringsregeling van toepassing.
- De implicaties op gebruiksmogelijkheden van het grondwater binnen het plangebied en in de pluim zijn beperkt.

Maatschappelijke acceptatie:

Deze zal naar verwachting goed zijn; dit type saneringsvariant is op vele plaatsen in Nederland al toegepast. Het kan zijn dat het omvangrijke karakter en de grote impact van deze variant wel leiden tot enige commentaren. PFAS worden echter beschouwd als gevaarlijk, en de overheid neemt haar verantwoordelijkheid. De langjarige aanwezigheid van een grondwaterverontreiniging wordt mits goed gecommuniceerd doorgaans begrepen en geaccepteerd.

Vrachtverwijdering:

Met deze variant wordt meer dan 90% van de PFOS-verontreiniging verwijderd.

7.4 Variant 2: Leeflaag+ 3 µg/kg ds

Omschrijving

In deze variant wordt een leeflaag sanering uitgevoerd die het plangebied geschikt maakt voor wonen met tuin, en volledig hergebruik van de bovengrond, door een terugsaneerwaarde voor PFOS van 3 µg/kg ds. De volledige contour van 3 µg/kg ds zal worden ontgraven tot 1,0 m-mv in de tuinen) en tot 2,5 m-mv bij de bouwblokken en riolering, of minder waar alleen tot 0,5 m-mv verontreiniging voorkomt. Na het ontgraven van de verontreinigde toplaag, en vóór het aanbrengen van de leeflaag zullen de kernen van de diepere verontreiniging met concentraties hoger dan 59 µg/kg ds door middel van een afdichtende laag met drainage worden afgedekt. Daarmee wordt de nalevering uit de sterk verontreinigde ondergrond (onverzadigde zone) sterk worden verminderd. Vervolgens wordt een schone leeflaag aangebracht. In tegenstelling tot variant 1 wordt niet dieper gesaneerd, en zal een kadastrale registratie nodig zijn. Voor het plangebied geldt dat de herontwikkeling en de sanering ook schade aanbrengt aan de lokale bodemecologie. Bij deze variant treden humane of ecologische risico's als gevolg van de bodemverontreiniging niet op, ook al zijn op diepte nog sterk verhoogde concentraties aanwezig. Humane en ecologische risico's doen zich alleen voor bij langdurig contact met de grond. Dat is bij een leeflaag in deze situatie niet langer aan de orde. Omdat ter plaatse van bouwblokken en rioleringen dieper zal moeten worden gesaneerd wordt ervan uitgegaan dat de leeflaag gemiddeld 1,5 m dik zal zijn.

Bij graafwerkzaamheden dieper dan 1,0 m -mv. kan na sanering sterk verontreinigde grond worden aangetroffen. Het aanbrengen van de afdichtende laag zal niet leiden tot een reductie tot 0 µg/l PFOS in de grondwaterconcentraties, omdat er in de onverzadigde zone en ook beperkt onder de grondwaterspiegel nog sprake zal zijn van grondconcentraties tot meer dan 1.000 µg/kg. Met deze maatregel kan de huidige grondwateraanvulling worden teruggebracht van meer dan 250 mm/jaar tot minder dan 20 mm/jaar. In combinatie met de grondwatersanering zal dit ertoe leiden dat de pluim met verontreinigd grondwater uiteindelijk een afnemende trend zal vertonen. Het grondwater wordt gesaneerd tot zover haalbaar is, indien mogelijk tot onder de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l.

Door middel van deze variant worden de gebruiksbeperkingen voor de toekomstige gebruikers in de praktijk goed geminimaliseerd en wordt de belasting van en verspreiding van verontreiniging in het grondwater sterk beperkt. In de toekomst kan de uitkomende grond uit de aangebrachte laag, waar het overgrote deel van de activiteiten tot beperkt zal blijven, vrij worden hergebruikt of zonder extra kosten afgevoerd. De af te voeren grond is geschikt voor de toepassingssituatie wonen/industrie.

Afwegingsaspecten

Lasten

Kosten:

De kosten voor deze variant worden geraamd op 46 miljoen euro. In deze kosten is een klein fonds voor afvoer van niet toepasbare grond opgenomen voor gemeente en bewoners samen van 100.000 euro. De kosten zijn ongeveer het dubbele van variant 4, de leeflaag binnen de risicogrenswaarde contour in de toplaag. Dit komt omdat er bijna een factor 6 meer grond wordt ontgraven, maar de grond is minder sterk verontreinigd en zal gereinigd kunnen worden. Het reinigingstarief is op dit moment ongeveer 60% van het storttarief.

De hoeveelheden te ontgraven grond maken het interessant om een afweging te maken tussen reiniging op de vaste locatie van een grondreiniger of met een mobiele installatie op saneringslocatie. Reinigen op locatie neemt veel tijd en ruimte in beslag (beperking in de ontwikkelmogelijkheden).

Faalisico's:

Het aanbrengen van een leeflaag is een relatief eenvoudige activiteit met een zeer laag faalisico. Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie/autonoom scenario al beperkt en na grondwatersanering nog niet of nauwelijks aanwezig.

Saneringsduur en nazorg:

De grondsanering kan in circa 20 maanden zijn afgerond, en de grondwatersanering neemt naar verwachting 10 jaar in beslag.

De nazorg is langdurig, dat is gebaseerd op het volgende:

- De grondwatermonitoring blijft noodzakelijk over een periode van 30 jaar.

- De afdichtende laag zal intact moeten blijven (op privéterrein en openbaar terrein), er zullen ongetwijfeld momenten van beschadiging ontstaan en dan is herstel wenselijk.
- De leeflaag geeft beperkingen met betrekking tot ontgravingsdiepte. Een kadastrale registratie is nodig.

Emissies en overlast:

De ontgraving voor een leeflaag is weliswaar veel eenvoudiger dan de ontgraving bij variant 1 tot een diepte van 11 m -mv, maar de totale emissies en overlast voor de omgeving zijn echter niet lager omdat een grotere hoeveelheid grond over een veel grotere oppervlakte moet worden vervangen. Op de locatie zijn bij variant 1 veel meer bewegingen nodig, maar in variant 2 bedraagt de hoeveelheid naar een erkende verwerker af te voeren grond naar schatting 130.000 m³ (t.o.v. van 89.000 m³ in variant 1) Hiervoor zijn circa 12.000 rijbewegingen met een vrachtwagen (8x8) benodigd. En de aanvoer van "schone" grond vergt afhankelijk van de definitieve planning en herkomst mogelijk een vergelijkbare hoeveelheid rijbewegingen.

Baten

Risicoreductie:

Na sanering zullen er geen risico's meer zijn voor de mens en ecologie, ongeacht gebruik, alleen het gebruik van grondwater voor drinkwater is niet mogelijk

Toename gebruiksmogelijkheden:

Bij deze variant is het plangebied geschikt voor het beoogde gebruik. Er zijn wel een paar gebruiksbeperkingen:

- Alle percelen binnen de i-contour van de diepe verontreiniging krijgen een kadastrale aantekening.
- Bij voorgenomen ontgraving tot beneden de leeflaag is de saneringsregeling van toepassing.
- De gebruiksmogelijkheden van het grondwater op het plangebied en in de pluim zijn beperkt.

Maatschappelijke acceptatie:

De maatschappelijke acceptatie is redelijk tot goed; dit type saneringsvariant (leeflaag variant) is op vele plaatsen in Nederland al toegepast. De langjarige aanwezigheid van een grondwaterverontreiniging wordt, mits goed gecommuniceerd, doorgaans begrepen en geaccepteerd. Alleen de grootscheepse verwijdering van de toplaag met bomen wordt minder begrepen.

Vrachtverwijdering:

Omdat de ontgraving aanzienlijk minder diepgaand is, wordt ook aanzienlijk minder vracht verwijderd dan in variant 1. Deze wordt hier geraamd op 15 - 20%.

7.5 Variant 3: Leeflaag+ 18 µg/kg ds (Wonen met tuin)

Omschrijving

Deze variant heeft een vergelijkbare reductie van risico's als de voorgaande variant, maar heeft als voornaamste verschil dat de grond niet elders kan worden hergebruikt. In deze variant zal een leeflaag worden aangebracht binnen de contour van de risicogrenswaarde maximaal waarden hergebruik wonen (PFOS van 18 µg/kg ds). Deze waarde van PFOS (18 µg/kg ds) voor de functie wonen met tuin is door het RIVM⁴ afgeleid, en is bruikbaar als lokaal wordt gekozen voor hogere waarden dan de generieke hergebruikswaarden uit het handelingskader PFAS (zie paragraaf 2.3). De maximale waarden zijn bedoeld ter onderbouwing bij (lokale) uitwerking van gebiedspecifiek beleid of een nadere invulling van de zorgplichten (maatwerk). Binnen het plangebied (wonen) kan hergebruik dus wel mogelijk worden gemaakt. Dit maakt de locatie geschikt voor wonen met tuin, en is niet sprake van humane of ecologische risico's. Binnen de 18 µg/kg contour wordt schone grond aangebracht (klasse Wonen), buiten de 18 µg/kg ds contour komen PFOS-gehalten tot 18 µg/kg ds voor.

Vanwege de sterke verticale verspreiding wordt er gebruik gemaakt van een leeflaag, waarmee de ontgraving (gemiddeld) tot 1,5 m zal worden beperkt. Met betrekking tot het aanbrengen van de afsluitende laag en de grondwatersanering is deze variant vergelijkbaar met variant 2. De oppervlakte van de aan te brengen leeflaag buiten de afdichtende laag is aanzienlijk kleiner dan in variant 2. De afdichtende laag wordt alleen ter plaatse van de 59 µg/kg-contour aangebracht.

⁴ Achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing Maximale Waarden PFAS voor toepassen van grond en baggerspecie, RIVM, 29 april 2021.

Ook in deze variant wordt een grondwatersanering uitgevoerd. Het grondwater wordt gesaneerd tot zover haalbaar is, indien mogelijk tot onder de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l. De start van de grondwatersanering valt tegelijkertijd met de grondsanering, de verwachte duur is 10 jaar.

Toekomstige bewoners op percelen waar dan sprake is van concentraties tussen 3 en 18 µg/kg ds kunnen te maken krijgen met restricties bij de afvoer van grond, maar hebben de mogelijkheid om deze grond in deze zone toe te passen. Een mogelijke oplossing om de lasten behorende bij deze gebruiksbeperking op te heffen is in voorgaande paragraaf beschreven in de vorm van een fonds voor de bewoners, te gebruiken bij grondverzet. Bij deze variant is een groter fonds opgenomen in de kostenraming, van 150.000 euro.

Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie al beperkt en het stoppen van de nalevering van infiltrerend (sterk verontreinigd) regenwater over een oppervlak van ongeveer 0,9 ha door de aanleg van een afsluitende laag en het uitvoeren van een grondwatersanering zal dit risico nog verder verlagen. Omdat PFOS zeer resistent is en er weinig bekend is over gedrag op de zeer lange termijn (>50 jaar) bieden de maatregelen extra zekerheid tegen relatief geringe kosten. Aangezien er nog hoge concentraties achterblijven in de smeerzone, dient het grondwater langer gemonitord te worden. Er wordt hier gerekend met 30 jaar.

Afwegingsaspecten

Lasten

Kosten:

De kosten voor deze variant worden geraamd op 22 miljoen euro. In deze kosten is een groter fonds voor afvoer van niet toepasbare grond opgenomen voor gemeente en bewoners samen van 150.000 euro.

Faalisico's:

Het aanbrengen van een leeflaag is een relatief eenvoudige activiteit met een zeer laag faalisico. Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie/autonoom scenario al beperkt en na grondwatersanering nog niet of nauwelijks aanwezig.

Saneringsduur en nazorg:

De grondsanering kan in circa 8 maanden zijn afgerond, en de grondwatersanering neemt naar verwachting 10 jaar in beslag.

De nazorg is langdurig, en omvat het volgende:

- De grondwatermonitoring blijft noodzakelijk over een periode van 30 jaar.
- De afdichtende laag zal intact moeten blijven (op privéterrein en openbaar terrein), er zullen ongetwijfeld momenten van beschadiging ontstaan en dan is herstel noodzakelijk.
- De leeflaag geeft beperkingen met betrekking tot ontgravingsdiepte.
- Buiten de leeflaag is in beperkte mate grond aanwezig in de toplaag met concentraties tot boven de generieke hergebruikswaarde conform het handelingskader PFAS. Dit leidt bij afvoer van een overschot aan grond tot aanvullende kosten.

Emissies en overlast:

De ontgraving voor een leeflaag is veel eenvoudiger dan de ontgraving bij variant 1 tot een diepte van 11 m -mv en minder omvangrijk dan variant 2. De emissies en de overlast voor de omgeving zijn daarom ook aanzienlijk minder, en omdat ook de saneringsduur korter zal zijn dan bij variant 2 en de zone van impact aanzienlijk kleiner, wordt deze hier als relatief laag ingeschat. De hoeveelheid naar een erkende verwerker af te voeren grond bedraagt naar schatting 36.000 m³. Hiervoor zijn circa 3.300 rijbewegingen met een vrachtwagen (8x8) benodigd, en mogelijk een vergelijkbare hoeveelheid rijbewegingen voor de aanvoer van "schone" grond.

Baten

Risicoreductie:

Na sanering zullen er geen risico's meer zijn voor de mens en ecologie bij de functie wonen met tuin, alleen het gebruik van grondwater voor drinkwater is niet mogelijk.

Toename gebruiksmogelijkheden:

Bij deze variant is de locatie geschikt voor vrijwel alle soorten van gebruik door de mens. Er zijn een paar gebruiksbepalingen:

- Alle percelen binnen de i-contour van de diepe verontreiniging krijgen een kadastrale aantekening.
- Bij grondverzet kan eventueel overblijvende grond op een deel van de percelen alleen onder voorwaarden worden hergebruikt. Binnen de Wbb-saneringsregeling is het mogelijk om herschikken van grond binnen het geval mogelijk te maken, mits het herschikken geen risico's kan opleveren en wordt voldaan aan de zorgplicht en het 'stand-still' principe. Deze kaders voor hergebruik dienen opgenomen te worden in het SP.
- Bij voorgenomen ontgraving tot beneden de leeflaag is de saneringsregeling van toepassing.
- De gebruiksmogelijkheden van het grondwater binnen het plangebied en in de pluim zijn beperkt.

Maatschappelijke acceptatie:

De maatschappelijke acceptatie is redelijk tot goed (bij 18 µg/kg); dit type saneringsvariant (leeflaag variant) is op vele plaatsen in Nederland al toegepast. De langjarige aanwezigheid van een grondwaterverontreiniging wordt, mits goed gecommuniceerd, doorgaans begrepen en geaccepteerd.

Vrachtverwijdering:

Omdat de ontgraving aanzienlijk minder diepgaand is, wordt ook aanzienlijk minder vracht verwijderd dan in variant 1. Deze wordt hier geraamd op 10 - 15%.

7.6 Variant 4: Leeflaag+ 59 µg/kg ds (Wonen met tuin)

Omschrijving

Deze variant kan beschouwd worden als de minimumvariant bij het voorgenomen gebruik; deze bestaat uit de minimale saneringsinspanning die noodzakelijk wordt geacht en wettelijk verplicht is om wonen met tuin mogelijk te maken. In het plangebied zal een leeflaag worden aangebracht binnen de contour van de risicogrenswaarde, zodat nergens in de contactzones nog sprake is van een overschrijding van de risicogrenswaarde voor PFOS van 59 µg/kg ds. Dit maakt de locatie geschikt voor wonen met tuin. Voor het plangebied geldt dat de herontwikkeling en de sanering ook schade aanbrengt aan de lokale ecologie. Binnen de 59 µg/kg contour wordt schone grond aangebracht (klasse Wonen), buiten de 59 µg/kg contour komen PFOS-gehalten voor tot 59 µg/kg ds.

Vanwege de sterke verticale verspreiding wordt er gebruik gemaakt van een leeflaag, waarmee de ontgraving (gemiddeld) tot 1,5 m zal worden beperkt. Met betrekking tot het aanbrengen van de afdichtende laag is deze variant vergelijkbaar met variant 3. Aangezien in deze variant alleen de oppervlakte van de 59 µg/kg ds contour wordt afgedekt, is het totale oppervlak van de leeflaag vrijwel gelijk aan de oppervlakte van de leeflaag met een afdichtende laag. Ook in deze variant wordt een grondwatersanering uitgevoerd, vergelijkbaar met variant 3. Het grondwater wordt gesaneerd tot zover haalbaar is, indien mogelijk tot onder de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l. De start van de grondwatersanering valt tegelijkertijd met de grondsanering, de verwachte duur is 10 jaar.

Toekomstige bewoners op percelen waar dan sprake is van concentraties tussen 3 en 59 µg/kg ds kunnen te maken krijgen met restricties bij de afvoer van grond, dit kan negatief effect hebben op de verkoop van percelen. Op basis van het vigerende handelingskader PFAS (zie paragraaf 2.3) dient de grond plaatselijk als niet (vrij) toepasbaar te worden beschouwd. Nadrukkelijk moet worden opgemerkt dat dit niet een gevolg is van humane risico's (afwezig!), maar het Nederlandse beleid ten aanzien van het 'stand-still' principe. Een mogelijke oplossing om de lasten behorende bij deze gebruiksbepaling op te heffen is in voorgaande paragraaf beschreven in de vorm van een fonds voor de bewoners, te gebruiken bij grondverzet. Bij deze variant is een groter fonds opgenomen in de kostenraming, van 300.000 euro.

Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie al beperkt en het stoppen van de nalevering van infiltrerend (sterk verontreinigd) regenwater over een oppervlak van ongeveer 0,9 ha door de aanleg van een afsluitende laag en het uitvoeren van een grondwatersanering zal dit risico nog verder verlagen. Omdat PFOS zeer resistent is en er weinig bekend is over gedrag op de zeer lange termijn (>50 jaar) bieden de maatregelen extra zekerheid tegen relatief geringe kosten. Aangezien er nog hoge concentraties achterblijven in de smeerzone, dient het grondwater langer gemonitord te worden. Er wordt gerekend met 30 jaar.

Afwegingsaspecten

Lasten

Kosten:

De kosten voor deze variant worden geraamd op 20 miljoen euro. In deze kosten is een groter fonds voor afvoer van niet toepasbare grond opgenomen voor gemeente en bewoners samen van 300.000 euro.

Faalisico's:

Het aanbrengen van een leeflaag is een relatief eenvoudige activiteit met een zeer laag faalisico. Het risico door verspreiding via het grondwater naar de grondwaterbeschermingsgebieden is in de huidige situatie/autonoom scenario al beperkt en na grondwatersanering nog niet of nauwelijks aanwezig.

Saneringsduur en nazorg:

De grondsanering kan in circa 6 maanden zijn afgerond, en de grondwatersanering neemt naar verwachting 10 jaar in beslag.

De nazorg is langdurig, en omvat het volgende:

- De grondwatermonitoring blijft noodzakelijk over een periode van 30 jaar.
- De afdichtende laag zal intact moeten blijven (op privéterrein en openbaar terrein), er zullen ongetwijfeld momenten van beschadiging ontstaan en dan is herstel noodzakelijk.
- De leeflaag geeft beperkingen met betrekking tot ontgravingsdiepte.
- Buiten de leeflaag is in beperkte mate grond aanwezig in de toplaag met concentraties tot boven de generieke hergebruikswaarde conform het handelingskader PFAS. Dit leidt bij afvoer van een overschot aan grond tot aanvullende kosten.

Emissies en overlast:

De ontgraving voor een leeflaag is veel eenvoudiger dan de ontgraving bij variant 1 tot een diepte van 11 m -mv en relatief vergelijkbaar met variant 3. De emissies en de overlast voor de omgeving zijn daarom ook aanzienlijk minder, en omdat ook de saneringsduur korter zal zijn dan bij variant 2 wordt deze hier als laag ingeschat. De hoeveelheid naar een erkende verwerker af te voeren grond bedraagt naar schatting 31.000 m³. Hiervoor zijn circa 2.800 rijbewegingen met een vrachtwagen (8x8) benodigd, en mogelijk een vergelijkbare hoeveelheid rijbewegingen voor de aanvoer van "schone" grond.

Baten

Risicoreductie:

Na sanering zullen er geen risico's meer zijn voor de mens bij de functie wonen met tuin (maximaal 10% gewasconsumptie uit eigen tuin). Het risico op doorvergiftiging ecologie is verregaand beperkt. Het gebruik van grondwater voor drinkwater is niet mogelijk.

Toename gebruiksmogelijkheden:

Bij deze variant is de locatie geschikt voor vrijwel alle soorten van gebruik door de mens. Er zijn een paar gebruikbeperkingen:

- Alle percelen binnen de i-contour van de diepe verontreiniging krijgen een kadastrale aantekening.
- Bij grondverzet kan eventueel overblijvende grond niet zondermeer als vrij toepasbaar worden geclassificeerd, een deel zal boven de hergebruikswaarde van 3 µg/kg ds liggen.
- Bij voorgenomen ontgraving tot beneden de leeflaag is de saneringsregeling van toepassing.
- De gebruiksmogelijkheden van het grondwater binnen het plangebied en in de pluim zijn beperkt.

Maatschappelijke acceptatie:

De maatschappelijke acceptatie is redelijk ofwel voldoende; dit type saneringsvariant (leeflaag variant) is op vele plaatsen in Nederland al toegepast. De langjarige aanwezigheid van een grondwaterverontreiniging wordt, mits goed gecommuniceerd, doorgaans begrepen en geaccepteerd.

Vrachtverwijdering:

Omdat de ontgraving aanzienlijk minder diepgaand is, wordt ook aanzienlijk minder vracht verwijderd dan in variant 1. Deze wordt hier geraamd op 10 - 15%.

7.7 Variant 5: Militair gebruik 2009

Omschrijving

Deze zogenaamde “militaire” variant is op verzoek opgenomen als vergelijking. Deze variant toont de sanering om het terrein geschikt te maken voor gebruik met militaire doeleinden. Uit de informatie komt naar voren dat er ook dan een verschuiving zou plaatsvinden van lucht naar landmacht. Na de koude oorlog en het vertrek van de Amerikanen heeft Defensie geleidelijk namelijk het aantal vliegvelden teruggebracht. Soesterberg was een van de vliegvelden die een andere militaire functie zouden krijgen. De meest realistische optie de transitie naar een terrein voor de landmacht.

Dit betekent dat op termijn de gebouwen en verhardingen zouden worden gesloopt. In de bodemsaneringsstrategie van defensie is het gebruikelijk om daarvoor het meest geschikte moment af te wachten als de risico's op de locatie dat toestaan. Een geschikt moment kan zijn een geplande ruimtelijke ontwikkeling, of het beschikbaar komen van meer efficiënte bodemsaneringstechnieken.

Risico's bij militair gebruik voorafgaand sanering

Het faseren en uitstellen van saneringsmaatregelen, vooralsnog een leeflaagsanering, is alleen mogelijk als de risico's in de “huidige” situatie beheersbaar zijn. De risico's worden als volgt ingeschat bij militair gebruik.

Humaan risico's:

Het is niet waarschijnlijk dat er op dit moment een actueel humaan risico (in situatie van vliegbasis) bestaat. In de beschikking uit 2019 is ingespeeld op ontwikkeling tot woningbouw, daarmee ontstond er een potentieel risico. Bij infanterie van de landmacht kan de ongewenste situatie ontstaan dat direct contact ontstaat bij kruipen of bijvoorbeeld het graven van schuttersputjes. Dit is een kortstondige en tijdelijke blootstelling (in tegenstelling tot wonen met tuin). Het risico van PFOS zit niet in de acute toxiciteit, maar in accumulatie. Het is daarmee niet waarschijnlijk dat humane risico's optreden.

Ecologische risico's:

Er is een potentieel risico (zie ook de beschikking uit 2019). Wanneer de grenswaarde voor doorvergiftiging zou worden gehanteerd bij gebruik industrie ligt de grenswaarde op risicogrenswaarde niveau (110 µg/kg ds).

Verspreidingsrisico:

Zonder actieve maatregelen zal de grote verontreinigingspluim de terreingrenzen van de luchtmachtbasis op niet al te lange termijn passeren, een groot volume grondwater verontreinigen en mogelijk op termijn ook de grondwaterbeschermingsgebieden van drinkwaterwinningen bereiken. Een dergelijke pluim in de verre toekomst en daarmee ook bedreiging van drinkwaterwinningen is, ongeacht het gebruik, niet wenselijk. Vooral het overschrijden van de terreingrenzen is normaliter voor Defensie reden om een grondwatersanering relatief vlot ter hand te nemen. Voor deze fictieve variant wordt ervan uitgegaan dat de grondwatersanering op een termijn van ongeveer 5 jaar wordt opgepakt. De maatregelen in de grond hebben minder urgentie zolang het terrein grotendeels is bebouwd en afgezet (met hekwerk) en er wordt gemonitord in het grondwater.

Saneringsmaatregelen

De uitvoering van de sanering bestaat eveneens uit een leeflaag aanpak, waarbij de leeflaag dunner kan worden uitgevoerd. Voorgesteld wordt om de nalevering, door afdekken van de sterk verontreinigde grond onder de leeflaag, te minimaliseren en de huidige vracht in de pluim vergaand te verwijderen. In die zin is het maatregelenpakket niet anders dan bij de woningbouwvarianten. Het betreft de volgende maatregelen:

- Alle verontreiniging met PFOS-concentraties > 59 µg/kg ds in de laag 0 - 1 m -mv. zal worden verwijderd (zowel deel verhard/bebouwd, als deel bos als deel veld). De noodzakelijke drains of drainagelagen komen tot 50 cm dieper. Bij militair gebruik is een dikte van de leeflaag van 1 m voldoende. Voor bodemmicrofauna is dit ook voldoende.
- Er wordt grond (PFOS-concentratie <3 µg/kg ds) teruggebracht als een leeflaag, met als onderste laag een ondoorlatende laag (bentonietmat en bovenliggende drains).
- Grondwater; sanering van de pluimen tot 2,7 µg/l. Brongebieden worden afgedekt, zie leeflaag.

Afwegingsaspecten

Zoals aangegeven wordt de militaire variant niet verder meegenomen in de afweging, maar is deze variant uitsluitend als referentie opgenomen. De afwegingsaspecten worden daarom ook maar ten dele uitgewerkt.

Kosten

De saneringskosten worden daarmee geraamd op 16 miljoen Euro. Deze kosten zijn gebaseerd op het huidige prijsniveau, er is niet rekening gehouden met mogelijke fluctuaties in de toekomst.

Overige baten en lasten

De overige lasten zijn vergelijkbaar met de leeflaagvariant. Voor wat betreft de baten is een vergelijking niet volledig mogelijk, immers de risicoreductie en de gebruiksmogelijkheden zijn afgestemd op een ander gebruik. De maatschappelijke acceptatie is minder gevoelig, en de vrachtverwijdering wordt geraamd op minder dan 10%.

7.8 Overzicht beoordeling saneringsvarianten

In Tabel 11 zijn de beoordelingen voor de varianten samengevat.

Tabel 11 Kwalitatieve beoordeling saneringsvarianten

Afwegings- aspecten	1. Wonen met tuin 59 µg/kg ds 137.000 m ³	2. Leeflaag 3 µg/kg ds 130.000m ³	3. Leeflaag 18 µg/kg ds 36.000 m ³	4. Leeflaag 59 µg/kg ds 31.000 m ³	5. Militair gebruik 59 µg/kg ds 17.000 m ³
Kosten (mln. ex. btw)	€ 41	€ 46	€ 22	€ 20	€ 16
Faalrisico's bij uitvoering	Aanzienlijk faalrisico	Beperkt faalrisico	Beperkt faalrisico	Beperkt faalrisico	Beperkt faalrisico
Saneringsduur	Grond ca. 24 mnd. Grondwater 10 jaar	Grond ca. 20 mnd. Grondwater 10 jaar	Grond ca. 8 mnd. Grondwater 10 jaar	Grond ca. 6 mnd. Grondwater 10 jaar	Grond ca. 4-5 mnd. Grondwater 10 jaar
Nazorg	Blijvende nazorg zone 3-59 µg/kg Monitoring 20 jaar	Nazorg leeflaag langdurig Monitoring 30 jaar	Nazorg leeflaag langdurig Monitoring 30 jaar	Nazorg leeflaag langdurig Monitoring 30 jaar	Nazorg leeflaag langdurig Monitoring 30 jaar
Emissies / overlast (relatief)	Groot	Groot	Laag	Laag	Laag
Risicoreductie	Humane risico's weggenomen (risico's door verspreiding beperkt en risico doorvergiftiging (ecologisch) nog beperkt aanwezig	Humane en ecologische risico's weggenomen risico's door verspreiding beperkt	Humane en ecologische risico's weggenomen, risico's door verspreiding beperkt	Humane risico's weggenomen, risico's door verspreiding beperkt en risico doorvergiftiging (ecologisch) nog beperkt aanwezig	Humane risico's weggenomen, risico's door verspreiding beperkt en risico doorvergiftiging (ecologisch) nog beperkt aanwezig
Toename gebruiks- mogelijkheden	Goed	Goed	Voldoende tot goed	Voldoende tot goed	Beoogde gebruik niet mogelijk/toegestaan
Maatschappe- lijke acceptatie	Goed	Redelijk tot goed	Redelijk tot goed	Voldoende	n.v.t.

Afwegings- aspecten	1. Wonen met tuin 59 µg/kg ds 137.000 m ³	2. Leeflaag 3 µg/kg ds 130.000m ³	3. Leeflaag 18 µg/kg ds 36.000 m ³	4. Leeflaag 59 µg/kg ds 31.000 m ³	5. Militair gebruik 59 µg/kg ds 17.000 m ³
Vrachtverwijde- ring (indicatief en relatief)	90%	15-20%	10-15%	10-15%	5-10%

7.9 Resumé kenmerken en onderscheidende factoren

7.9.1 Kenmerken varianten

In alle varianten wordt het grondwater gesaneerd tot om en nabij de risicogrenswaarde van 2,7 µg/l PFOS. Hiermee wordt de vorming van een grote pluim met hoge concentraties (op termijn) voorkomen. Er resteert bij alle varianten een gebruiksbeperking voor het grondwater.

Voor de grond zijn de meest kenmerkende eigenschappen van de varianten samengevat als volgt:

- 0. Maximale sanering** (volledige ontgraving binnen 3 µg/kg contour): Geen beperkingen meer na ontgraven en afvoeren grond tot hergebruiksnorm (3 µg/kg ds). Nalevering naar grondwater wordt vrijwel nihil door verwijderen volume >3 µg/kg ds tot grondwaterniveau. De variant vergt een grote inspanning en heeft een enorme impact op milieu en aanwezige ecologie. De kosten zijn daarom ook erg hoog. De balans tussen lasten en baten slaat te ver uit naar de lasten (impact en kosten) en de variant wordt niet verder in beschouwing genomen.
- 1. Wonen met tuin** (volledige ontgraving binnen 59 µg/kg contour): Wonen is mogelijk zonder humane risico's en zonder kadastrale registratie. Wel met beperkte restricties voor grond ontgraven en afvoeren (concentraties tussen 3 en 59 µg/kg ds). Nalevering naar grondwater wordt beperkt door verwijderen volume >59 µg/kg ds tot grondwaterniveau, maar er blijven restricties voor gebruik grondwater. De variant vergt een grote inspanning door de plaatselijke ontgravingsdiepte van 11 m. De kosten en milieu impact zijn daarom ook hoog.
- 2. Leeflaag met universeel hergebruik** kwaliteit Wonen met tuin binnen 3 µg/kg contour: Wonen zonder humane en ecologische risico's en zonder restricties voor grond ontgraven en afvoeren binnen de leeflaag (concentraties liggen beneden de 3 µg/kg ds in de toplaag). Nalevering naar grondwater wordt beperkt door toepassing van een afdichtende laag onder in de leeflaag. Er blijven restricties voor graven dieper dan de leeflaag en voor het gebruik van grondwater.
- 3. Leeflaag met lokaal hergebruik** kwaliteit Wonen met tuin, binnen contour: 18 µg/kg. De grond voldoet aan de maximale risicogrenswaarde hergebruik humaan én ecologie. Er zijn restricties voor grond ontgraven en afvoer buiten plangebied, en restricties voor graven dieper dan de leeflaag en voor het gebruik van grondwater. Nalevering naar grondwater wordt beperkt door een afdichtende laag.
- 4. Leeflaag** kwaliteit Wonen met tuin tot contour: 59 µg/kg. Daarbuiten is een zone aanwezig van 3 - <59 µg/kg. Deze grond voldoet aan de risicogrenswaarde humaan, met restricties voor ontgraven en hergebruik. Wel met restricties voor grond ontgraven en afvoeren (concentraties tussen 3 en 59 µg/kg ds). Er zijn ook restricties voor graven dieper dan de leeflaag en voor het gebruik van grondwater. Nalevering naar grondwater wordt beperkt door het aanbrengen van een afdichtende laag.
- 5. Militair gebruik** als 4, maar de dikte leeflaag voldoet niet aan de functie wonen.

7.9.2 Maatschappelijke en bestuurlijke risico's

In de voorgaande paragrafen zijn met name de technische risico's benoemd. De maatschappelijk-bestuurlijke risico's zijn nog niet als zodanig aan de orde geweest. Wat in de vergelijkingstabel wordt benoemd onder het kopje maatschappelijke acceptatie kan in iets breder perspectief ook worden vertaald en aangevuld naar maatschappelijke of bestuurlijke risico's. Het feit dat sprake blijft van een kadastrale registratie of gebruiksrestricties kan betekenen dat potentiële kopers worden afgeschrikt, of dat gemeenten afzien van het overnemen van deze gronden. In alle gevallen blijft sprake van restverontreiniging in het grondwater en van nazorg.

Bij **variant 1** is in beginsel niet sprake van kadastrale registratie en zijn de restrisico's zoals de Wet Bodembescherming voorschrijft zo veel als mogelijk beperkt. Er is vrijwel maximaal gesaneerd en de kans dat de gemeente de gronden niet zal overnemen is zeer beperkt, waarbij wel een goed arrangement zal moeten worden getroffen voor de nazorg van het grondwater. Het feit dat er sprake is van zeer beperkte gebruiksbeperkingen zal naar verwachting toekomstige kopers, zeker in de huidige situatie met een beperkt woningaanbod, niet afschrikken.

Een serieus faalrisico is dat de kadastrale registratie niet overal kan worden weggenomen, hetgeen zich direct vertaalt in een bestuurlijk risico ten aanzien van overname. Want hoe makkelijk gaat overname als ten onrechte de verwachting bestond dat geen sprake zou zijn van een registratie van ernstige restverontreiniging (in de ondergrond)?

Variant 2 en 3 zijn wat betreft maatschappelijke en bestuurlijke risico's vergelijkbaar. Het onderscheid voor toekomstige kopers in vergelijking met variant 1 is beperkt. Tegenover een beperking ten aanzien van het dieper graven dan de leeflaag, staat het voordeel voor de volledige top laag hergebruik (al dan niet lokaal) mogelijk is, wat in variant 1 anders is (restricties in zone tussen 18 en 59 µg/kg). Wel is mogelijk voor beiden het gegeven dat sprake is van een diepe grondverontreiniging met kadastrale registratie een issue. Het kan een drukkend effect hebben op de verkoopprijs. Echter, de ervaringen elders in Nederland zijn, dat in de huidige markt slechts beperkt financieel effect zal optreden. Het kan wel de gemeente afschrikken bij het overnemen van de gronden. Een aandachtspunt waarbij goede uitleg richting de gemeente aan de orde is. In het dagelijkse verkeer en beheer van de locatie heeft de restverontreiniging voor het beheer weinig implicaties. Praktisch gezien is de drempel voor beheer beperkt. Het is wel zaak om de nazorgverplichtingen voor de leeflaag goed onder te brengen net als een goed arrangement zal moeten worden getroffen voor de nazorg van het grondwater.

Variant 4 is vergelijkbaar met 2 en 3 met dat verschil dat potentiële kopers in de randzone iets meer gebruiksbeperkingen hebben (hergebruik grond niet toegestaan), en het gegeven dat in deze zone weliswaar wordt voldaan aan de risicogrenswaarde die correspondeert met de interventiewaarde, maar niet aan de risicogrenswaarde voor ecologie indirect. In een normale marktsituatie kan dit mogelijk de verkoop afremmen. De bestuurlijk risico's verschillen waarschijnlijk nauwelijks met de varianten 2 en 3. Er is een leeflaagsanering uitgevoerd tot aan de saneringsnorm bij al deze 3 varianten (2 t/m 4).

7.9.3 Onderscheidende factoren

Een keuze tussen de saneringsvarianten kan worden gemaakt door te letten op de daadwerkelijk onderscheidende factoren. Dit wordt ook wel de methode van het paarsgewijs vergelijken genoemd (zie ook ISO 18504, Sustainable remediation). Door enerzijds de varianten weg te laten die niet verder worden meegenomen (zoals eerder opgemerkt worden de varianten 0 en 5 niet verder beschouwd), en anderzijds de afwegingscriteria of factoren die niet daadwerkelijk verschillen eveneens weg te laten, kan op een eenvoudige en toch eenduidige wijze een voorkeursvariant worden gekozen.

De onderscheidende factoren tussen de meest waarschijnlijke varianten zijn hierna nog eens samengevat:

Variant 1 versus variant 3

Het verschil in gebruiksmogelijkheden tussen variant 1 en 3 is gering. De locatie wordt geschikt voor wonen met tuin. Het belangrijkste onderscheid in baten is het vervallen van de kadastrale registratie bij variant 1, terwijl bij variant 3 deze voor een aantal percelen blijft bestaan. Bij variant 3 kunnen eigenaren beperkt hinder ondervinden van de restverontreiniging op diepte in de vorm van kosten bij grondafvoer, maar dit komt naar verwachting weinig voor, en kan worden gecompenseerd door het beschikbaar stellen van een fonds.

Het verschil in lasten is wel groot. De kosten verschillen een factor 2, en de impact en overlast zijn veel groter van variant 1. Bovendien is het behalen van de saneringsdoelstelling bij variant 1 meer onzeker, omdat er diepe horizontale uitlopers van verontreiniging aanwezig kunnen zijn die het bijna onmogelijk maken om met zekerheid alle ernstige verontreiniging op diepte te kunnen verwijderen.

De balans tussen baten en lasten slaat uit in het voordeel van variant 3.

Variant 2 versus variant 3

Variant 2 en 3 onderscheiden zich alleen in de horizontale omvang van de leeflaag. De risicoreductie voor wonen met tuin is hetzelfde. De kosten verschillen echter een factor 2, en ook de schade aan de bestaande ecologie en impact van variant 2 is aanzienlijk veel groter dan bij variant 3. In variant 3 is daarentegen sprake van een zone met concentraties tussen 3 en 18 µg/kg ds, waar hergebruik van vrijkomende grond alleen lokaal mogelijk is. De mogelijk financiële consequenties hiervan kunnen voor de eigenaren worden ondervangen door een fonds op te nemen.

De grote impact en kosten van variant 2 leggen meer gewicht in de schaal dan de geringe beperking voor hergebruik bij variant 3.

Variant 3 versus variant 4

Ook variant 3 en 4 onderscheiden zich in de horizontale omvang van de leeflaag maar verschillen onderling minder dan t.o.v. variant 2. De kosten verschillen maar circa 10%, en het belangrijkste verschil schuilt hier in het feit dat in variant 3 ook wordt voldaan aan de maximale waarden voor (lokaal) toepassen van grond. Er is daardoor sprake van minder gebruiksrestricties, en het feit dat de grond ook voldoet aan de maximale risicogrenswaarde hergebruik voor (indirecte) ecologie. Dat is een belangrijke meerwaarde van variant 3, die zich ook vertaalt in een grotere maatschappelijke acceptatie.

Op basis van bovenstaande afwegingen lijkt variant 3 een evenwichtige variant met betrekking tot het saneringsresultaat, de gebruiksmogelijkheden en -beperkingen en de kosten van de sanering. Opgemerkt wordt dat door het hanteren van de 18 µg/kg ds contour i.p.v. de 59 µg/kg ds contour (minimumeis), tegen beperkte extra kosten minder restricties worden opgelegd aan toekomstige eigenaren, en een beter imago ontstaat.

De kosten van variant 3 zijn een factor twee lager dan variant 1 en de extra risico's van de sanering zijn beperkt. Daartegenover staat dat er sprake zal zijn van een kadastrale registratie (in alle varianten behalve 1 het geval).

8 Aanvullend advies

Wij adviseren om bij de nadere uitwerking voor het saneringsplan en het vervolgproces ook de volgende aspecten in overweging te nemen:

- De markt op het gebied van reiniging van PFOS houdende grond en grondwater is in ontwikkeling, dit geeft een zekere mate van onzekerheid waar het voorkeurs technieken en eenheidsprijzen betreft. Op dit moment betreft de belading van het actieve kool een grote kostenpost in de raming van de grondwatersanering. Wanneer dit nader onderzocht kan worden, door bijvoorbeeld laboratoriumproeven met grondwater van de saneringslocatie, kan hier een beter beeld van verkregen worden met mogelijk kosteneffect tot gevolg.
- Het onderdeel leeflaag is globaal uitgewerkt, uitgaande van een gemiddelde dikte (resp. 1,0 en 1,5 m). Binnen het plangebied zijn vijf segmenten te onderscheiden met verschillende eisen aan de dikte van de deklaag; tuinen, uitloopzones, wegen, nuts tracé's en bouwblokken. Een definitief ontwerp moet enerzijds robuust en eenvoudig zijn, en anderzijds gedifferentieerd om beperkingen aan gebruik te beperken en wateroverlast te voorkomen. Dit ontwerp moet zorgvuldig worden uitgewerkt in de saneringsplanfase.
- Er is mogelijk nog een optimalisatieslag mogelijk voor de leeflaag door alleen de zuidelijke vlek rondom de brandweerkazerne te voorzien van afdichtende laag.
- Bij een aantal varianten blijft een "smeerzone" met hoge concentraties in de grond achter. Dit betreft op dit moment nog een onzekerheid in de kostenramingen en effectiviteit van de grondwatersanering, die grotendeels is ondervangen om te kiezen voor een afdichting en het verhogen van de grondwaterspiegel tijdens de grondwatersanering. Overwogen kan worden om nader onderzoek te doen naar de uitloogbaarheid of nalevering van deze smeerzone.
- Het voorstel voor grondwatersanering is op dit moment gebaseerd op infiltratie van (licht) verontreinigd grondwater waarbij een groot volume grondwater licht verontreinigd raakt. Dit zorgt voor onzekerheden met betrekking tot vergunningverlening. Dit aspect moet vooraf met de bevoegde overheden worden afgestemd.
- Mogelijk kan het ontrekkings- en infiltratiesysteem ook gebruikt worden als onderdeel van een bodemenergiesysteem op het plangebied. Op deze wijze kan het gecombineerd worden met een duurzame energie toepassing voor de geplande woonwijk.
- De infiltratiesloot van het aangrenzende terrein leidt op dit moment periodiek tot grondwaterstandsverhoging met risico op verhoogde nalevering. Het is wenselijk om deze geconcentreerde infiltratie van neerslag te verplaatsen, of op een andere manier uit te voeren. Ook dit aspect dient in de fase van het saneringsplan onderzocht te worden.

Bijlage A Tekeningen verontreinigingssituatie

A.1 Verontreinigingssituatie Grond

Verontreinigingssituatie grond 0 - 2 m -mv.

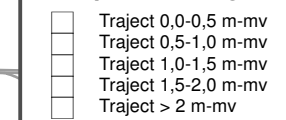
Verontreinigingssituatie grond >2 m -mv.

Saneringsonderzoek Soesterberg

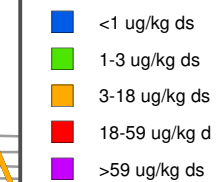
PFAS in Grond (0-2 m-mv)

Legenda

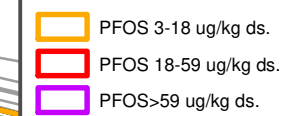
Meetpunt bovengrond (0-2 m-mv)



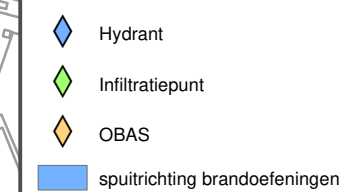
Toetsing



contour



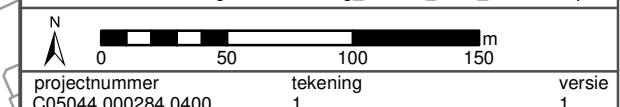
Historische bronnen



opdrachtgever: RVB Defensie



datum: 10-02-2022
schaal (A3): 1:3.000
status: definitief
tekenaar: Izaharia
projectleider: M. van Tulder
goedgekeurd: M. van Tulder
GIS bestand: geoinformatie\Soesterberg_Gr0002_10.7.mxd
PDF bestand: tekeningen\Soesterberg_Gr0002_10.7_20220210.pdf



PFAS in grond (>2 m-mv)

Meetpunt ondergrond (> 2 m-mv)

- ## Toetsing

- contour**

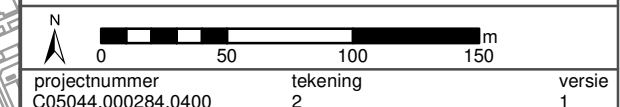
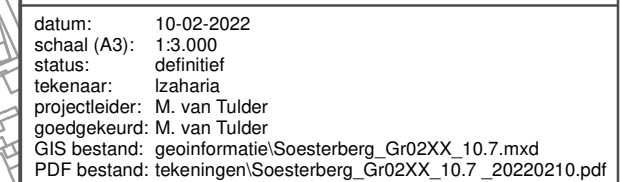
- ## Historische bronnen

-  Hydrant

- Infiltratiepunt

- OBAS

- spuitrichting brandoefeningen

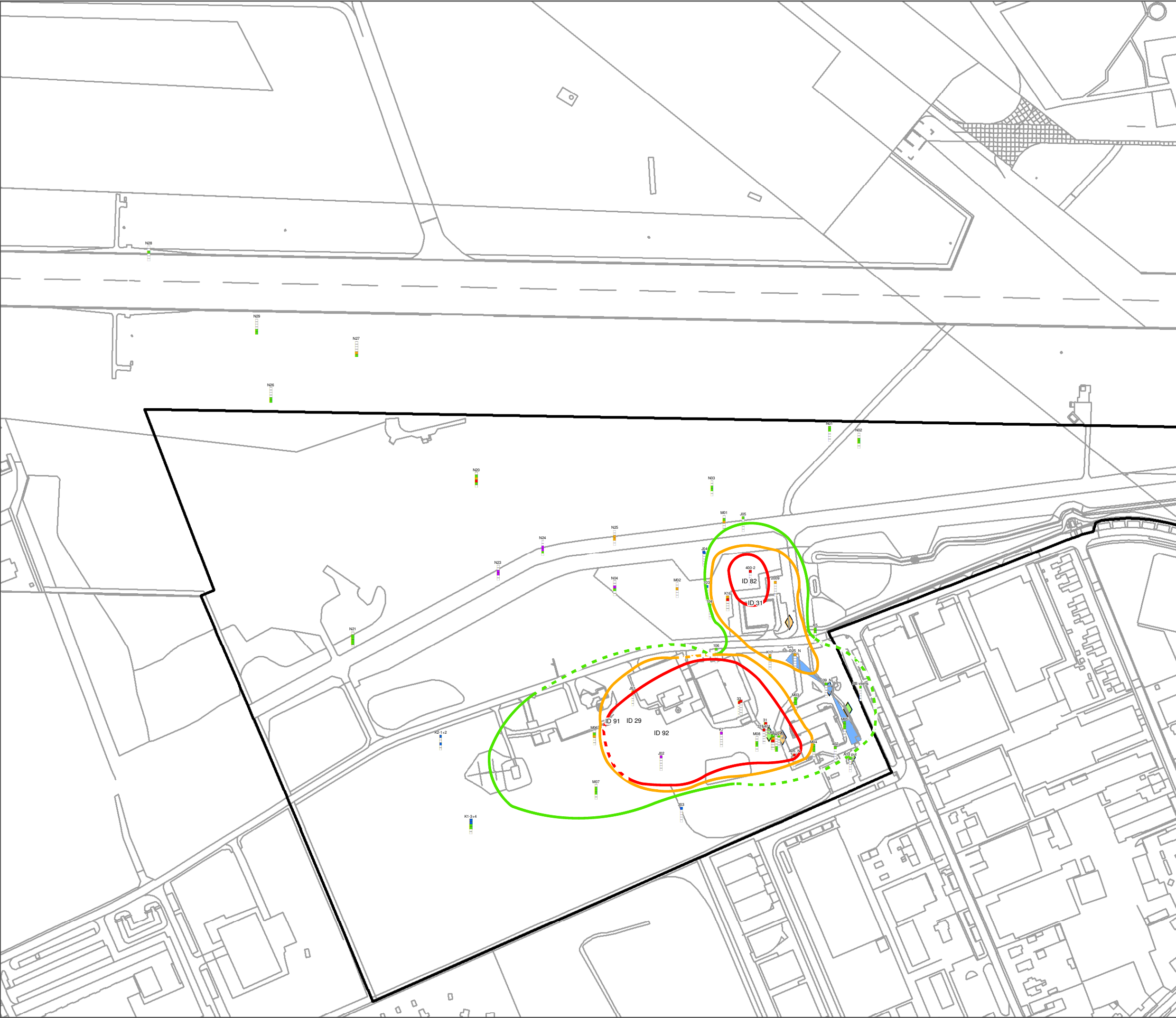


A.2 Verontreinigingssituatie grondwater

Verontreinigingssituatie grondwater <18 m -mv.

Verontreinigingssituatie grondwater 18 - 35 m -mv.

Verontreinigingssituatie grondwater >35 m -mv.



Saneringsonderzoek Soesterberg

PFAS in grondwater <18 m-mv

Legenda

Meetpunt grondwater

- Traject <18 m-mv
- Traject 18-25 m-mv
- Traject 25-35 m-mv
- Traject 35-45 m-mv
- Traject 45-55 m-mv
- Traject >55 m-mv

Toetsing

- <= 0,01 µg/l
- 0,01-2,7 µg/l
- 2,7-27 µg/l
- 27-100 µg/l
- >100 µg/l

Contour

- >0,01 ug/l contour
- > 2,7 ug/l contour
- > 27 ug/l contour

Historische bronnen

- Hydrant
- Infiltratiepunt
- OBAS
- spruitrichting brandoefeningen

? De oude oefenplaats kan ook een bronlocatie zijn voor de diepe grondwaterverontreiniging (>56 ug/l). Het is onzeker of hier dieper hogere concentraties (nog) aanwezig zijn.



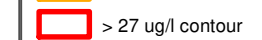
opdrachtgever: RVB Defensie



datum: 09-12-2021
schaal (A3): 1:3.000
status: definitief
tekenaar: Izaharia
projectleider: M. van Tulder
goedgekeurd: M. van Tulder
GIS bestand: geoinformatie\Soesterberg_Gw1800_10.7.mxd
PDF bestand: tekeningen\Soesterberg_Gw1800_10.7_20211209.pdf

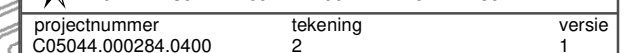
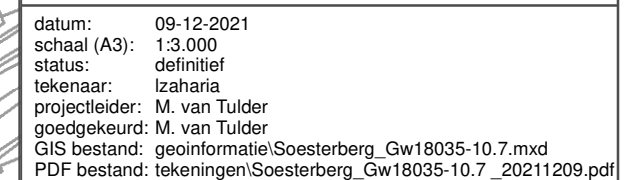
PFAS in grondwater 18-35 m-mv

Meetpunt grondwater



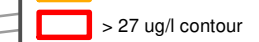
 spuitrichting brandoefeningen

opdrachtgever: **RVB Defensie**



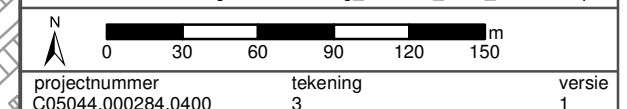
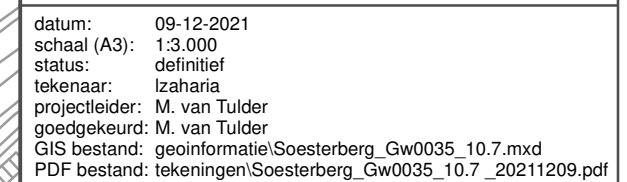
PFAS in grondwater >35 m-mv

Meetpunt grondwater to do

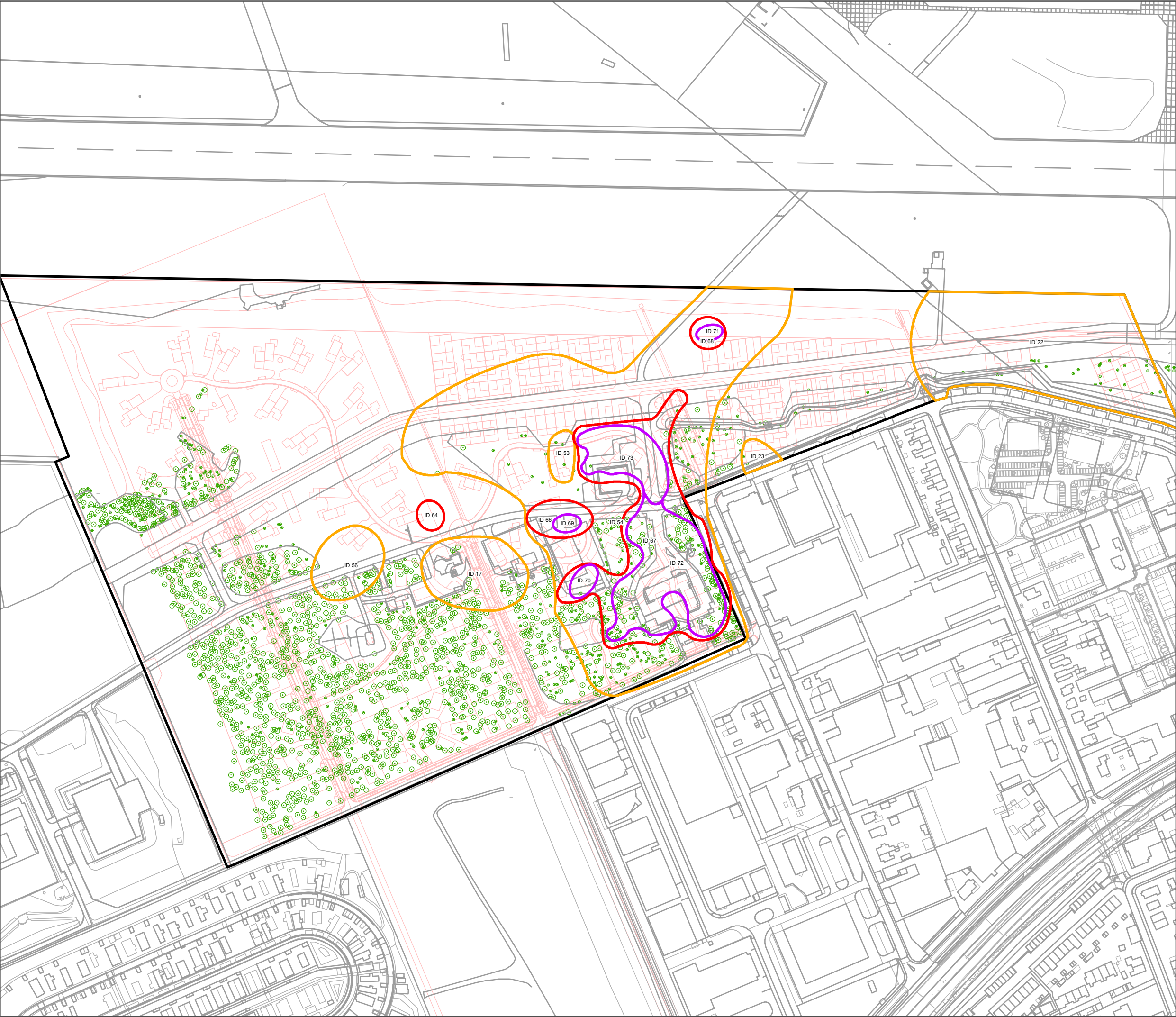


 spuitrichting brandoefeningen

opdrachtgever: RVB Defensie



A.3 Woningbouwplan en bomenplan inclusief verontreinigingssituatie grond



Saneringsonderzoek Soesterberg

PFAS in Grond (0-2 m-mv)

Legenda

- Bomenplan
- Nieuw Bouwplan (G17053SOS-V6)
- Huidige bebouwing (BGT)

contour

- PFOS 3-18 ug/kg ds.
- PFOS 18-59 ug/kg ds.
- PFOS >59 ug/kg ds.



opdrachtgever: RVB Defensie



datum: 03-11-2021
schaal (A3): 1:3.000
status: definitief
tekenaar: Izaharia
projectleider: M. van Tulder
goedgekeurd: M. van Tulder
GIS bestand: geoinformatie\Soesterberg_Gr0002_10.7.mxd
PDF bestand: tekeningen\Soesterberg_Gr0002_10.7_20211103.pdf

Bijlage B Resultaten grondwatermodellering

Bijlage B | Modelresultaten

1 Grondwater- en transportmodel.....	2
1.1 Brondata en gegevens.....	2
1.2 Modeldimensies.....	2
1.3 Bodemopbouw.....	3
1.4 Grondwateraanvulling.....	4
1.5 Grondwaterstroming en stijghoogten.....	5
1.6 Concentraties & stoftransport.....	7
Grondwatersanering.....	10
Autonome ontwikkeling & beperken nalevering na grondwatersanering.....	14

Versie 16 februari 2022

1 GRONDWATER- EN TRANSPORTMODEL

Het grondwater- en transportmodel is door ervaren deskundigen opgesteld om de werkelijkheid zo goed als mogelijk te benaderen. Toch moeten we hier benadrukken dat deze benadering aan aannamen en onzekerheden onderhevig is. Dit betreft de ligging op een waterscheiding en gestuwd gebied, het grillige verontreinigingspatroon en het bijzondere verspreidingsgedrag van PFOS. De grondwatermodellering is gebaseerd op de verontreinigingssituatie zoals vastgesteld in oktober/november 2021. De modellering biedt vooral inzicht in de omvang van de autonome verspreiding van de grondwaterverontreiniging en de mogelijke effectiviteit van maatregelen.

Voor het saneringsonderzoek is een veelvoud aan modellen opgesteld. Zowel tweedimensionale als driedimensionale modellen. In deze bijlage is het definitieve model dat is gebruikt in het saneringsonderzoek Soesterberg beschreven.

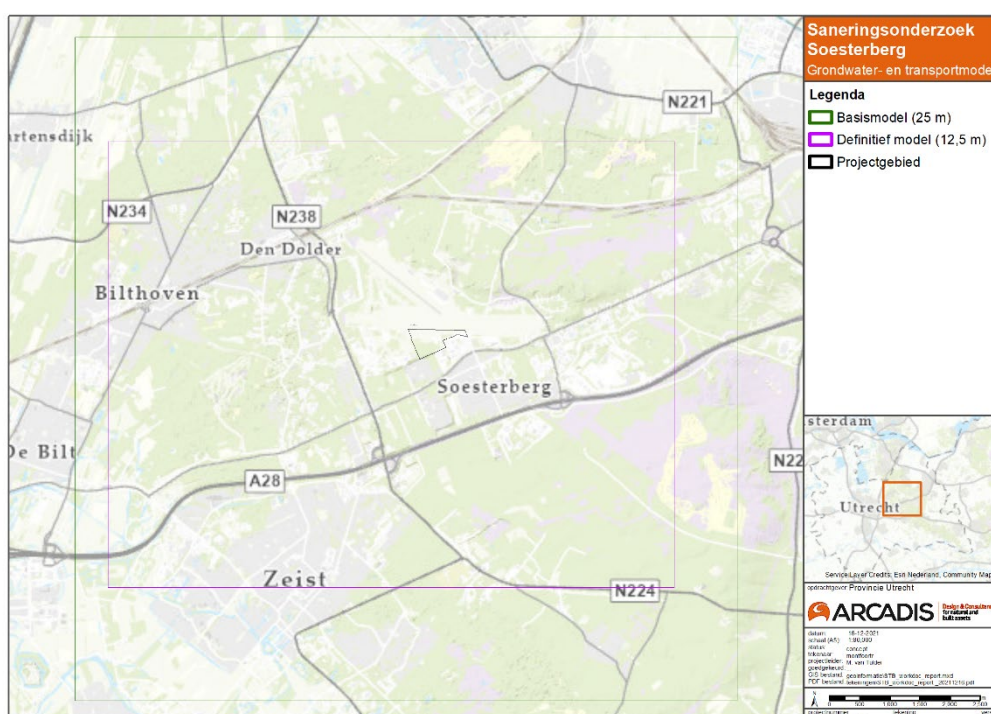
1.1 Brondata en gegevens

Voor de grondwater- en transportmodellering zijn diverse bronnen, gegevens en informatie gebruikt.

- Regionaal grondwatermodel AZURE;
- Data en informatie van de Nederlandse ondergrond uit de BRO-database DINOLoket (www.dinoloket.nl);
 - Ondergrondgegevens
 - Ondergrondmodellen (REGISIlv2.2)
- Grondwateronttrekkingsgegevens van Vitens;
- Meteorologische gegevens en metingen van het KNMI;
- Topografie (TOP10NL), Kadaster, Basisregistratie Topografie (BRT);
- Veldonderzoeken in het kader van het saneringsonderzoek Soesterberg;
 - Boorprofielen
 - Grondwaterstandmetingen
 - Analysegegevens grond en grondwater

1.2 Modeldimensies

Voor de modellering van de grondwaterstroming is een driedimensionaal MODFLOW-model opgesteld in de grafische gebruikersinterface (GUI) Groundwater Vistas 7.24 (build 269). Het modelgebied is 11 x 11 km waarbinnen de 4 drinkwaterwinningen (grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones) in de omgeving van Soesterberg zijn gelegen: Beerschoten, Bilthoven, Soestduinen en Zeist. De modelinvoer bestaat uit verschillende resoluties, voornamelijk 100 m, 25 m en 12,5 m. Modeloptimalisaties zijn uitgevoerd in verschillende resoluties en modelafmetingen. De modeloptimalisaties van de grondwaterstroming zijn hoofdzakelijk in het basismodel (resolutie 25 m) uitgevoerd. De verdere modeloptimalisaties van de grondwaterstroming en transportberekeningen zijn in definitief model (resolutie 12,5 m) uitgevoerd.



1.3 Bodemopbouw

De bodemopbouw die in het definitief model is toegepast bestaat uit 12 hydrogeologische eenheden met verschillende bodemdoorlatendheden. In totaal zijn 14 modellen toegepast over een diepte van 150 m.

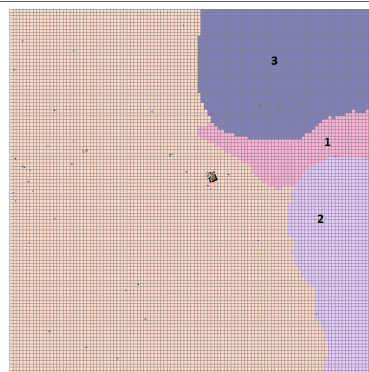
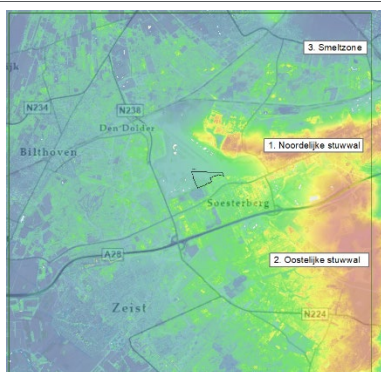
#	Diepte	Dikte	REGISIlv2.2	Toelichting	kh	kv
1	13	12	Formatie van Boxtel**		10	5
2	21	8	Formatie van Drenthe**		50	50
3	28	7				
4	37	9				
5	44	7				
6	53	9	Formatie van Sterksel		50	25
7	62	9				
8	63	1*	Formatie van Peize Waalre	Klei 1	0,006	0,003
9	83	20	Formatie van Peize Waalre	Zand 2	60	30
10	103	20				
11	104	1*	Formatie van Peize Waalre	Klei 2	0,04	0,02
12	137	33	Formatie van Peize Waalre	Zand 3	80	40
13	139	2	Formatie van Peize Waalre	Klei 3	0,046	0,023
14	150	11	Formatie van Peize Waalre	Zand 4	40	20

* Komt niet vlakdekkend binnen modelgebied voor

** Ter plaatse van gestuwd complex zijn 3 extra hydrogeologische eenheden gedefinieerd

Het gestuwd complex is opgedeeld in 3 zones. Hier is in de kalibratie een anisotropie toegepast.

Zonering	kx	ky	kz`
1. Noordelijke stuwwal	30	15	30
2. Noordelijke stuwwal	15	30	30
3. Smeltzone	15	15	5

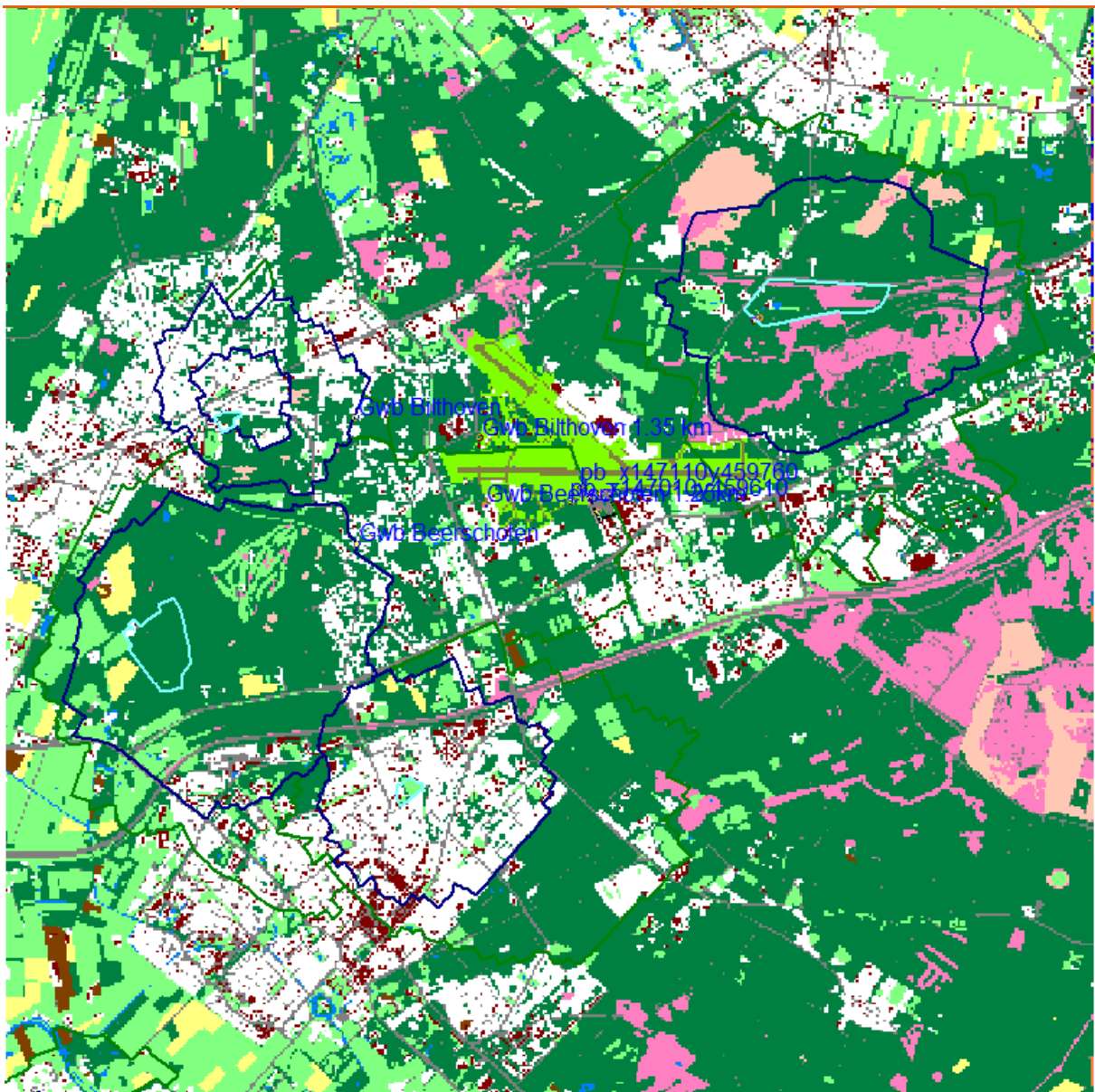


1.4 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling in AZURE is gebaseerd op verouderde meteogegevens en 250 meter resolutie. Op basis van Kadastrale gegevens (TOP10NL vector) en meteogegevens van het KNMI (Station De Bilt; gemiddelde 2010-2020) is de grondwateraanvulling binnen het modelgebied geactualiseerd en bepaald voor 12 landgebruikstypen. Gemiddeld komt de grondwateraanvulling (neerslag-interceptie-gewasverdamping) binnen het modelgebied neer op circa 290 mm/jaar. Ter plaatse van de vliegbasis wordt de neerslag van de start-/landingsbaan aan het omliggende grasland toegekend.

Detailtering in het model Soesterberg (25x25 m) op basis van de TOP10NL vector en landgebruikstypen.

Landgebruik	mm/d	Landgebruik	mm/d
1. Bebouwing	0,49	7. Heide / natuur	1,36
2. Hoofdinfrastructuur	0,49	8. Kale grond / braak	2,35
3. Bos	0,842	9. Water / moeras	0,288
4. Weiland/ gras	0,7	10. Overig landgebruik	0,5
5. Bouwland	1,69	11. Vliegbasis verhard	0
6. Boomgaard / kweek	0,113	12. Vliegbasis gras	1,17

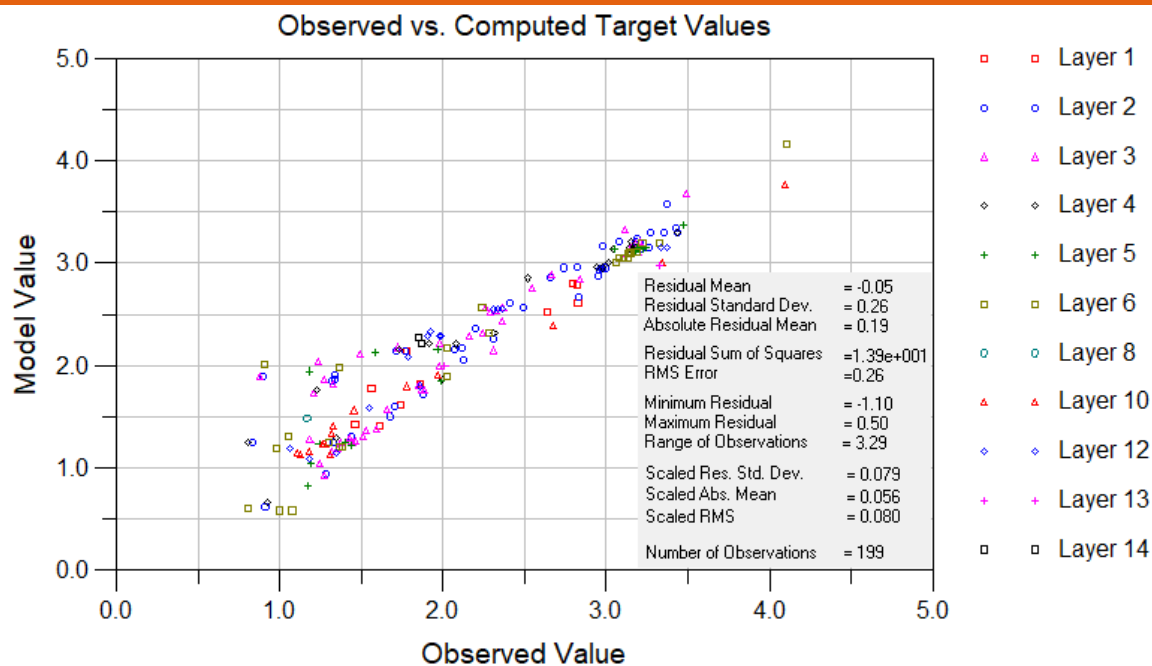


1.5 Grondwaterstroming en stijghoogten

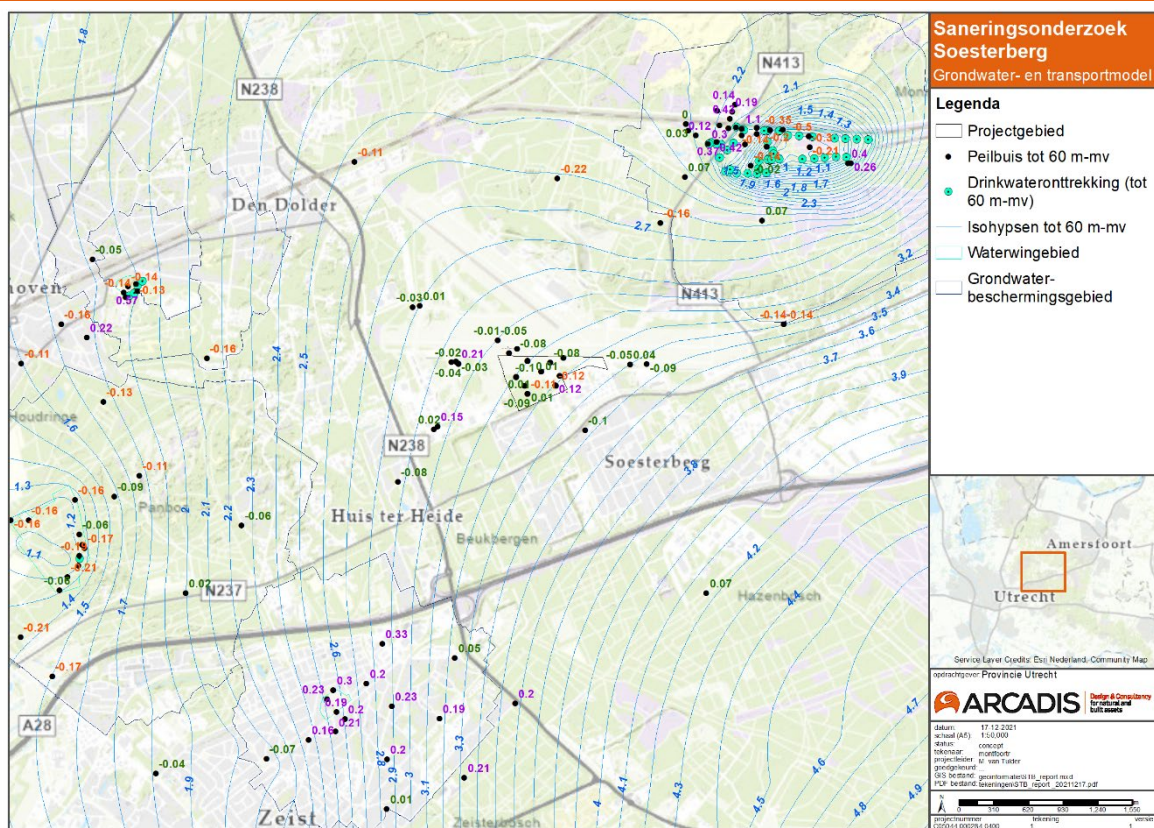
De grondwaterstroming en transportmodellering is geoptimaliseerd voor de onderzoekslocatie tot aan de drinkwaterwinningen. De modelbouw- en kalibratie is in een iteratief proces van gevoeligheidsanalyses, parameteraanpassingen en bijstelling van modelkeuzes (resolutie, aantal modellagen) door voortschrijdend inzicht en nieuwe (veld)gegevens en informatie. Tussentijdse iteraties en modelversies zijn vastgelegd in een logboek.

- Het stromingsmodel is stationair gekalibreerd voor de periode 2016-2019. Hiervoor zijn de gemiddelde onttrekkingshoeveelheden van de verschillende pompstations toegepast.
- De berekende grondwaterstroming binnen een straal van circa 1,0-1,5 km van de onderzoekslocatie is gevalideerd met een eenmalige meetronde in circa 50 peilbuisfilters (13-10-2021).
- Door optimalisatie en kalibratie van het definitief grondwaterstromingsmodel (12,5 m resolutie) wordt een representatieve grondwaterstroming berekend:
 - De absolute gemiddelde afwijking (te hoog/te laag) binnen het hele modelgebied is 0,19 m (n = 199 meetlocaties).
 - De gemiddelde afwijking is +0,05 m (gemiddelde over te hoog/te laag berekend).
 - De maximaal berekende afwijking bevinden zich nabij de onttrekkingsbronnen van de drinkwaterwinningen (max. +1,10 m; min. -0,50 m).
 - Ter plaatse van de locatie Soesterberg is de berekende absolute afwijking kleiner dan 0,1 m.

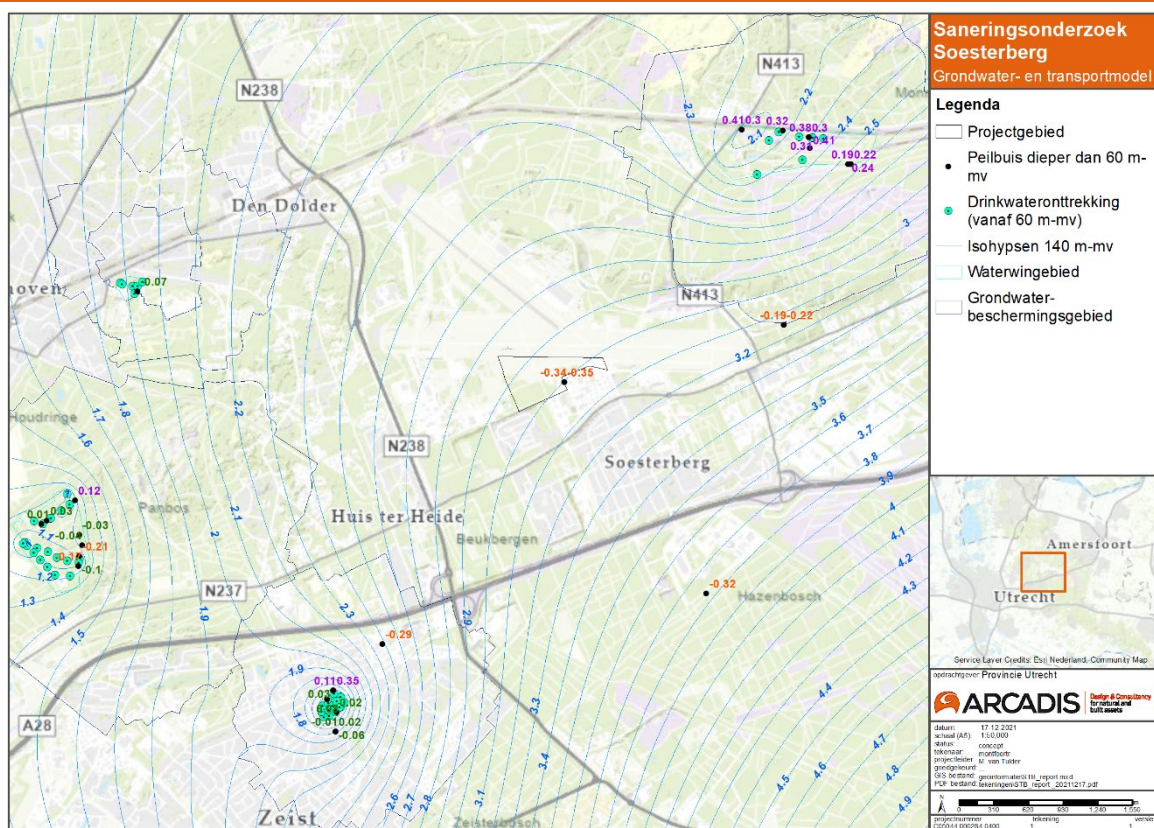
Grondwaterstanden en stijghoogten



Kalibratieresultaat grondwaterstanden tot 60 m-mv



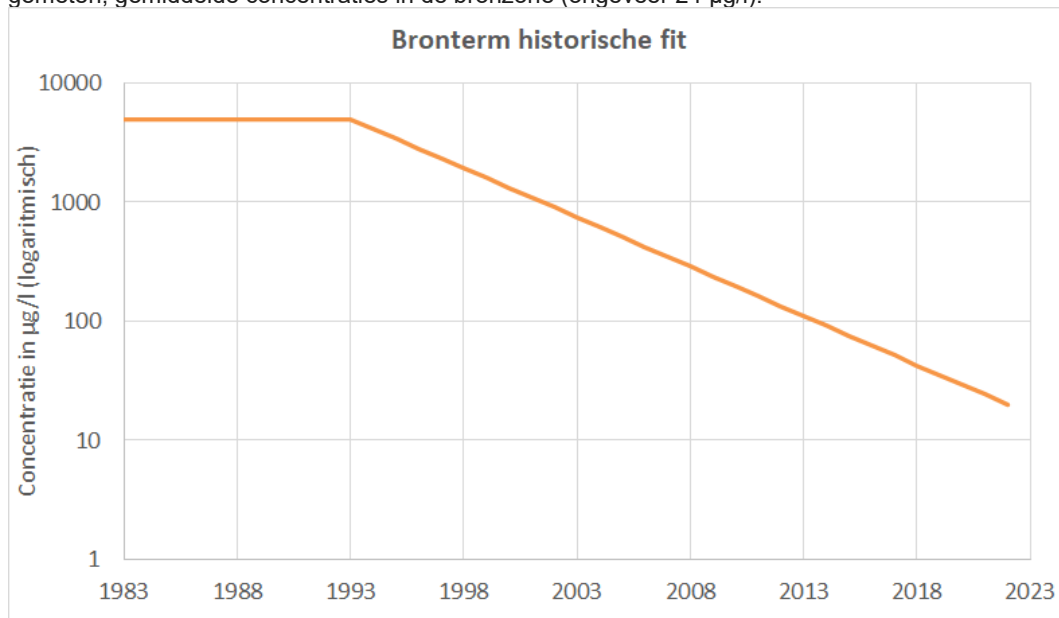
Kalibratieresultaat stijghoogten dieper dan 60 m-mv



1.6 Concentraties & stoftransport

In veelvuldige kalibratieslagen of modelruns over de periode van 2020 t/m 2021 met optimalisaties zijn de meest waarschijnlijke waarden voor de parameters stoftransport en de grootte en concentratie van de nalevering uit de bronzone bepaald. Uiteindelijk is een goede fit verkregen met de volgende uitgangspunten:

- PFOS is een persistente stof. Er is daarom geen rekening gehouden met natuurlijke afbraak in de stoftransportberekeningen.
- De numerieke dispersie is berekend op ongeveer 1,0 m. Omdat de werkelijke advectie en dispersie van PFOS vermoedelijk kleiner is dan 1,0 m, is er aan de transportberekeningen geen dispersie meer opgelegd (de numerieke dispersie is groter dan de vermoedelijk werkelijk optredende dispersie).
- Voor kalibratie van de stoftransportparameters is een historische berekening uitgevoerd van 1983 tot en met 2020.
- Hiervoor zijn de jaargemiddelde onttrekkingsdebieten van de drinkwaterwinningen aan het model opgelegd. Voor het jaar 2020 en 2021 zijn dezelfde gemiddelde onttrekkingsdebieten van 2019 gehanteerd (metingen van onttrekkingsgegevens door Vitens waren beschikbaar tot en met 2019).
- Voor de periode 1983 - 1993, de periode waarin bluswater actief is geïnfiltreerd in de infiltratiebronnen, is een constante bronzone van 5.000 µg/l aangenomen (bepaald in meerdere kalibratieslagen).
- Vanaf 1993 - 2021 is een exponentiële afname van PFOS voor de bronzone aangenomen tot de huidige gemeten, gemiddelde concentraties in de bronzone (ongeveer 24 µg/l).



- Er is geen lokale waarde voor de retardatie bekend. Voor dit SO is uitgegaan van een (conservatieve) retardatie van 1,9. Dit geeft een goede fit, maar betekent dat de organische verbinding PFOS slechts gering vertraagd ten opzichte van de grondwaterstroming:
 - Op basis van literatuurwaarden¹ kunnen organisch stofgehaltes tussen de 0,1 % en maximaal 0,6 % worden verwacht in het watervoerend pakket tot circa 60 m -mv (NAP -50 m). Hiermee ligt de f_{oc} tussen de 0,001 en 0,003 kg/kg. De Log K_{oc} voor PFOS² ligt tussen de 2,4 en 3,7. Op basis van deze bandbreedtes bevindt de distributiecoëfficiënt (K_d) zich tussen de 0,15 en 17,44 L/kg.
 - In een studie van Wintersen³ (2020) zijn K_d waarden voor landbodems rond de 200 L/kg bepaald, ondanks lage organisch stofgehaltes. Een verklaring hiervoor is dat niet alleen organisch koolstof de sorptie verklaard, maar ook elektrostatische interacties lijken een bepalende rol te spelen in het sorptiegedrag van PFAS. Hoge K_d waarden (20 L/kg) en retardaties (91) zijn alleen in de bronzone toegepast om nalevering

¹ Van Boekel, E.M.P.M., 2009. Geochemische modellering van de ondergrond in het STONE model - organische stof gehalte in de ondergrond. Alterra rapport 1830, Wageningen.

Van Gaans, P.F.M.; Hartog, N.; Bakker, I.J.I.; Kiden, P.; Griffioen, J., 2007. Het topsysteem van de ondergrond: Een reactievat. Deelrapport 3. Eerste statistische karakterisering van de geochemische reactiecapaciteit van de geotopgebieden Holland en Rivierengebied. TNO Bouw en Ondergrond/Alterra. Utrecht/Wageningen

Griffioen, J.; Klein, J.; Van Gaans, P.F.M., 2012. Reaction capacity characterisation of shallow sedimentary deposits in geologically different regions of the Netherlands. Journal of Contaminant Hydrology, 127: 30-46.

² Interstate Technology Regulatory Council, 2020. PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances. ITRC, april 2020. URL: <https://pfas-1.itrcweb.org/fact-sheets/>, Viewed on 22-10-2020.

³ Wintersen, A.; Osté, L.; van der Meiracker, R.; van Breemen, P.; Roskam, G.; Spijker, J., 2020. Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger. RIVM-briefrapport 2020-0102, Bilthoven.

vanuit de bronzone vanaf 2022 te berekenen. Buiten de bronzone is een lagere K_d -waarde (0,2 L/kg) en retardatiefactor (1,9) toegepast in een historisch fit met het verspreidingsbeeld anno 2021.

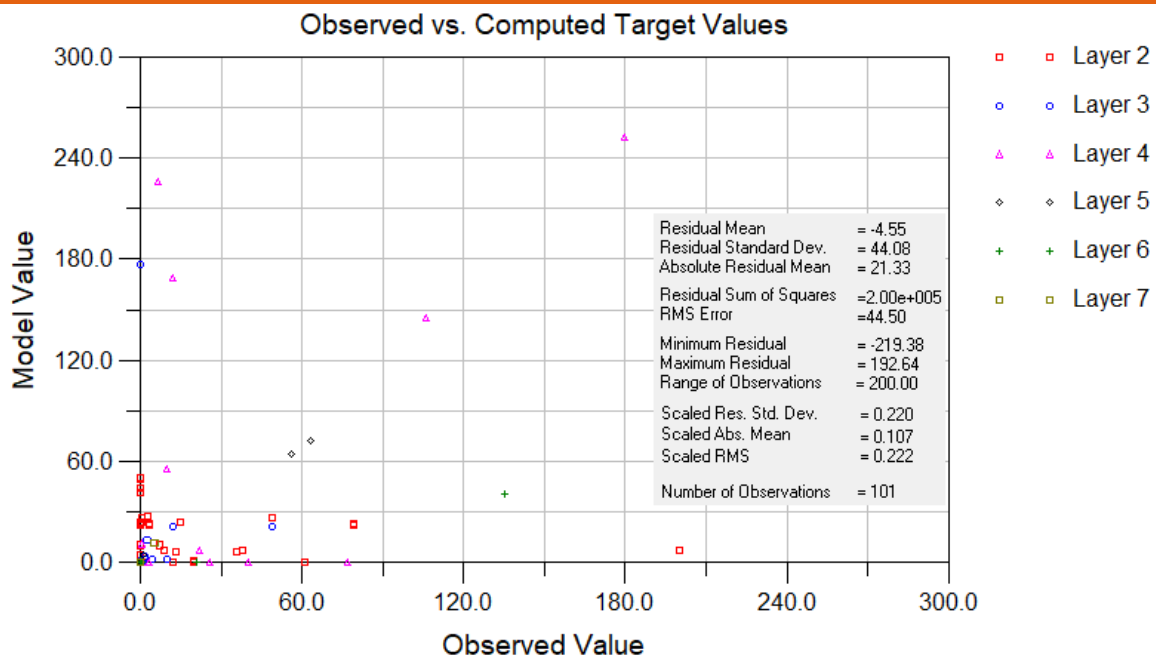
- Bij een porositeit van 0,37, bulkdichtheid van 1,67 kg/L en de Log K_{oc} tussen de 2,4 en 3,7 ligt het bereik van de retardatie tussen de 1,7 en 79,7. Voor het in beeld brengen van het verspreidingsrisico is een conservatieve aanname van de laagste K_{oc} waarde (2,4) gehanteerd. De uiteindelijk gehanteerde retardatie ligt dus aan de onderzijde van dit bereik.

Met het gekalibreerde grondwater- en transportmodel wordt met de historische fit van 1983-2021 een verspreidingsbeeld berekend dat in de hoofdverspreidingsrichting goed overeenkomt met de gemeten PFOS-waarden anno 2021. Op 350 m noordwestelijk van de kazerne zijn de concentraties PFOS nog circa 135 µg/l (peilbuis N20). Op 700 m, ter hoogte van peilbuis N29 is de maximaal gemeten concentratie 0,17 µg/l (16-11-2021; afperking van de pluim). Het model berekent op deze afstanden en diepten vergelijkbare waarden.

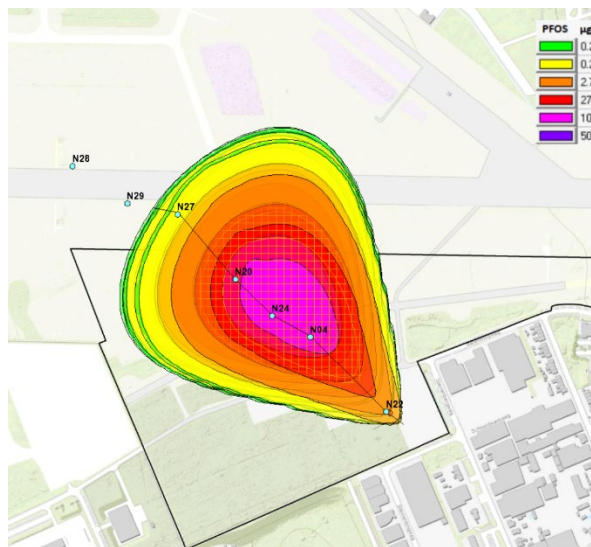
Afwijking in westelijke richting nabij J02

De voornaamste afwijking met de gemeten concentraties zijn circa 100 m in westelijke richting van de bronzone ter plaatse van meetpunt J02 waar concentraties tussen de 210 en 510 µg/l zijn gemeten. Tijdens de kalibratie en het onderzoek zijn diverse pogingen ondernomen om deze hoge waarden op deze afstand en richting te verklaren, hetgeen niet tot resultaat heeft geleid. Waarschijnlijk is sprake van een lokale afwijking door heterogeniteit of de oostelijk gelegen infiltratiesloot. Omdat de historisch fit op grotere schaal wel goed aansluit bij de veldmetingen, (over een afstand meer dan 100 m in westelijke richting (nabij M06/M07) en over meer dan 500 m in noordwestelijke richting), is de afwijking ter plaatse van J02 niet verder geoptimaliseerd.

Kalibratieresultaat concentraties PFOS

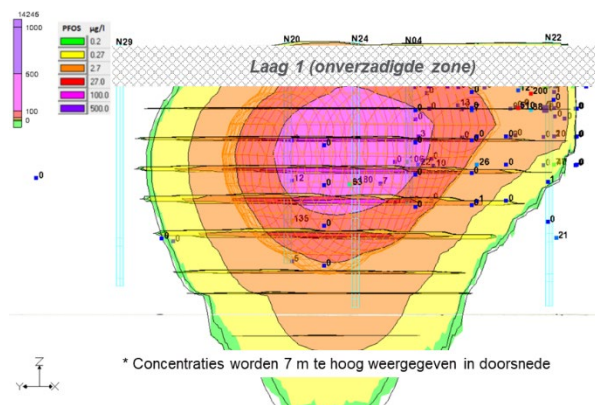


Kalibratieresultaat concentraties



Bovenaanzicht (2021)

Kalibratieresultaat concentraties

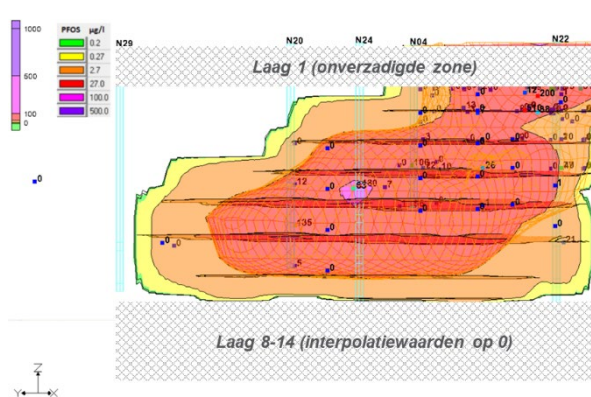


Zijaanzicht (2021)

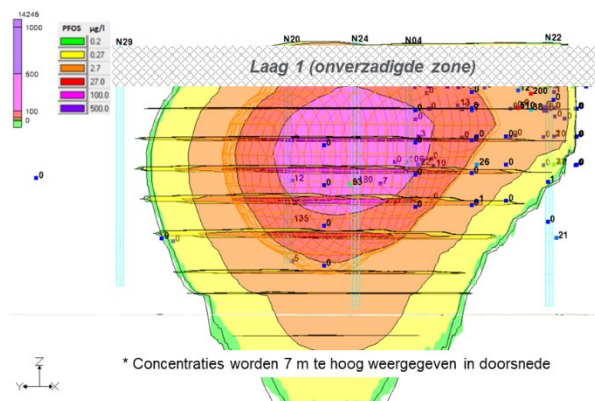
- De numerieke dispersie is berekend op ongeveer 1,0 m. Omdat de werkelijke advectie en dispersie van PFOS vermoedelijk kleiner is dan 1,0 m, is er aan de transportberekeningen geen dispersie meer opgelegd (de numerieke dispersie is groter dan de vermoedelijk werkelijk optredende dispersie).
- PFOS is een persistente stof. Er is daarom geen rekening gehouden met natuurlijke afbraak in de stoftransportberekeningen.
- Voor kalibratie van de stoftransportparameters is een historische berekening uitgevoerd van 1983 tot en met 2020.
- Hiervoor zijn de jaargemiddelde onttrekkingsdebieten van de drinkwaterwinningen aan het model opgelegd. Voor het jaar 2020 en 2021 zijn dezelfde gemiddelde onttrekkingsdebieten van 2019 gehanteerd (metingen van onttrekkingsgegevens door Vitens waren beschikbaar tot en met 2019).

De overeenkomst tussen de werkelijk gemeten concentraties en de bereikte modelfit wordt geïllustreerd met de onderstaande doorsneden. In de linker figuur staat een interpolatie van de werkelijk gemeten concentraties. In de rechterfiguur is het modelresultaat voor 2021 opgenomen. Door heterogeniteiten en fluctuaties van veldmetingen is het geïnterpoleerde model vanzelfsprekend grilliger dan het modelresultaat. De snelheid en richting van verspreiding en de orde grootte van de concentraties stemmen echter goed overeen. Er is een betrouwbare basis voor het berekenen van toekomstige scenario's.

Geïnterpoleerde concentraties



Berekende concentraties (historische fit)



GRONDWATERSANERING

Door aanvullend grondwateronderzoek in januari/februari en oktober/november 2021 is gebleken dat er ook een diepe grondwaterpluim aanwezig is (hoogste concentraties 45 m-mv) in noordwestelijke richting. Op 350 m noordwestelijk van de kazerne zijn de concentraties PFOS nog circa 135 µg/l (peilbuis N20). Op 700 m, ter hoogte van peilbuis N29 is de maximaal gemeten concentratie 0,17 µg/l (16-11-2021; afperking van de pluim).

Met de gemeten PFOS-concentraties in 2021 is een driedimensionale interpolatie van de pluim gemaakt in het grondwater- en transportmodel (zie afbeelding 9). De driedimensionale pluim is een zeer conservatieve uitgangssituatie omdat de hoge gemeten concentraties een sterke invloed hebben op de geïnterpoleerde concentraties. Voor de prognoseberekningen zijn alle geïnterpoleerde concentraties buiten de risicogrenswaarde-contour, in de onverzadigde zone en dieper dan 60 m-mv op nul gesteld/afgekap.

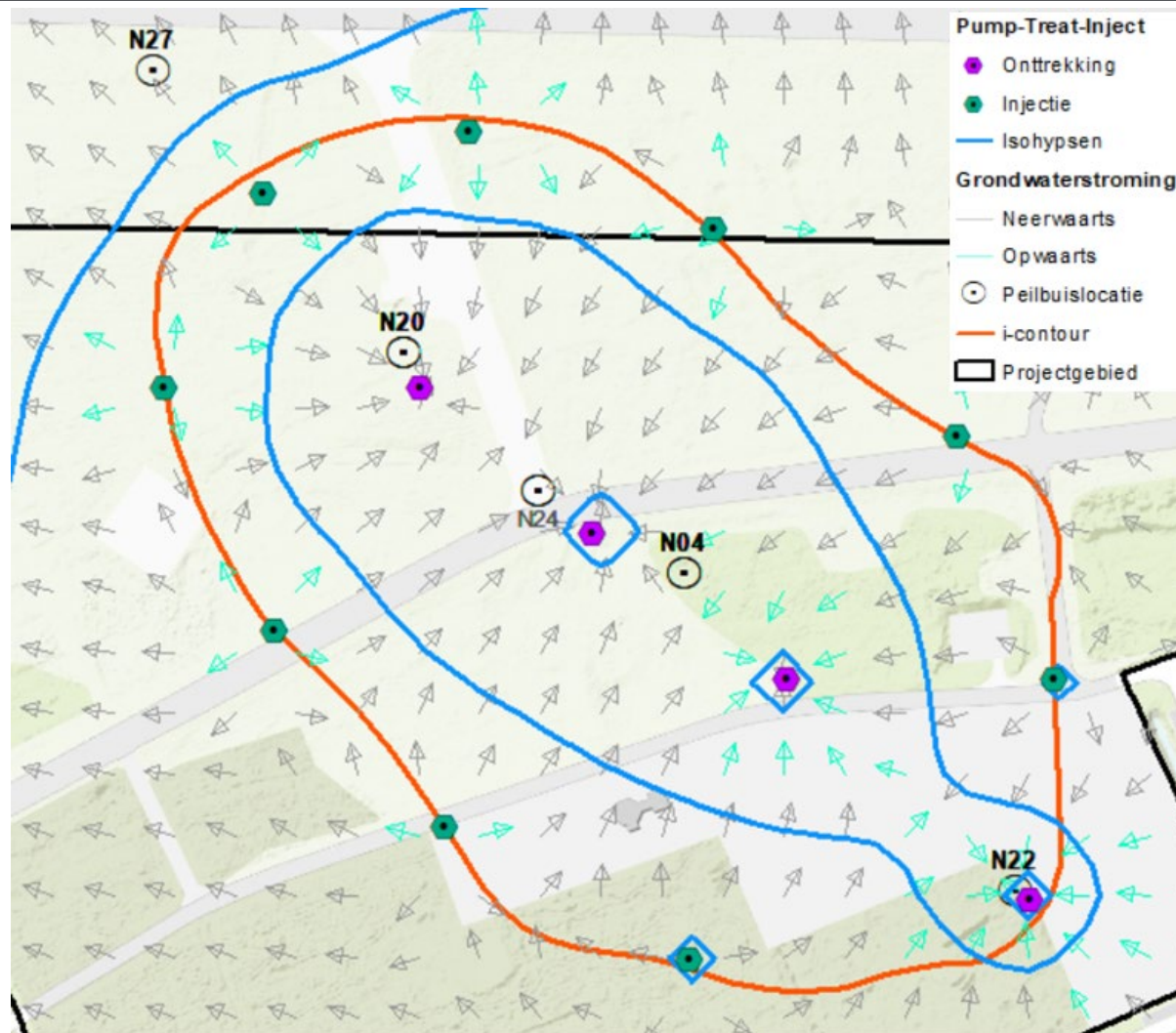
Voor de grondwatersanering zijn 2 conceptontwerpen doorgerekend met een debiet van 100 m³/u. Voor de injectie van gesaneerd grondwater is een restconcentratie van 0,27 µg/l aangenomen. De grondwatersanering is voor een periode van 2022 t/m 2050 doorgerekend. Het doel is om in 2030 de huidige concentraties terug te saneren tot onder de 2,7 µg/l.

- Ontwerp 1 onttrekt grondwater in de as van de pluim en injecteert gesaneerde concentraties op de i-contour.
- Ontwerp 2 onttrekt grondwater op de i-contour en injecteert gesaneerde concentraties in de as van de pluim.
- Voor de filterlengtes is 15 m aangenomen en de filterstellingen zijn over 4 diepten verdeeld (15-30; 20-35; 25-40 & 30-45). Nabij de bronzone (N22) zijn filterstelling van 15-30 m toegepast en de meest noordwestelijke bronnen hebben een filterstelling van 30-45 m-mv.
- De doorrekening van beide ontwerpen is bedoeld om het verschil in ontwerpprincipie in beeld te brengen en een inschatting te doen of de aangenomen saneringsduur van 8 jaar realistisch is (resultaat 2030). Om het verschil tussen beide ontwerpprincipes beter te duiden is gerekend tot 2050 (circa 30 jaar).

ONTWERP 1

4 onttrekkingsbronnen (in de as-van de pluim)

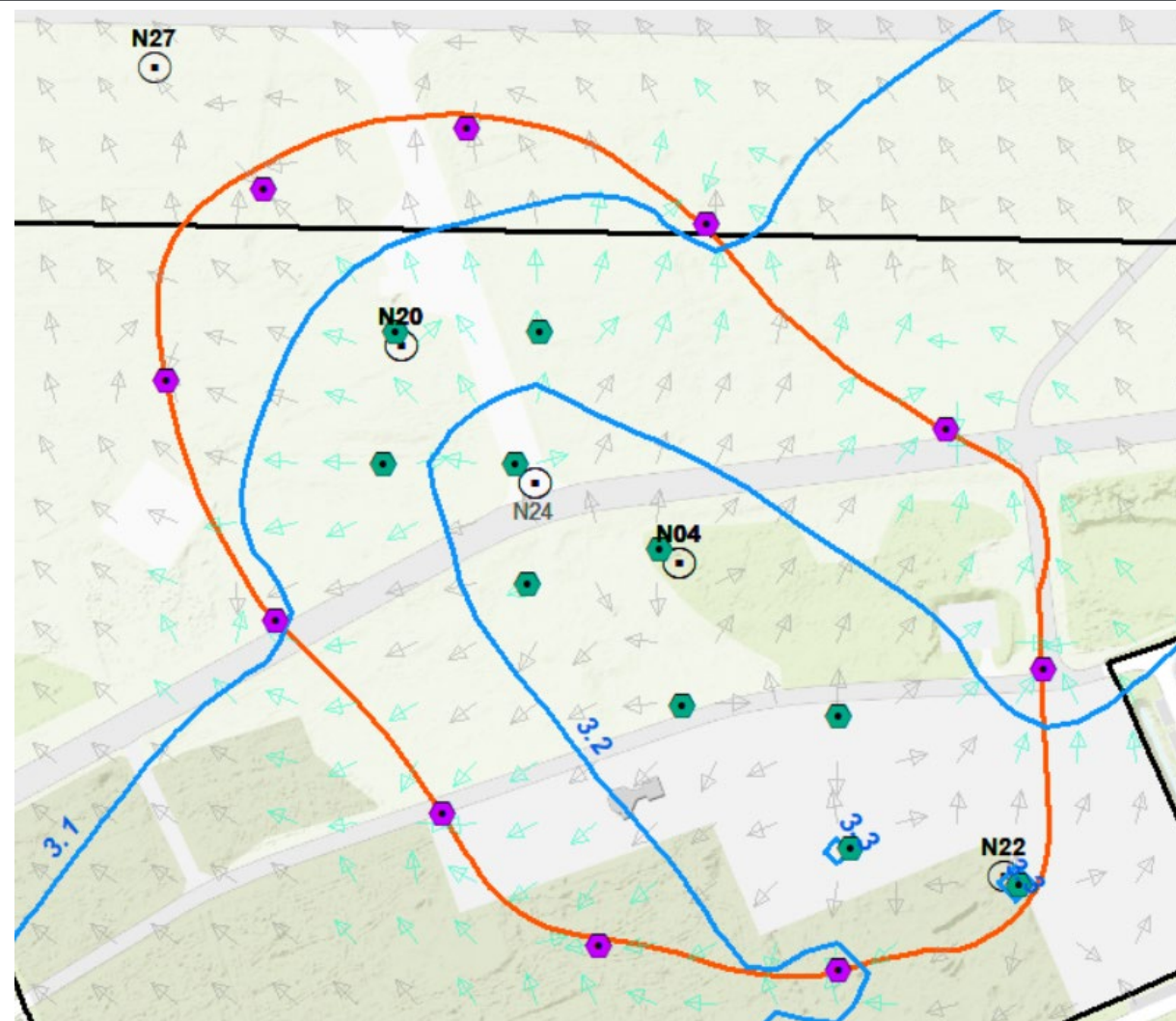
9 injectiebronnen (op de i-contour)



ONTWERP 2

10 onttrekkingsbronnen (op de i-contour)

10 injectiebronnen (in de as-van de pluim)

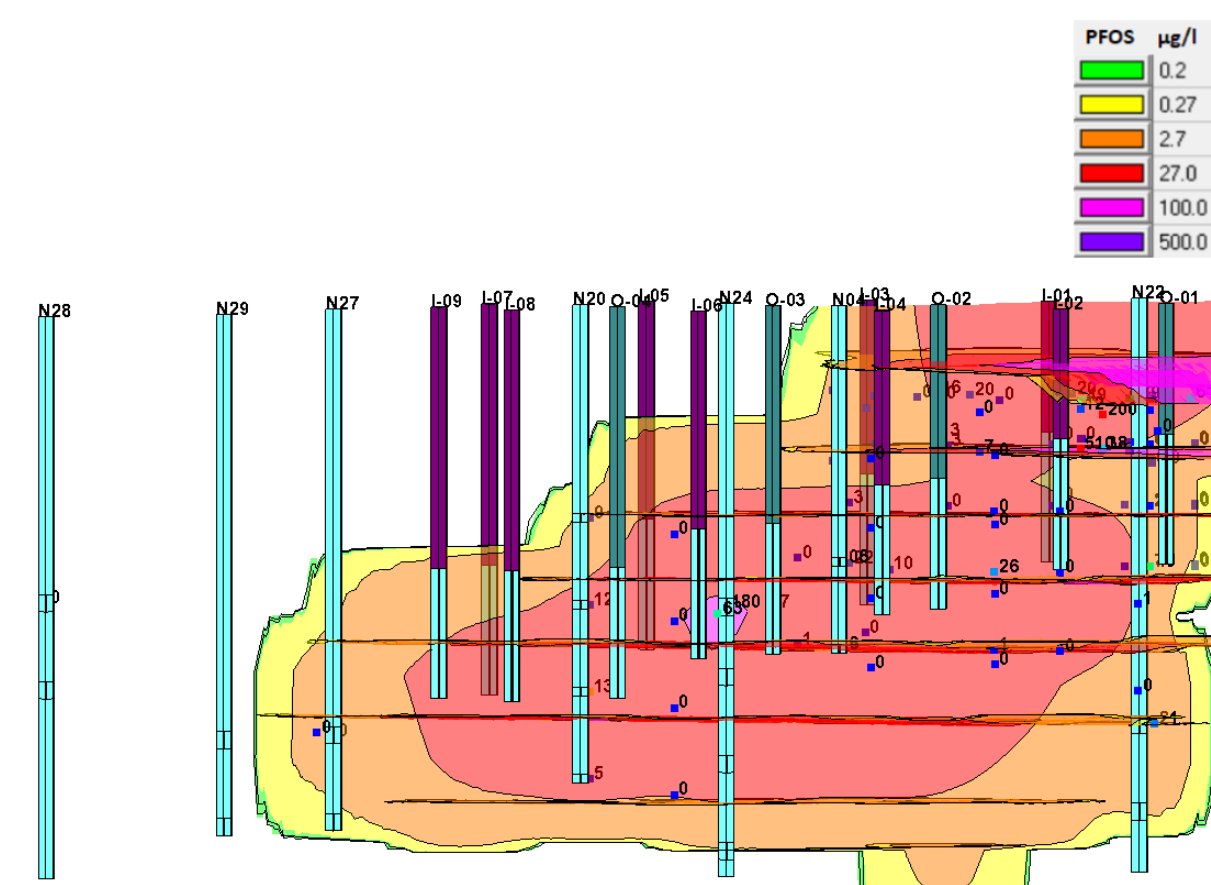


Filterstellingen

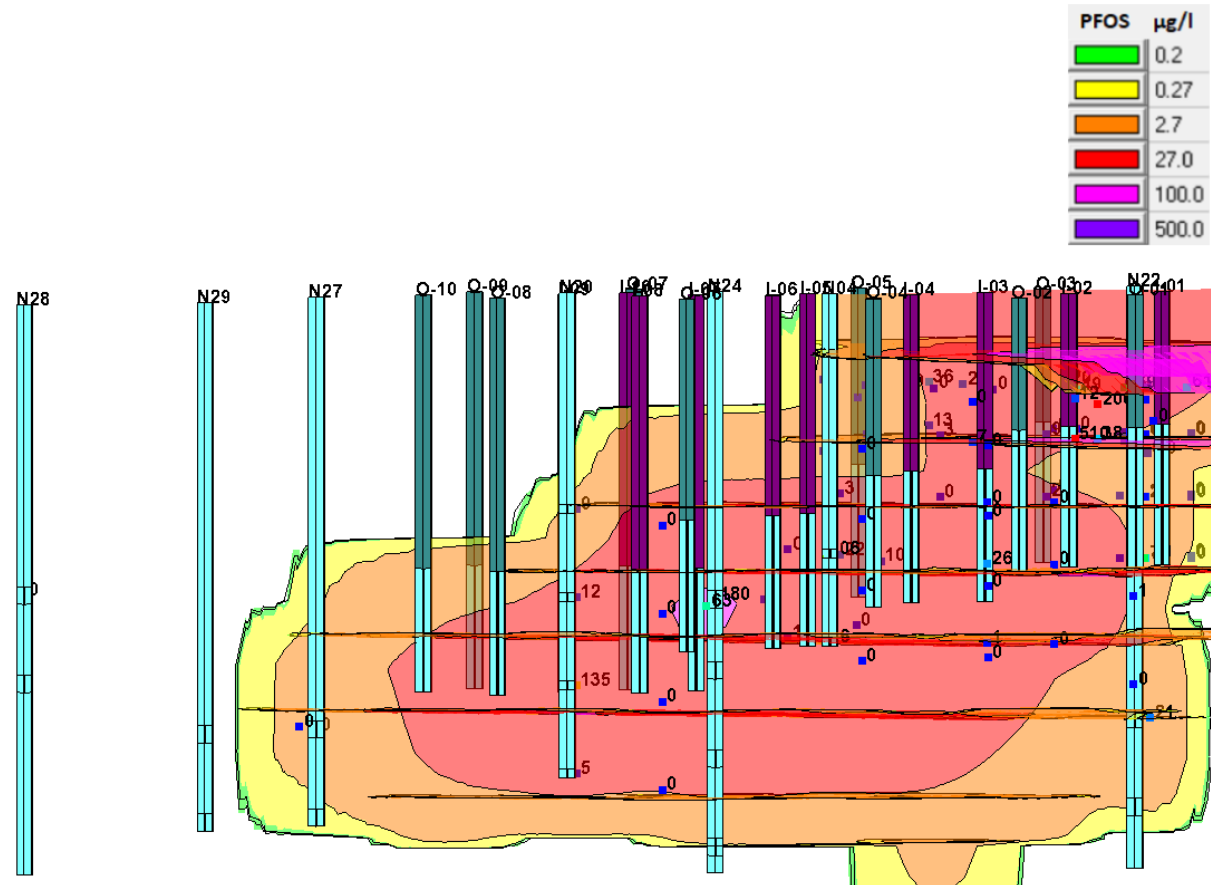
Name	X	Y	Z_ref	Van	Tot	Q_m3d
O-01	147370	459530	12.5	15	30	-600
O-02	147270	459620	12.5	20	35	-600
O-03	147190	459680	12.5	25	40	-600
O-04	147120	459740	12.5	30	45	-600
I-01	147380	459620	12.5	15	30	266.67
I-02	147230	459505	12.5	15	30	266.67
I-03	147340	459720	12.5	20	35	266.67
I-04	147130	459560	12.5	20	35	266.67
I-05	147240	459805	12.5	25	40	266.67
I-06	147060	459640	12.5	25	40	266.67
I-07	147140	459845	12.5	30	45	266.67
I-08	147015	459740	12.5	30	45	266.67
I-09	147055	459820	12.5	30	45	266.67

Filterstellingen

Name	X	Y	Z	van	tot	Q_m3d
I-01	147370	459530	12.5	15	31	240
I-02	147300	459545	12.5	15	31	240
I-03	147295	459600	12.5	20	35	240
I-04	147230	459605	12.5	20	35	240
I-05	147220	459670	12.5	25	40	240
I-06	147165	459655	12.5	25	40	240
I-07	147160	459705	12.5	31	45	240
I-08	147105	459705	12.5	31	45	240
I-09	147110	459760	12.5	31	45	240
I-10	147170	459760	12.5	31	45	240
O-01	147295	459495	12.5	15	31	-240
O-02	147195	459505	12.5	15	31	-240
O-03	147380	459620	12.5	15	31	-240
O-04	147130	459560	12.5	20	35	-240
O-05	147340	459720	12.5	20	35	-240
O-06	147060	459640	12.5	25	40	-240
O-07	147240	459805	12.5	25	40	-240
O-08	147015	459740	12.5	31	45	-240
O-09	147140	459845	12.5	31	45	-240
O-10	147055	459820	12.5	31	45	-240



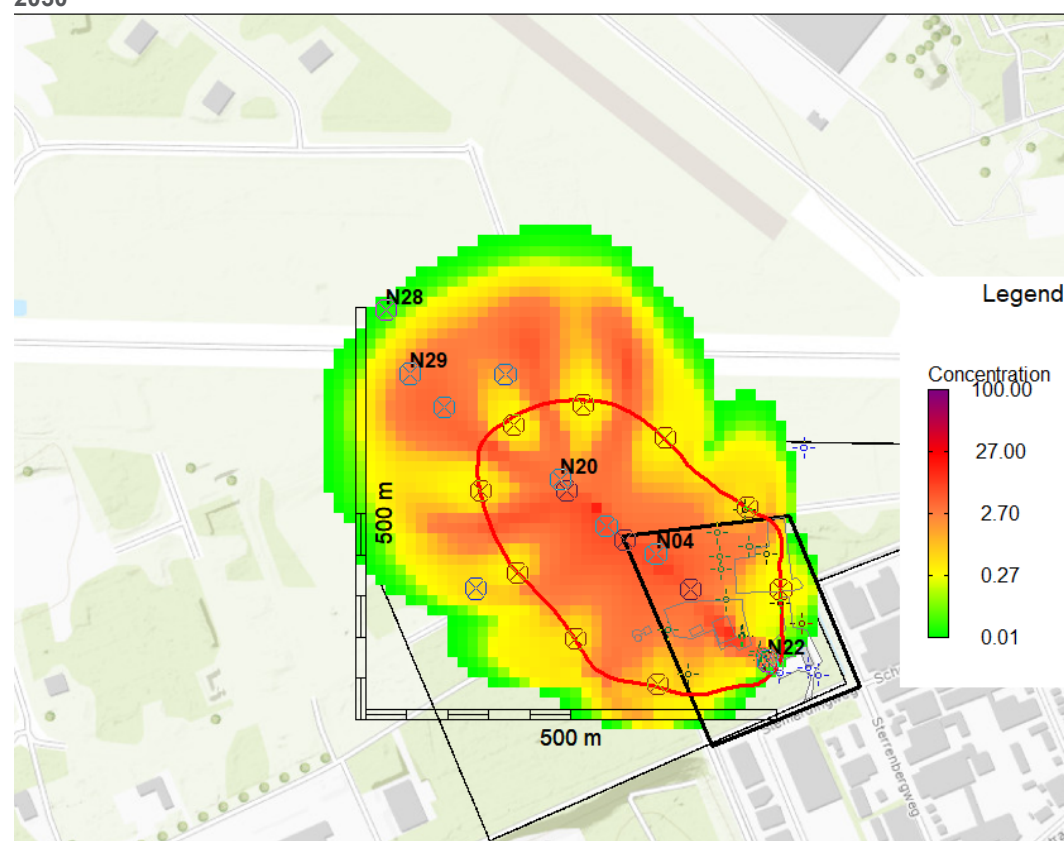
Geïnterpoleerde concentraties



Geïnterpoleerde concentraties

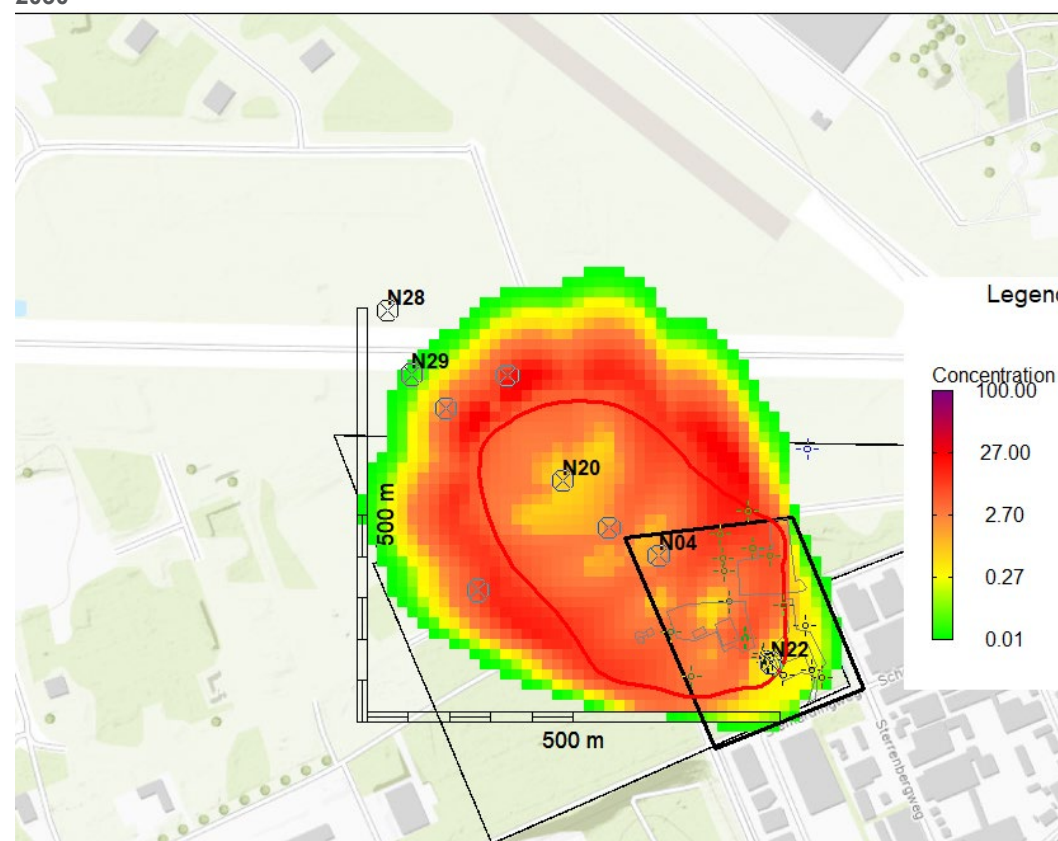
ONTWERP 1

2030

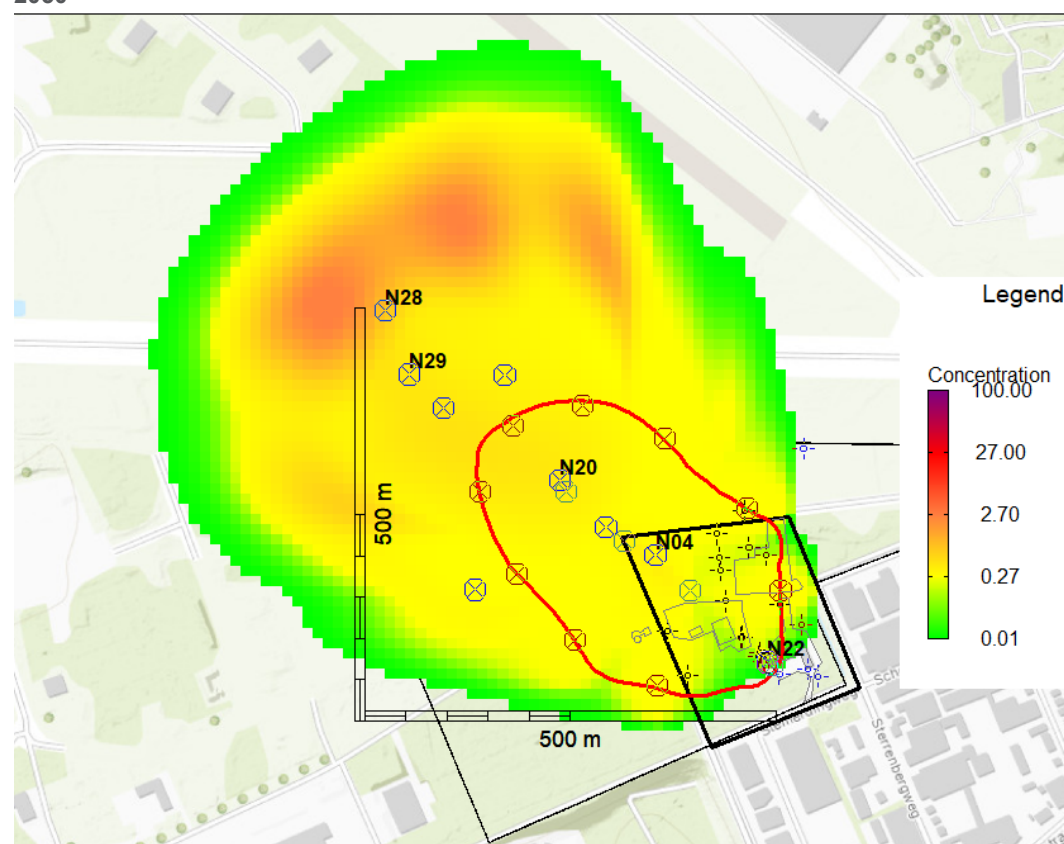


ONTWERP 2

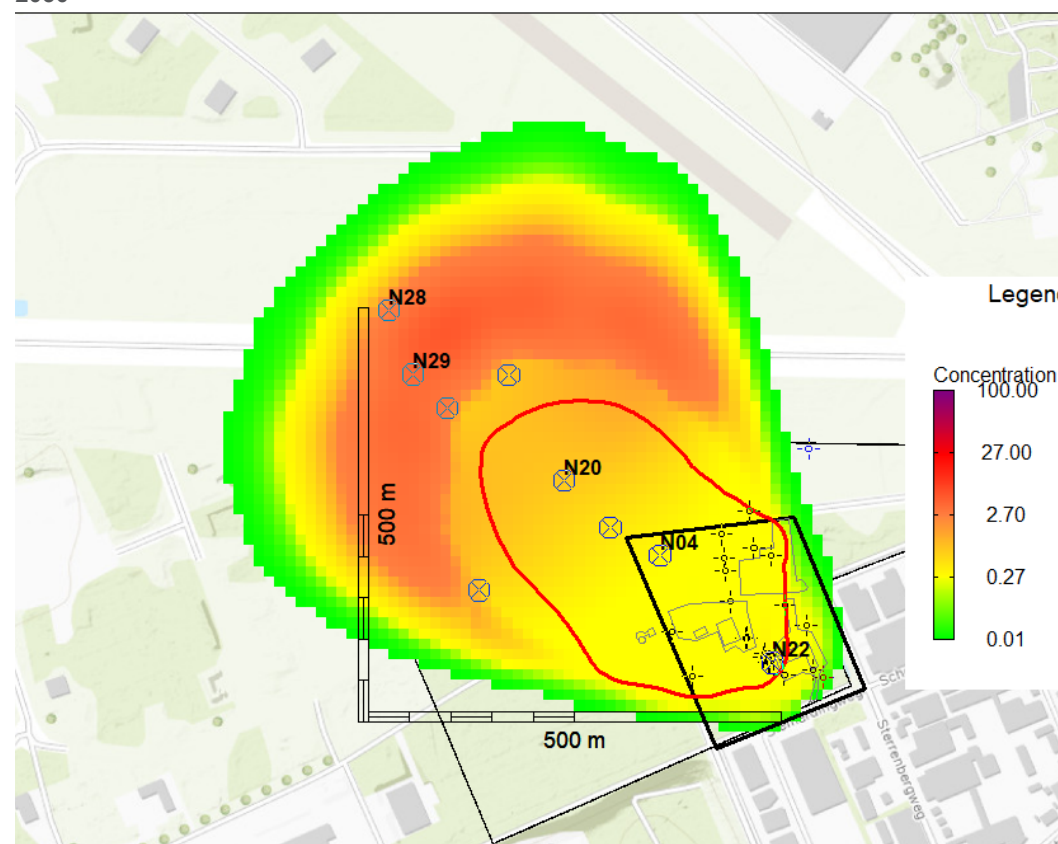
2030



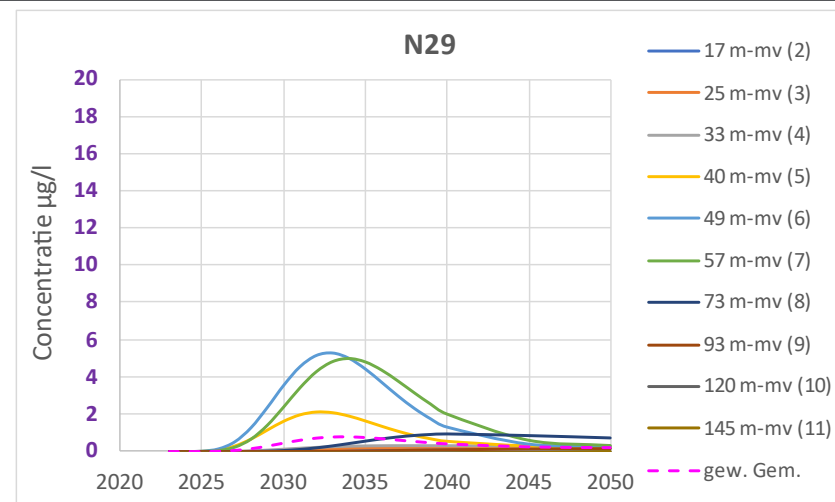
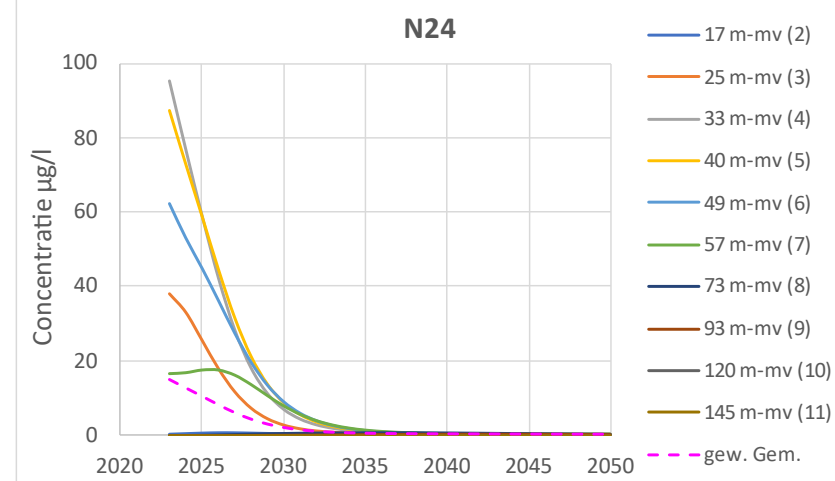
2050



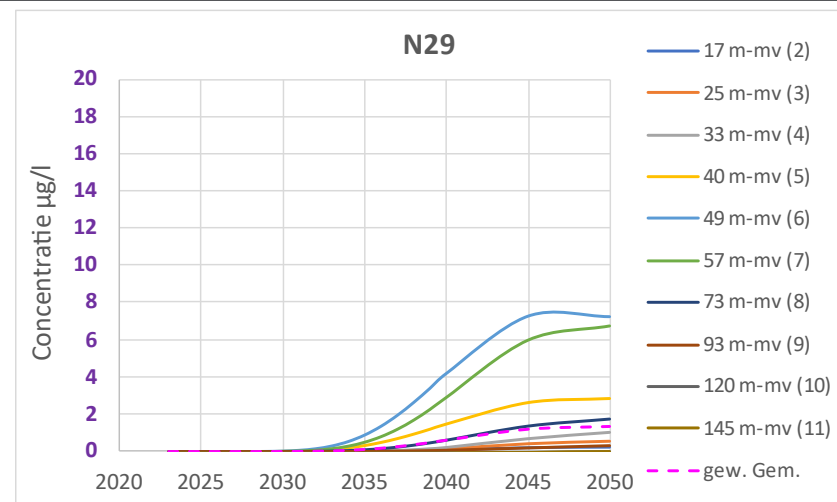
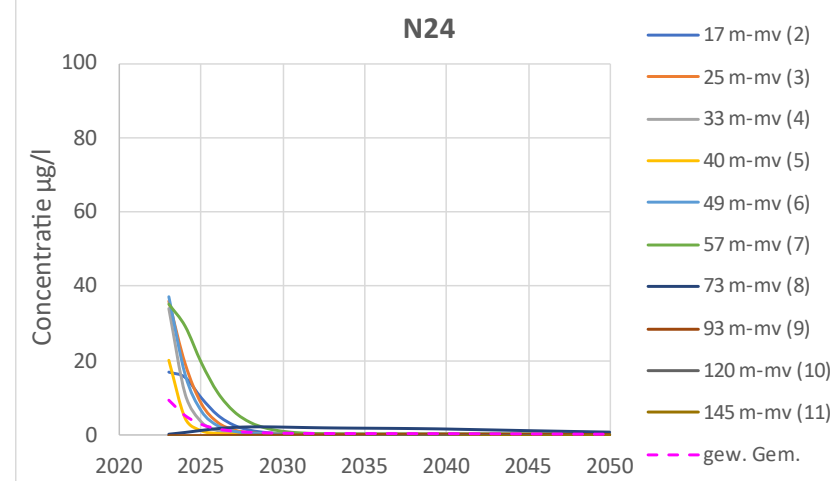
2050



ONTWERP 1

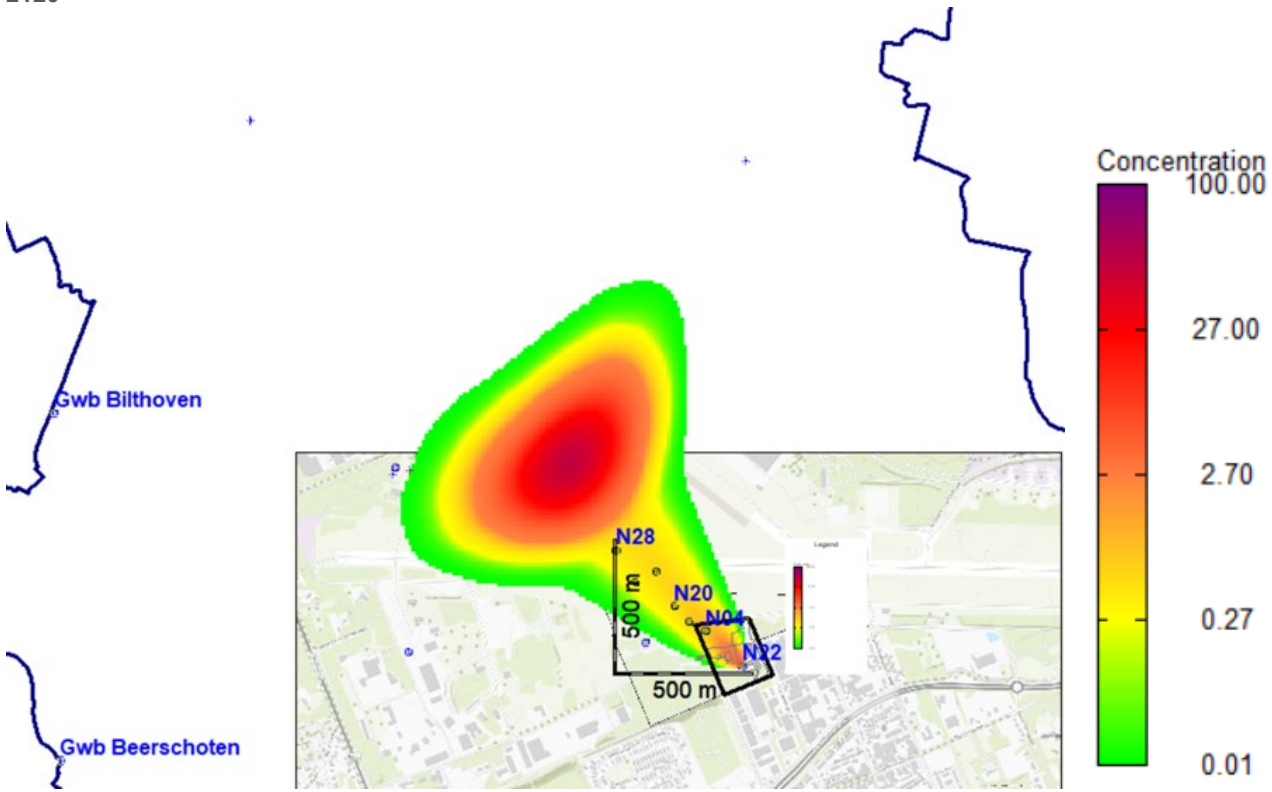
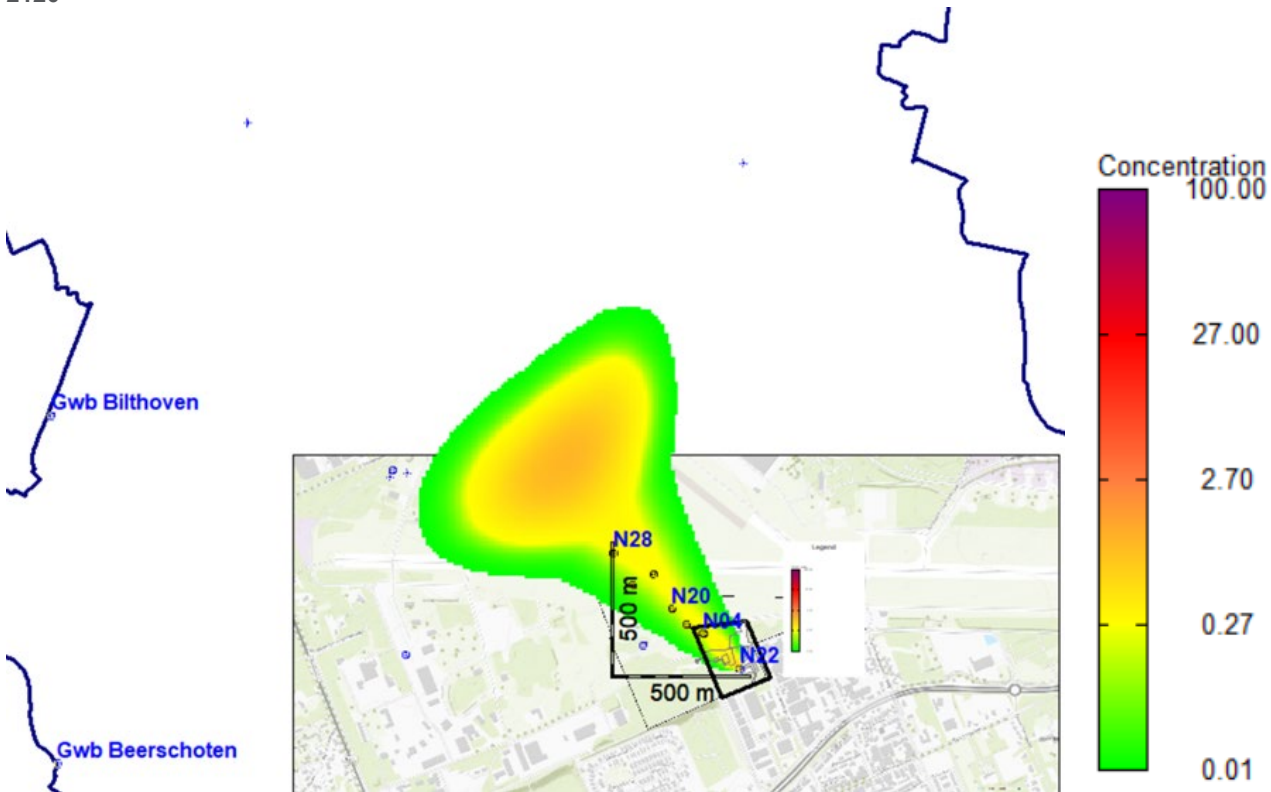


ONTWERP 2

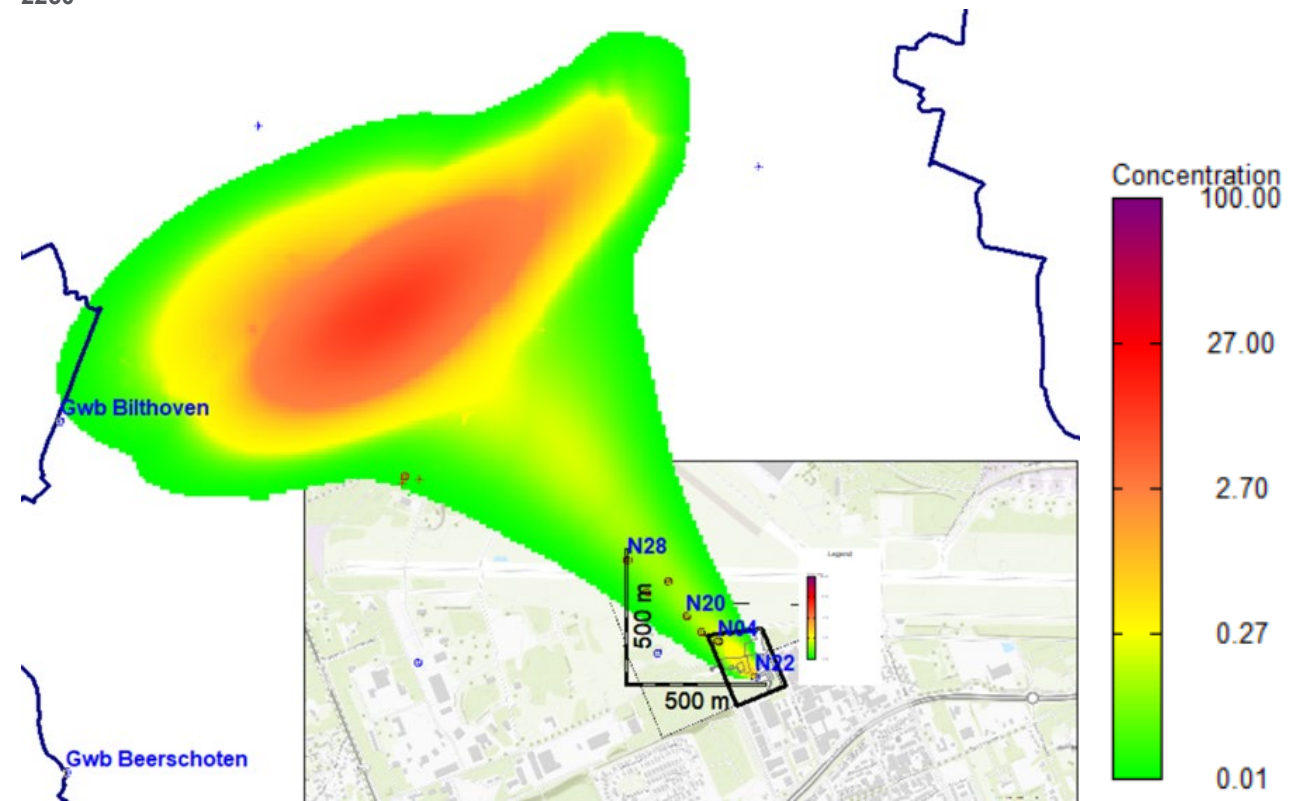


AUTONOME ONTWIKKELING & BEPERKEN NALEVERING NA GRONDWATERSANERING

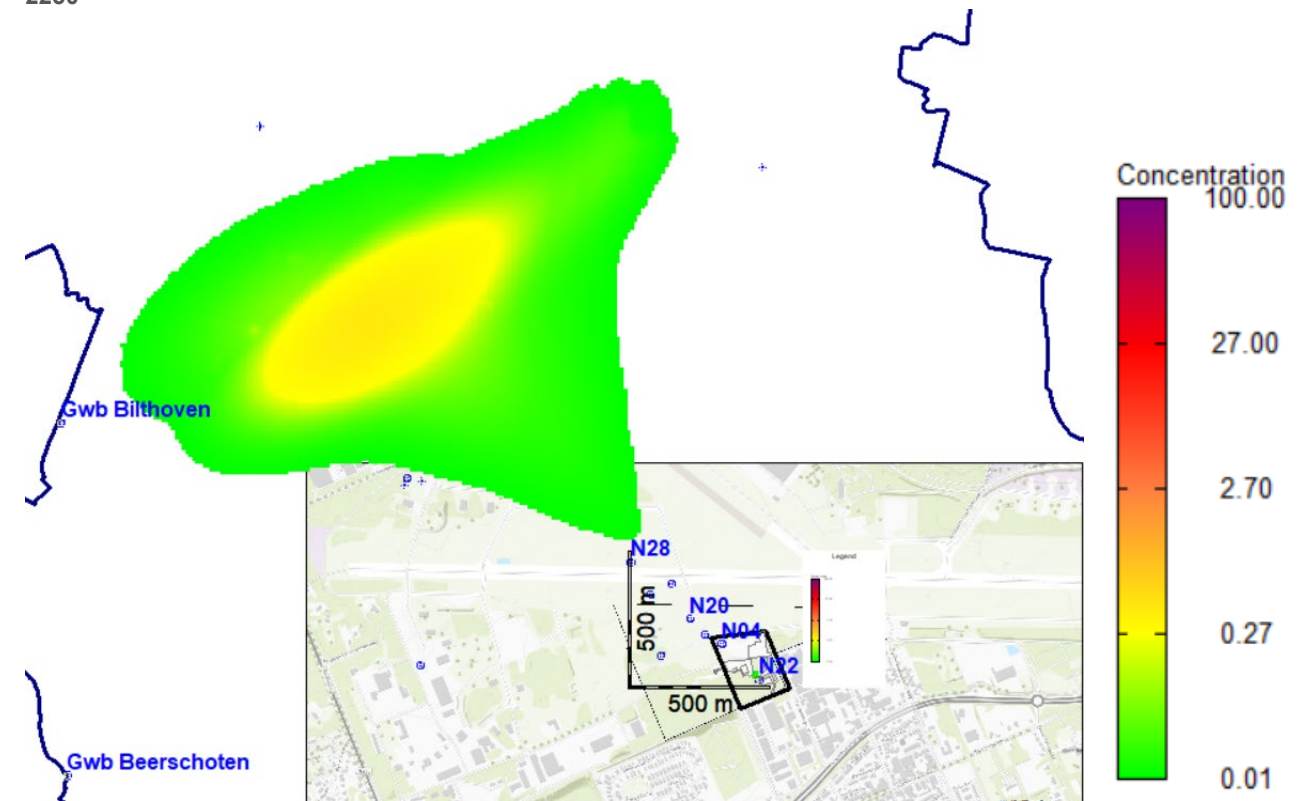
De centrale vraag in de beschouwing van het stoftransport is of de grens van een van de grondwaterbeschermingsgebieden in de toekomst kan worden bereikt in concentraties PFOS boven de 0,0099 µg/l (risicogrenswaarde). Daartoe zijn prognoseberekeningen uitgevoerd tot ongeveer 230 jaar na nu. De grenzen van de grondwaterbeschermingsgebieden (Beerschoten en Soestduinen) en boringvrije zone (Bilthoven) zijn in de afbeeldingen in donkerblauw weergegeven.

AUTONOME ONTWIKKELING	BEPERKEN NALEVERING NA GRONDWATERSANERING
Met het modelresultaat van de historische fit is de autonome ontwikkeling (zonder ingrepen) vanaf 2022 doorgerekend tot en met 2250. De nalevering na 2022 vindt plaats vanuit de vaste fase als gevolg van evenwichtssorptie. In de bronzone berekent het model bij de start van de berekening dan circa 480 µg/kg geadsorbeerd aan de vaste bodem (grondwaterconcentratie 24 µg/l). Dit is een worst-case benadering; vrachtberekeningen aan werkelijke concentraties leiden tot een geschatte hoeveelheid van circa 100 kg.	Voor deze berekening zijn de concentraties van de berekende pluim in 2021 uit de historische fit (paragraaf 5.2.2) verlaagd tot maximaal 2,7 µg/l (aangenomen saneringsdoel) en concentraties onder de 2,7 µg/l zijn op nul gezet ((buiten de i-contour). Ter plaatse van de afgraving is de grondwateraanvulling in het grondwatermodel gereduceerd tot 20 mm/j. Hiermee is een afdichtende laag nabij maaiveld gesimuleerd. Het effect van het beperken van de nalevering en grondwatersanering is doorgerekend voor de periode 2022-2250. Hierbij is gemakshalve aangenomen dat de grondwatersanering in 2021 heeft plaatsgevonden.
De prognoseberekening van de autonome ontwikkeling heeft als resultaat: - Anno 2050 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 900 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l. De maximale concentraties (tot 173 µg/l) worden op een diepte van 30-50 m berekend. - Anno 2120 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 1.500 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l. De maximale concentraties (tot 60 µg/l) worden op een diepte van 50-60 m berekend. - Anno 2250 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 2.500 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l. De maximale concentraties (tot 17 µg/l) worden op een diepte van 60-100 m berekend.	De prognoseberekening van grondwatersanering en beperken van de nalevering heeft als resultaat: - Anno 2120 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 1.300 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l (<i>autonome ontwikkeling: 1.500 m berekend</i>). De maximale concentraties (tot 1,7 µg/l; <i>autonome ontwikkeling: tot 60 µg/l</i>) worden op een diepte van 50-60 m berekend (<i>autonome ontwikkeling: idem</i>). - Anno 2250 wordt een verspreiding van de PFOS-concentraties in het grondwater tot op een afstand van circa 2.200 m van de bronzone berekend boven de 0,01 µg/l (<i>autonome ontwikkeling: 2.500 m berekend</i>). De maximale concentraties (tot 0,7 µg/l; <i>autonome ontwikkeling: tot 17 µg/l</i>) worden op een diepte van 60-100 m berekend.
De prognoseberekening geeft aan dat na 230 jaar: - Op de grens van boringvrije zone van drinkwaterwinning Bilthoven concentraties worden berekend boven de 0,01 µg/l (risicogrenswaarde). - De grenzen van drinkwaterwinningen Soestduinen en Beerschoten niet worden bedreigd. - De hoogste concentraties in de pluim gedaald zijn van 200 µg/l nu, tot minder dan 27 µg/l.	De prognoseberekening geeft aan dat na 230 jaar: - Op de grens van boringvrije zone van drinkwaterwinning Bilthoven geen concentraties worden berekend boven de 0,01 µg/l (risicogrenswaarde). Wel ligt de breed uitgestroomde pluim in het pad om de grens van de boringvrije zone op termijn te bereiken. - De grenzen van drinkwaterwinningen Soestduinen en Beerschoten niet worden bedreigd. - De hoogste concentraties in de pluim gedaald zijn van 2,7 µg/l na grondwatersanering, tot minder dan 0,7 µg/l anno 2250.
2120 	2120 

2250



2250



Bijlage C Analyseresultaten grondwatermonsternamen oktober 2021

Bijgevoegde analysecertificaat betreft de herbemonstering van een aantal peilbuizen voor het bepalen van de verontreinigingssituatie met PFAS in het grondwater in november 2021. In de interpretatie en modellering van de verontreinigingssituatie zijn per peilbuis de meest actuele analyseresultaten gebruikt.

De monsternamen zijn uitgevoerd op 17 november 2021. De grondwatermonsters zijn geanalyseerd op PFAS (28, conform handelingskader). In het veld is de zuurgraad en het geleidingsvermogen bepaald. Deze waarden zijn normaal te noemen voor dit type bodem. De troebelheid van de monsters is zeer hoog (>100 NTU). Dit kan gerelateerd worden aan de monsternamen methode met behulp van een knikkerpuls. Deze methode is gehanteerd in verband met de diepe grondwaterstand.

Kwaliteitsborging

De grondwatermonsternamen zijn uitgevoerd conform de eisen uit de KWALIBO-regeling; KWALIBO staat voor 'Kwaliteitsborging bij bodemintermediairs'. Arcadis Nederland B.V. is gecertificeerd volgens het procescertificaat 'Veldwerk bij milieuhygiënisch bodem- en waterbodemonderzoek'. Het veldwerk is uitgevoerd door Arcadis Nederland B.V. conform de BRL SIKB 2000 en het onderliggende protocol 2002. Het milieukundig veldwerk is onafhankelijk van de opdrachtgever uitgevoerd.

Het laboratoriumonderzoek is uitgevoerd door een door de Raad van Accreditatie geaccrediteerd en conform AS SIKB 3000 gecertificeerd laboratorium. Indien mogelijk zijn de analyses uitgevoerd conform AS SIKB 3000 en de onderliggende relevante protocollen. Dergelijke protocollen zijn echter niet voor alle stoffen opgesteld, en derhalve zijn niet alle analyses conform AS SIKB 3000 uit te voeren. Op de analysecertificaten staat per parameter aangegeven of de gehanteerde analysemethode erkend is volgens AS SIKB 3000.

Dit rapport draagt het keurmerk 'kwaliteitswaarborg bodembeheer SIKB'. Tijdens het uitgevoerde onderzoek is namelijk niet op kritieke punten afgeweken van de gehanteerde certificatieschema's, richtlijnen of normen.

In geval van BRL-gerelateerde klachten kunt u (de opdrachtgever) zich wenden tot ons (de certificaathouder) en, zo nodig, tot onze certificatie-instelling SGS Intron Certificatie B.V.



AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

ARCADIS NEDERLAND BV
G.J. van Wesel
Postbus 161
6800 AD Arnhem

Datum	25.11.2021
Relatienr	35006104
Opdrachtnr.	1101647

ANALYSERAPPORT

Opdracht 1101647 Water

Opdrachtgever	35006104 ARCADIS NEDERLAND BV
Uw referentie	C05044.000284.0400 PFAS Soesterberg 30080289 03
Opdrachtacceptatie	18.11.21

Geachte heer, mevrouw,

Hierbij zenden wij u de resultaten van het door u aangevraagde laboratoriumonderzoek.

Dit rapport mag alleen in zijn geheel worden gereproduceerd. Eventuele bijlagen zijn onderdeel van het rapport.

Indien u nog vragen heeft of aanvullende informatie wenst, verzoeken wij u om contact op te nemen met Klantenservice.

Wij vertrouwen erop u met de toegezonden informatie van dienst te zijn.

Met vriendelijke groet,

AL-West B.V. Dhr. Rudie Leuverink, Tel. 31/570788112
Klantenservice

Kamer van Koophandel	Directeur
Nr. 08110898	ppa. Marc van Gelder
VAT/BTW-ID-Nr.:	Dr. Paul Wimmer
NL 811132559 B01	

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

Monsternr.	Monster beschrijving	Monstername	Monsternamepunt
804234	J2-2-1	16.11.2021	
804235	N04-1-3	16.11.2021	
804236	N04-2-3	16.11.2021	
804237	N20-4-2	16.11.2021	
804238	N22-1-1	16.11.2021	

Eenheid

804234
J2-2-1

804235
N04-1-3

804236
N04-2-3

804237
N20-4-2

804238
N22-1-1

Perfluorverbindingen

Perfluorbutaanzuur (PFBA)	ng/l	350	1500	57	21	22
Perfluorpentaanzuur (PFPeA)	ng/l	1400	1400	68	29	58
Perfluorhexaanzuur (PFHxA)	ng/l	5500	7300	280	100	38
Perfluorheptaanzuur (PFHpA)	ng/l	1200	1600	64	25	43
Perfluornonaanzuur (PFNA)	ng/l	18	<10	<10	<10	<10
Perfluordecaanzuur (PFDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorundecaanzuur (PFUnDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordodecaanzuur (PFDoA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortridecaanzuur (PFTriDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortetradecaanzuur (PFTeDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctadecaanzuur (PFODA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluor-1-Butaansulfonzuur (Lineair) (L PFBS)	ng/l	1100	5400	210	75	74
Perfluorpentaan-1-sulfonzuur (PFPeS)	ng/l	2900	5800	260	120	13
Perfluor-1-Hexaansulfonzuur (Lineair) (L PFHxS)	ng/l	44000	38000	890	770	190
Perfluor-1-Heptaansulfonzuur (Lineair) (L PFHpS)	ng/l	4200	1900	99	53	20
Perfluordecaansulfonzuur (L-PFDS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)	ng/l	<10	16	<10	<10	<10
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2FTS)	ng/l	400	300	51	<10	47
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS)	ng/l	320	87	24	<10	<10
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2FTS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamide (N-MeFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (n-MeFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Ethylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (EtFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
8:2 Polyfluoroalkylfosfaat diester (8:2 diPAP)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaanzuur lineair (PFOA)	ng/l	5800	4000	130	63	120
Perfluoroctaanzuur vertakt (PFOA)	ng/l	980	960	19	10	16
Som Perfluoroctaanzuur (PFOA) (Factor 0,7)	ng/l	6780	4960	149	73,0	136

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

Monsternr.	Monster beschrijving	Monstername	Monsternamepunt
804239	N22-2-1	16.11.2021	
804240	N23-1-1	16.11.2021	
804241	N23-2-1	16.11.2021	
804242	N24-1-1	16.11.2021	
804243	N24-3-1	16.11.2021	

Eenheid

804239
N22-2-1

804240
N23-1-1

804241
N23-2-1

804242
N24-1-1

804243
N24-3-1

Perfluorverbindingen

Perfluorbutaanzuur (PFBA)	ng/l	34	1800	87	1900	24
Perfluorpentaanzuur (PFPeA)	ng/l	94	2200	110	2300	27
Perfluorhexaanzuur (PFHxA)	ng/l	74	11000	60	12000	110
Perfluorheptaanzuur (PFHpA)	ng/l	78	1600	100	2000	26
Perfluornonaanzuur (PFNA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordecaanzuur (PFDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorundecaanzuur (PFUnDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordodecaanzuur (PFDoA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortridecaanzuur (PFTriDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortetradecaanzuur (PFTeDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctadecaanzuur (PFODA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluor-1-Butaansulfonzuur (Lineair) (L PFBS)	ng/l	130	5800	46	6700	99
Perfluorpentaan-1-sulfonzuur (PFPeS)	ng/l	32	6900	53	7100	100
Perfluor-1-Hexansulfonzuur (Lineair) (L PFHxS)	ng/l	550	47000	330	49000	490
Perfluor-1-Heptaansulfonzuur (Lineair) (L PFHpS)	ng/l	51	3800	<40 ^{hb)}	3800	18
Perfluordecaansulfonzuur (L-PFDS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)	ng/l	<10	13	<10	11	<10
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2FTS)	ng/l	62	210	22	200	<10
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS)	ng/l	<10	83	14	160	<10
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2FTS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamide (N-MeFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (n-MeFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Ethylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (EtFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
8:2 Polyfluoroalkylfosfaat diester (8:2 diPAP)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaanzuur lineair (PFOA)	ng/l	49	4800	50	6800	56
Perfluoroctaanzuur vertakt (PFOA)	ng/l	43	950	44	1100	<10
Som Perfluoroctaanzuur (PFOA) (Factor 0,7)	ng/l	92,0	5750	94,0	7900	63,0 ^{#)}

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

Monsternr.	Monster beschrijving	Monstername	Monsternamepunt
804244	N25-1-1	16.11.2021	
804245	N26-2-1	16.11.2021	
804246	N26-3-1	16.11.2021	
804247	N27-2-1	16.11.2021	
804248	N27-3-1	16.11.2021	

Eenheid

804244
N25-1-1

804245
N26-2-1

804246
N26-3-1

804247
N27-2-1

804248
N27-3-1

Perfluorverbindingen

Perfluorbutaanzuur (PFBA)	ng/l	100	<10	<10	150	<10
Perfluorpentaanzuur (PFPeA)	ng/l	190	<10	<10	190	<10
Perfluorhexaanzuur (PFHxA)	ng/l	490	<10	<10	870	<10
Perfluorheptaanzuur (PFHpA)	ng/l	150	<10	<10	190	<10
Perfluornonaanzuur (PFNA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordecaanzuur (PFDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorundecaanzuur (PFUnDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordodecaanzuur (PFDaA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortridecaanzuur (PFTriDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluortetradecaanzuur (PFTeDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctadecaanzuur (PFODA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluor-1-Butaansulfonzuur (Lineair) (L PFBS)	ng/l	320	<10	<10	630	<10
Perfluorpentaan-1-sulfonzuur (PFPeS)	ng/l	390	<10	<10	920	<10
Perfluor-1-Hexaansulfonzuur (Lineair) (L PFHxS)	ng/l	3300	<10	<10	6200	<10
Perfluor-1-Heptaansulfonzuur (Lineair) (L PFHpS)	ng/l	200	<10	<10	460	<10
Perfluordecaansulfonzuur (L-PFDS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2FTS)	ng/l	66	<10	<10	<10	<10
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2FTS)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamide (N-MeFOSA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (n-MeFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
N-Ethylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (EtFOSAA)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
8:2 Polyfluoroalkylfosfaat diester (8:2 diPAP)	ng/l	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroctaanzuur lineair (PFOA)	ng/l	330	<10	<10	520	<10
Perfluoroctaanzuur vertakt (PFOA)	ng/l	58	<10	<10	93	<10
Som Perfluoroctaanzuur (PFOA) (Factor 0,7)	ng/l	388	14,0 ^{#)}	14,0 ^{#)}	613	14,0 ^{#)}

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

Monsternr.	Monster beschrijving	Monstername	Monsternamepunt
804249	N29-1-1	16.11.2021	
804250	N29-2-1	16.11.2021	

Eenheid

804249
N29-1-1

804250
N29-2-1

Perfluorverbindingen

Perfluorbutaanzuur (PFBA)	ng/l	<10	<10
Perfluorpentaanzuur (PFPeA)	ng/l	<10	<10
Perfluorhexaanzuur (PFHxA)	ng/l	<10	<10
Perfluorheptaanzuur (PFHpA)	ng/l	<10	<10
Perfluornonaanzuur (PFNA)	ng/l	<10	<10
Perfluordecaanzuur (PFDA)	ng/l	<10	<10
Perfluorundecaanzuur (PFUnDA)	ng/l	<10	<10
Perfluordodecaanzuur (PFDoA)	ng/l	<10	<10
Perfluortridecaanzuur (PFTriDA)	ng/l	<10	<10
Perfluortetradecaanzuur (PFTeDA)	ng/l	<10	<10
Perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA)	ng/l	<10	<10
Perfluoroctadecaanzuur (PFODA)	ng/l	<10	<10
Perfluor-1-Butaansulfonzuur (Lineair) (L PFBS)	ng/l	<10	<10
Perfluorpentaan-1-sulfonzuur (PFPeS)	ng/l	<10	<10
Perfluor-1-Hexansulfonzuur (Lineair) (L PFHxS)	ng/l	14	49
Perfluor-1-Heptaansulfonzuur (Lineair) (L PFHpS)	ng/l	<10	<10
Perfluordecaansulfonzuur (L-PFDS)	ng/l	<10	<10
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)	ng/l	<10	<10
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2FTS)	ng/l	<10	<10
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS)	ng/l	<10	<10
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2FTS)	ng/l	<10	<10
Perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	ng/l	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamide (N-MeFOSA)	ng/l	<10	<10
N-Methylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (n-MeFOSAA)	ng/l	<10	<10
N-Ethylperfluoroctaansulfonamideazijnzuur (EtFOSAA)	ng/l	<10	<10
8:2 Polyfluoroalkylfosfaat diester (8:2 diPAP)	ng/l	<10	<10
Perfluorooctaanzuur lineair (PFOA)	ng/l	<10	<10
Perfluorooctaanzuur vertakt (PFOA)	ng/l	<10	<10
Som Perfluorooctaanzuur (PFOA) (Factor 0,7)	ng/l	14,0 ^{#)}	14,0 ^{#)}

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

	Eenheid	804234 J2-2-1	804235 N04-1-3	804236 N04-2-3	804237 N20-4-2	804238 N22-1-1
Perfluorverbindingen						
Perfluorooctaansulfonzuur lineair (L PFOS)	ng/l	140000	76000	980	310	92
Perfluorooctaansulfonzuur (Vertakt) (B PFOS)	ng/l	95000	27000	1000	340	61
Som Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) (Factor 0,7)	ng/l	235000	103000	1980	650	153

Parameters uitgevoerd door AL-West BV zijn geaccrediteerd volgens EN ISO/IEC 17025:2017. Alleen niet-geaccrediteerde en/of uitbestede parameters zijn gemarkeerd met het symbool " *) " .

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

Blad 6 van 9



AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

	Eenheid	804239 N22-2-1	804240 N23-1-1	804241 N23-2-1	804242 N24-1-1	804243 N24-3-1
Perfluorverbindingen						
Perfluorooctaansulfonzuur lineair (L PFOS)	ng/l	460	93000	1100	140000	340
Perfluorooctaansulfonzuur (Vertakt) (B PFOS)	ng/l	220	51000	410	61000	140
Som Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) (Factor 0,7)	ng/l	680	144000	1510	201000	480

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

	Eenheid	804244 N25-1-1	804245 N26-2-1	804246 N26-3-1	804247 N27-2-1	804248 N27-3-1
Perfluorverbindingen						
Perfluorooctaansulfonzuur lineair (L PFOS)	ng/l	3900	38	<10	1400	30
Perfluorooctaansulfonzuur (Vertakt) (B PFOS)	ng/l	2100	19	<10	2700	11
Som Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) (Factor 0,7)	ng/l	6000	57,0	14,0 ^{#)}	4100	41,0

Parameters uitgevoerd door AL-West BV zijn geaccrediteerd volgens EN ISO/IEC 17025:2017. Alleen niet-geaccrediteerde en/of uitbestede parameters zijn gemarkeerd met het symbool " *) " .

Kamer van Koophandel
Nr. 08110898
VAT/BTW-ID-Nr.:
NL 811132559 B01

Directeur
ppa. Marc van Gelder
Dr. Paul Wimmer

Blad 8 van 9

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Opdracht 1101647 Water

	Eenheid	804249 N29-1-1	804250 N29-2-1
Perfluorverbindingen			
Perfluorooctaansulfonzuur lineair (L_PFOS)	ng/l	<10	100
Perfluorooctaansulfonzuur (Vertakt) (B_PFOS)	ng/l	<10	70
Som Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) (Factor 0,7)	ng/l	14,0 #)	170

#) Bij deze som zijn resultaten "<rapportagegrens" vermenigvuldigd met 0,7.

hb) De rapportagegrens moest verhoogd worden, vanwege een hoge concentratie van een of meerdere verbindingen waardoor een onverdunde meting niet mogelijk is.

Verklaring: "<" of n.a. betekent dat het gehalte van de component lager is dan de rapportagegrens.

De parameter-specifieke analytische meetonzekerheid en informatie over de berekeningsmethode zijn op aanvraag beschikbaar, indien de gerapporteerde resultaten boven de parameterspecifieke rapportagegrens liggen.

Begin van de analyses: 18.11.2021

Einde van de analyses: 25.11.2021

De resultaten hebben uitsluitend betrekking op de geanalyseerde monsters. In gevallen waarin het testlaboratorium niet verantwoordelijk was voor de bemonstering, gelden de gerapporteerde resultaten voor de monsters zoals zij zijn ontvangen.

AL-West B.V. Dhr. Rudie Leuverink, Tel. 31/570788112
Klantenservice

Toegepaste methoden

Eigen methode (analyse conform NEN-ISO 21675) : Perfluoropentaaan-1-sulfonzuur (PFPeS) 4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)
10:2 fluortelomeer sulfonzuur (10:2FTS)

NEN-ISO 21675 : Perfluorbutaanzuur (PFBA) Perfluoropentaaanzuur (PFPeA) Perfluorhexaanzuur (PFHxA)
Perfluorheptaanzuur (PFHpA) Perfluormonaanzuur (PFNA) Perfluordecaanzuur (PFDA)
Perfluorundecaanzuur (PFUnDA) Perfluordodecaanzuur (PFDoA) Perfluortridecaanzuur (PFTTrDA)
Perfluortetradecaanzuur (PFTTeDA) Perfluorhexadecaanzuur (PFHxDA) Perfluorooctadecaanzuur (PFODA)
Perfluor-1-Butaansulfonzuur (Lineair) (L_PFBS) Perfluor-1-Hexaansulfonzuur (Lineair) (L_PFHS)
Perfluor-1-Heptaansulfonzuur (Lineair) (L_PFHPS) Perfluordecaansulfonzuur (L-PFDS)
6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2FTS) 8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS) Perfluorooctaansulfonamide (PFOSA)
N-Methylperfluorooctaansulfonamide (N-MeFOSA) N-Methylperfluorooctaansulfon-amideazijnzuur (n-MeFOSAA)
N-Ethylperfluorooctaansulfon-amideazijnzuur (EtFOSAA) 8:2 Polyfluoroalkylfosfaat diester (8:2 diPAP)
Perfluorooctaanzuur lineair (PFOA) Perfluorooctaanzuur vertakt (PFOA) Som Perfluorooctaanzuur (PFOA) (Factor 0,7)
Perfluorooctaansulfonzuur lineair (L_PFOS) Perfluorooctaansulfonzuur (Vertakt) (B_PFOS)
Som Perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) (Factor 0,7)

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Projectnummer C05044.000284.0400
Projectnaam PFAS Soesterberg
AL-West Opdrachtnummer 1101647

Begin van de analyses: 18.11.2021
Einde van de analyses: 25.11.2021

Monstergegevens

Monsternr.	Barcode	Boornummer	Monstername	Aanlevering
804234	A00401316439		16.11.21	17.11.21
804235	A00401316457		16.11.21	17.11.21
804236	A00401316406		16.11.21	17.11.21
804237	A00401316451		16.11.21	17.11.21
804238	A00401316437		16.11.21	17.11.21
804239	A00401316467		16.11.21	17.11.21
804240	A00401316380		16.11.21	17.11.21
804241	A00401316379		16.11.21	17.11.21
804242	A00401316449		16.11.21	17.11.21
804243	A00401316469		16.11.21	17.11.21
804244	A00401316456		16.11.21	17.11.21
804245	A00401316436		16.11.21	17.11.21
804246	A00401316395		16.11.21	17.11.21
804247	A00401316413		16.11.21	17.11.21
804248	A00401316423		16.11.21	17.11.21
804249	A00401316411		16.11.21	17.11.21
804250	A00401316441		16.11.21	17.11.21

Bijlage D Globale ramingen van kosten (varianten)

Separaat van het rapport van het saneringsonderzoek aangeleverd

Colofon

SANERINGSONDERZOEK VML. BRANDWEERKAZERNE VliegBasis SOESTERBERG

KLANT

Provincie Utrecht en Rijksvastgoedbedrijf

AUTEUR

Hans Slenders

PROJECTNUMMER

C05044.000284.0400

ONZE REFERENTIE

D10049850:20

DATUM

11 april 2022

STATUS

Definitief

Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.arcadis-nederland.nl)



[arcadis_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.ArcadisNetherlands.nl)