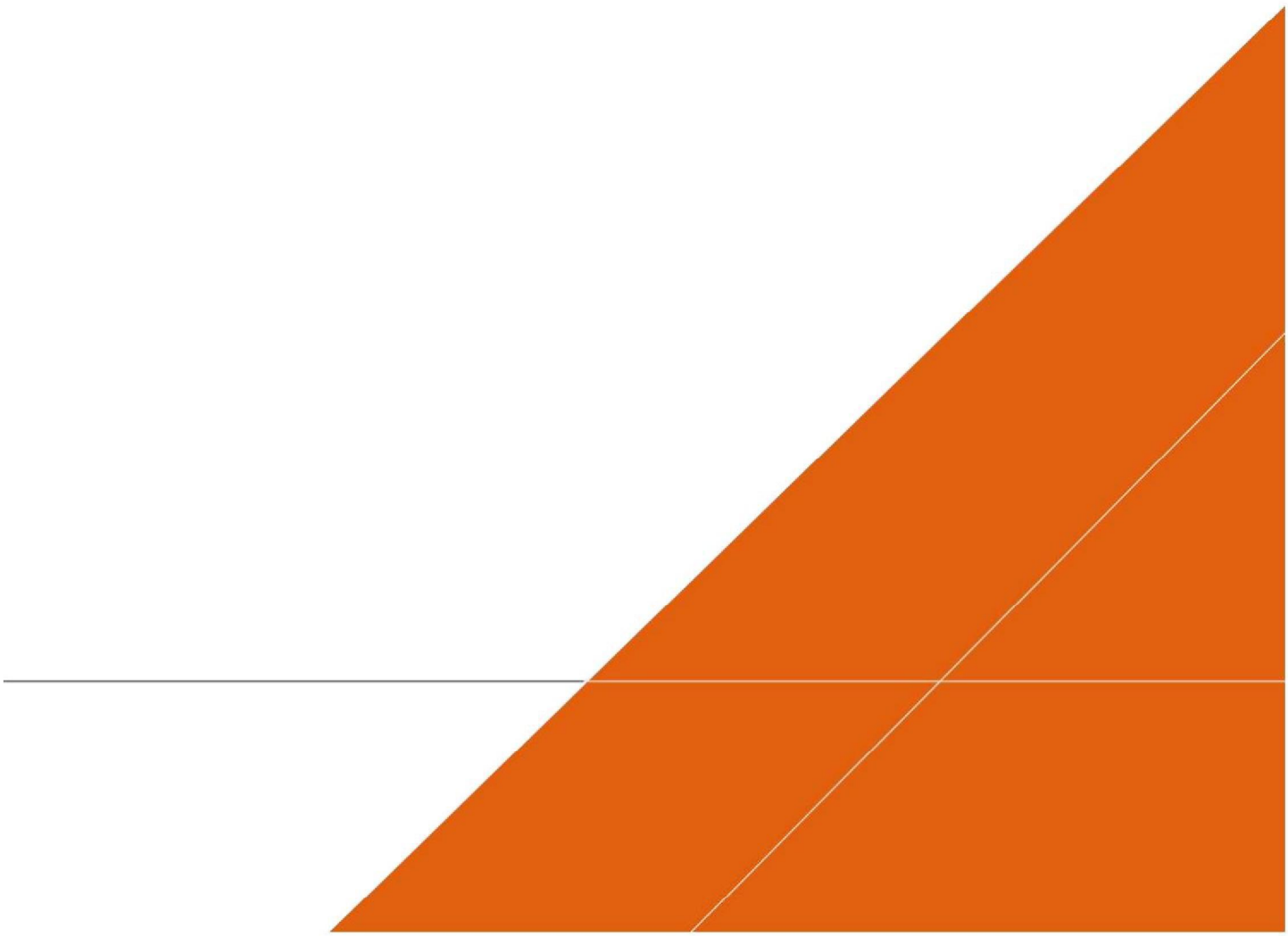
ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

BERGING PFAS HOUDENDE BAGGERSPECIE IN DE KALIWAAL

Advies belasting Bodem en Grondwater

23 NOVEMBER 2020



Contactpersoon

5.1.2e

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 4

2 EIGENSCHAPPEN PFAS IN GROND EN GRONDWATER 6

2.1 Uitgangspunten berekeningen Sweco 6

2.2 Toetsingswaarden PFAS 6

2.3 Adsorptie van PFAS aan de bodem 8

3 GRONDWATERSTROMING EN VERSPREIDINGSSCENARIOS 10

3.1 Hydrogeologie en bodemopbouw 10

3.2 Grondwaterstroming 12

3.3 Verspreiding PFOS en PFOA naar en in het grondwater 13

3.3.1 Keuze 2D modelgebied 13

3.3.2 Uitgangspunten en aannames berekeningen 14

3.3.3 Samenvatting resultaten scenarioberekeningen 15

3.4 Beschouwing resultaten scenarioberekeningen 18

4 INTEGRALE BESCHOUWING 20

4.1 Verwachte versus berekende concentraties 20

4.2 Toelaatbaarheid emissie 21

5 CONCLUSIES 23

5.1 Algemene conclusies 23

5.2 Antwoord onderzoeksvragen 23

6 REFERENTIES 25

Bijlage A. Scenarioberekeningen 26

COLOFON 32

1 INLEIDING

De Kaliwaal te Druten is een diepe plas die is ontstaan door zandwinning. Deze wordt sinds 2003 verondiept ten behoeve van natuurontwikkeling, door de berging van baggerspecie. De Kaliwaal is een inrichting conform BOR-bijlage I cat. 28.4, een baggerspeciedepot met Wabo-vergunning en Waterwetvergunning.

Met het oog op de bescherming van de kwaliteit van het grondwater zijn de voorschriften van de Wm-vergunning van toepassing, waarbij in de vergunning is vermeld dat de kwaliteit van de te bergen baggerspecie moet voldoen aan de acceptatiecriteria, die er onder meer op zijn gericht te voorkomen dat ongewenste beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit optreedt. Hierbij worden in de vergunning de volgende stoffen specifiek benoemd:

- Metalen;
- PAK (10);
- Minerale olie;
- PCB(7);
- Som pesticiden;
- Cyanide complexen;
- Chloride.

In de acceptatiecriteria van de Kaliwaal is opgenomen dat voor andere parameters mag worden uitgegaan van de interventiewaarde.

Sinds 8 juli 2019 is het Tijdelijk Handelingskader (THK) voor PFAS gepubliceerd. Sinds die tijd is het storten en verwerken van grond en/of bagger in oppervlaktewateren niet meer toegestaan, indien het gehalte PFAS boven de detectiegrens is. Nadien zijn wel hergebruikswaarden voor baggerspecie (in Rijkswateren) afgeleid, deze betreffen 3,7 µg/kg voor PFOS en 0,8 µg/kg voor PFOA.

Omdat PFAS nog niet zijn genormeerd (er zijn nog geen interventiewaarden opgenomen in de Circulaire Bodemsanering), dient Kaliwaal BV te beoordelen of de betreffende baggerspecie kan worden geaccepteerd. De vergunningverlener dient vervolgens aan te geven of zij mee kan gaan in deze beoordeling en of het verzoek tot aanvulling van de Wabo vergunning op deze parameters kan worden gehonoreerd.

In opdracht van Kaliwaal BV zijn twee evaluaties opgesteld door Sweco:

1. Uitloging van PFAS richting oppervlaktewater, door middel van een immissietoets (rapport Immissietoets PFAS Kaliwaal[1])
2. Uitloging van PFAS richting grondwater, door middel van een korte evaluatie (notitie PFAS in relatie tot grondwater[2])

Hierbij is geëvalueerd of gehalten PFAS tot onderstaande gehalten kunnen worden gestort in de Kaliwaal zonder ontoelaatbare belasting van het oppervlaktewater en/of het grondwater.

- 70 µg/kg PFOA
- 25 µg/kg overige PFAS

Aan Arcadis is gevraagd om een onafhankelijk advies uit te brengen over onderdeel 2. Wat zijn de mogelijke effecten van het storten van PFAS houdende baggerspecie op de kwaliteit van het grondwater en brengt dit mogelijk risico's met zich mee? Omdat de stofeigenschappen van PFAS niet eenduidig zijn, en omdat ook de exacte opbouw van bodem en wand van de baggerspecieberging niet helemaal uniform zijn, maken we in onze beschouwing gebruik van een aantal scenario's.

Onderzoeksvragen:

Uiteindelijk worden de volgende onderzoeksvragen geëvalueerd:

- In welke mate leidt de met PFAS belaste baggerspecie tot een belasting of verontreiniging van het grondwater, en is deze belasting toelaatbaar?

[1] Rapport Sweco: Nadere uitwerking Immissietoets PFAS Kaliwaal. Referentienummer: SWNL0256422a, d.s. 24-02-2020
[2] Notitie Sweco: Berging PFAS-houdende baggerspecie in de Kaliwaal in relatie tot het grondwater. Referentienummer SWNL0254125b, d.d. 14-02-2020.

- Kan het bergen van de baggerspecie mogelijk leiden tot risico's voor mens of milieu via de verspreidingsroute grondwater?
- Hoe verhoudt de bijdrage van de nieuw te bergen baggerspecie zich tot bestaande beïnvloeding door de Waal, of als gevolg van de al geborgen specie?

Leeswijzer

In onderhavig rapport worden de onderzoeksvragen aan het eind beantwoord. Of sprake is van ontoelaatbare verspreiding is afhankelijk van enerzijds de eigenschappen van de stofgroep PFAS, en anderzijds van de grondwaterbeweging onder en rondom de berging.

In hoofdstuk 2 gaan we daarom allereerst in op de sorptie eigenschappen van PFAS en wordt een overzicht van toetsingswaarden weergegeven waarmee de risico's voor mens en milieu inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Vervolgens is in hoofdstuk 3 een geohydrologische beschouwing uitgevoerd waarbij verschillende scenario's zijn doorgerekend voor de opbouw van de berging en het al aangebrachte materiaal en de daaruit resulterende grondwaterbeweging.

In hoofdstuk 4 wordt de informatie bij elkaar gebracht en wordt een integrale beschouwing uitgevoerd, waarbij ook andere aspecten kwalitatief worden meegewogen.

In hoofdstuk 5 wordt samen met de conclusies toegewerkt naar de beantwoording van de onderzoeksvragen.

2 EIGENSCHAPPEN PFAS IN GROND EN GRONDWATER

Een belangrijk uitgangspunt bij uitloogberekeningen is de mate waarin een verontreiniging adsorbeert aan de bodem. Zeer recent is door het RIVM[3] aangetoond dat voor PFAS de adsorptie aan bodem of sediment niet eenduidig is.

2.1 Uitgangspunten berekeningen Sweco

In de eerdergenoemde notitie van Sweco wordt een vergelijking gegeven van de adsorptieparameters van PFOS en PFOA met de parameters van andere verontreinigingen. Daarbij wordt geconcludeerd dat er van uit kan worden gegaan dat het bergen van PFAS-houdende baggerspecie geen extra risico's met zich meebrengt voor de kwaliteit van het grondwater omdat PFAS vergelijkbare adsorptieparameters hebben, vergeleken met andere vergunde stoffen (in dit geval de stoffen met lage Koc-waarden, zoals vluchtige aromaten) en dat deze vergunde stoffen hogere acceptatienormen hebben (zie tabel hieronder).

Tabel 1: Koc-waarden uit memo Sweco

Stof(groep)	logK_{oc}-waarde	acceptatienorm (mg/kg d.s.)
Tabel 1[3]		
PAK	3,3 – 6,7	50
Vluchtige aromaten	1,6 – 2,6	50
PCB (7)	4,9 – 6,5	2
Som pesticiden	2,5 [1)] – 5,8	3
PFAS[4]		
PFOS	2,6 – 4,2	0,025
PFOA	2,1 – 3,7	0,070

[1)] *betreft atrazine*

Deze vergelijking is kort en krachtig, maar een extra controle op de uitloging is wenselijk. Hierbij zijn een paar zaken van belang;

1. PFAS zijn toxischer en hebben hierdoor strengere toetsingswaarden in het milieu;
2. PFAS breken niet af, dit in tegenstelling tot de mobiele verbindingen in bovenstaande tabel;
3. In het MER is Trichloorbenzeen (TCB) als maatgevende stof voor verspreiding gehanteerd. Deze is hier niet opgenomen.

In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de toetsingswaarden voor PFAS en de adsorptie van PFAS aan de bodem.

2.2 Toetsingswaarden PFAS

PFAS staan de laatste jaren enorm in de belangstelling. Na de uitfasering van PFOS vanaf 2000 en PFOA in de periode 2010-2015 bleek dat deze verbindingen toxischer zijn dan op voorhand werd gedacht. Dit wordt geïllustreerd in de afname van de toetsingswaarden voor inname van PFOS en PFOA (de zogenaamde TDI; toelaatbare dagelijkse inname).

In Europa zijn in 2008 waarden van respectievelijk 150 en 1500 ng/kg lg/dag afgeleid voor PFOS en PFOA (ng per kg lichaamsgewicht per dag). In de jaren daarna zijn door verschillende instanties lagere toelaatbare waarden afgeleid. De laatste ontwikkeling is de wetenschappelijke opinie van de European Food and Safety Authority (EFSA), van 9 Juli 2020, waarin uiteindelijk de zeer strenge advieswaarde is afgeleid voor de maximaal toelaatbare inname van 0,63 ng/kg lg/dag voor de som van PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA[4] (tabel 2).

[3] RIVM briefrapport 2020-0102 Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger.
[4] EFSA, scientific Opinion July 9th 2020, Risk to human health ralted to the presence of perfluoroalkyl substances in food

Tabel 2: Toelaatbare dagelijkse innamewaarden voor PFOS en PFOA in verschillende landen, sinds 2008

Bron	TDI PFOS (ng/kg lg/dag)	TDI PFOA (ng/kg lg/dag)	Opmerkingen
EFSA, 2008	150	1500	
EPA, 2009	80	190	
Denemarken, 2015	30	100	
EPA, 2016 (RfD)	20	20	
Australië, 2017	20	160	
ATSDR 2018	2	3	
RIVM, 2016-2019 (tox. max. toegestaan risiconiveau)	6,25	12,5	De huidige toetsingswaarden voor PFOS en PFOA zijn gebaseerd op deze waarden
EFSA 2020		0,63	Som van PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA

De TDI's worden gebruikt bij de afleiding van de (humane) toetsingswaarden voor grond, grondwater en oppervlaktewater. Op dit moment wordt in Nederland nog gerekend met de TDI's van het RIVM van 6,25 ng/kg lg/dag voor PFOS en 12,5 voor PFOA voor de voorlopige indicatieve niveau's voor ernstig risico (INEVs) Op het moment dat de TDI's van de EFSA definitief worden gemaakt, wordt verwacht dat deze worden overgenomen in het Nederlandse beleid, en dat niet lang daarna de INEVs worden omgezet in Interventiewaarden, die een meer formele status hebben. Tijdens het opstellen van deze rapportage is het RIVM op verzoek van het Ministerie van I&W bezig met onderzoek naar de implicaties van de EFSA-opinie op de toetsingswaarden voor PFAS.

Toetsingswaarden PFAS in grond en grondwater

Toetsingswaarden vallen uiteen in enerzijds risicogrenswaarden waarmee risico's kunnen worden geëvalueerd, en anderzijds achtergrondwaarden, waarmee het hergebruik en toepassing van grond en baggerspecie kan worden beschouwd. In 2019 heeft het RIVM de huidige risicogrenswaarden voor PFAS afgeleid voor de verschillende functies die de bodem kan hebben (zoals, landbouw, natuur, wonen, industrie). Daarnaast is onderzoek uitgevoerd naar de achtergrondwaarden voor bodem en de her-verontreinigingsniveaus van waterbodem/bagger. Praktisch gesproken zijn dit de concentraties die in Nederland diffuus verspreid kunnen worden aangetroffen. Deze achtergrondwaarden en her-verontreinigingsniveaus zijn zeer recent in juli 2020 geactualiseerd. De meest belangrijke toetsingswaarden voor grond en baggerspecie zijn in onderstaande tabel opgesomd:

Tabel 3: Toetsingswaarden PFOS en PFOA voor grond

Toetsingswaarde	PFOS	PFOA
Her-verontreinigingsniveau in Rijkswateren voor grond en baggerspecie	3,7 µg/kg d.s.	0,8 µg/kg d.s.
Achtergrondwaarden in grond	1,4 µg/kg d.s.	1,9 µg/kg d.s.
Indicatief niveau voor ernstige verontreiniging	110 µg/kg d.s.	1100 µg/kg d.s.

Zoals gezegd is het indicatief niveau voor ernstige verontreiniging vastgelegd op het niveau van de interventiewaarde, en daarmee zou in het geval van de Kaliwaal het voorgenomen acceptatieniveau voor PFAS onder Interventiewaarde niveau liggen. (70 t.o.v. 1.100 µg/kg d.s. voor PFOA en 25 t.o.v. 110 µg/kg d.s. voor PFOS).

Voor grondwater zijn de volgende toetsingswaarden afgeleid:

Tabel 4: Toetsingswaarden PFOS en PFOA voor grondwater

Toetsingswaarde	PFOS	PFOA
Indicatief niveau voor ernstige verontreiniging (exclusief drinkwater)	56 µg/l	170 µg/l
Indicatief niveau voor ernstige verontreiniging (inclusief drinkwater)[5]	0,2 µg/l	0,39 µg/l

Zoals hierboven aangegeven is de verwachting dat (een deel van) de toetsingswaarden gaan dalen indien de nieuwe TDI's van de EFSA worden overgenomen. Vooruitlopen op de bevindingen van Het RIVM is niet mogelijk, omdat de EFSA opinie is gebaseerd op de som van 4 PFAS. Mogelijk zal de waarde voor PFOS in grond niet of nauwelijks veranderen omdat deze toetsingswaarde is gebaseerd op ecologische risico's, en niet op humane risico's. De relatief hoge toetsingswaarde voor PFOA kan mogelijk wel sterk dalen (met een factor 20 of meer)

De verandering kan ook invloed hebben op de toetsingswaarden voor grondwater. De toetsingswaarden voor grondwater zijn gebaseerd op humane risico's en omdat de toelaatbare innamen met een factor 10 tot meer dan 20 afnemen voor respectievelijk PFOS en PFOA, kunnen ook de toetsingswaarden met meer dan die factoren gaan afnemen. Een en ander afhankelijk van de conclusie van RIVM en op welke wijze wordt omgegaan met combinatie toxicologie.

2.3 Adsorptie van PFAS aan de bodem

Zoals in paragraaf 2.1 aangegeven, is de mate van adsorptie aan de bodem één van de bepalende kenmerken voor het evalueren van de mobiliteit van een verbinding in het milieu. Dat is ook de reden waarom door Sweco de adsorptieparameters van verschillende verbindingen vergeleken zijn. De mate van adsorptie van een verbinding in het milieu wordt geëvalueerd aan de hand van de Kd waarde; de verdelingscoëfficiënt van de concentratie in de grond en opzichte van de concentratie in het water. Deze verdelingscoëfficiënt kan voor organische verontreinigingen berekend worden aan de hand van de Koc. Dit is een getal dat aangeeft in welke mate de stof zich verdeelt over organisch koolstof (oc) en water. Hoe meer organische stof, hoe meer er aan de bodem adsorbeert. Voor een uiteindelijke inschatting van de mobiliteit van de stof is niet alleen de Koc van belang, maar dus ook de hoeveelheid organische (kool)stof.

Zoals ook al door Sweco aangegeven is de adsorptie van PFOS en PFOA aan de bodem niet eenduidig. In de literatuur worden ruime ranges gerapporteerd, zoals log Koc = 2,4-3,7 voor PFOS en 1,9-2,6 voor PFOA (Expertisecentrum PFAS, 2018; ITRC, 2020). Omdat deze getallen weer worden gegeven op een logschaal zit hier een variatie in een factor 20 voor PFOS en een factor 5 voor PFOA.

Voor PFAS speelt ook mee dat gebleken is dat de adsorptie aan de bodem niet zo eenduidig gecorreleerd is met organische stof als andere organische verbindingen (Li et al., 2018). Ook de pH, en hoeveelheid klei zijn van belang (Li et al., 2018, Higgins et al., 2006). Bij hoge gehalten organische stof is er wel een relatie zichtbaar, bij lagere gehalten organische stof is de relatie minder eenduidig. Daar komt bovenop dat onder laboratoriumomstandigheden een redelijke relatie wordt gevonden, maar wanneer er ook velddata in ogenschouw worden genomen is de correlatie laag (Li et al., 2018). Deze bevindingen worden bevestigd

[5] Dit betreft een waarde op interventiewaardeniveau (voor grondwater) op basis van de inname van grondwater als drinkwater, 2 liter water per dag. Deze waarde is circa een factor 5 hoger dan de drinkwatertoetsingswaarde, omdat bij de drinkwatertoetsingswaarde is gerekend met een allocatie van de TDI van 20% in plaats van 100%. Hierdoor mag er in drinkwater 5 x minder verontreiniging zitten dan in grondwater wat mogelijk (op termijn) voor drinkwater gebruikt zou kunnen worden.

door een recent onderzoek van het RIVM (Wintersen, 2020), waarbij gekeken is naar de verdeling van PFAS over grond en water bij schudtesten van veldmonsters met water.

Over het algemeen kan met betrekking tot adsorptie van PFAS aan de bodem en sediment geconcludeerd worden dat:

- Het sorptiegedrag van PFOS en PFOA niet eenduidig is, en dat ze mogelijk relatief mobiel zijn in het milieu in vergelijking met andere (persistente) organische verbindingen;
- PFOA mobieler is dan PFOS;
- Adsorptie van PFAS niet alleen afhankelijk is van het gehalte organische stof;

In het volgende hoofdstuk worden scenario berekeningen uitgevoerd voor de verspreiding van PFAS als gevolg van de grondwaterbeweging door baggerspecie, afsluitende laag en ondergrond. Voor deze berekeningen is uitgegaan van verschillende uitgangswaarden voor de adsorptie.

- Lage adsorptie, en daardoor hoge mobiliteit: Lage Koc-waarden, welke de lage waarden zijn uit de range die aangegeven is door het expertisecentrum en ITRC (log Koc = 2,4 voor PFOS en 1,9 voor PFOA).
- Hoge adsorptie, en daardoor lagere mobiliteit: Kd-waarden uit het onderzoek van Wintersen et al., 2020, waarbij gekeken is naar de adsorptie van PFOS en PFOA aan bagger. Dit betreft een geschatte Kd-waarde van 200 l/kg voor PFOS (o.b.v. figuur 4.2a, Wintersen et al.) en 20 l/kg voor PFOA (o.b.v. figuur 4.2b). Bij de inschatting van de Kd-waarde voor PFOS is uitgegaan van circa 10% organische stof. De Kd-waarde voor PFOA lijkt vrijwel niet afhankelijk te zijn van het gehalte organische stof

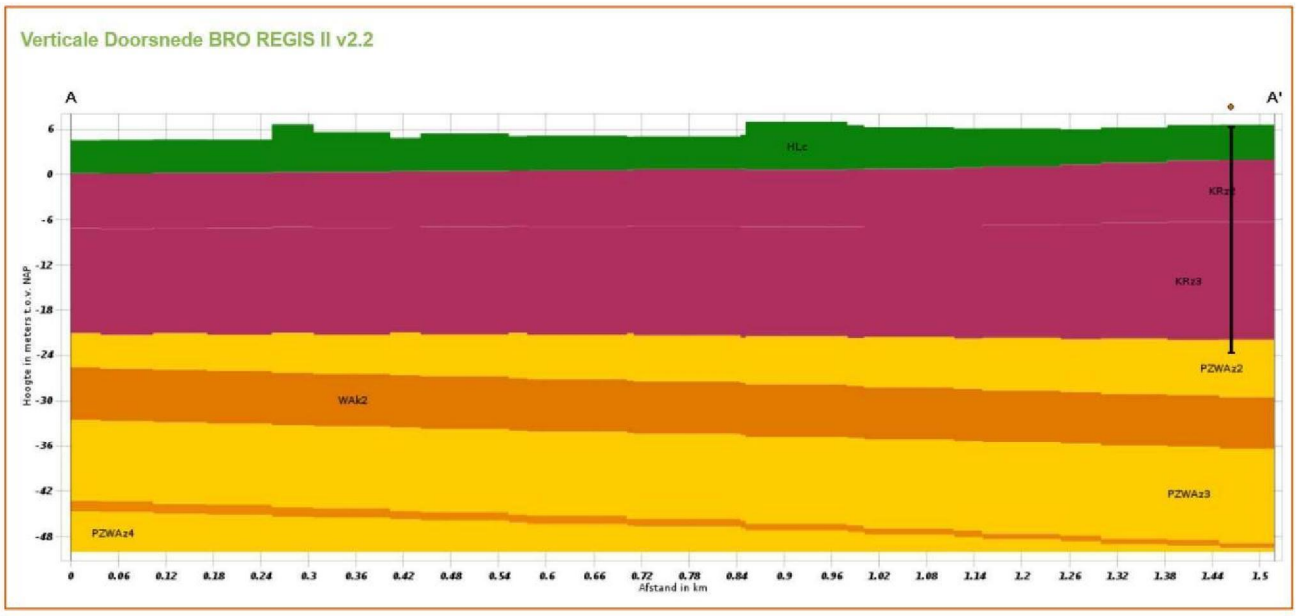
3 GRONDWATERSTROMING EN VERSPREIDINGSSCENARIOS

De verspreiding van PFAS naar de ondergrond is afhankelijk van de grondwaterbeweging en de variatie in bodemparameters. De bodemparameters zijn bepalend voor de snelheid van de grondwaterstroming en de relatieve snelheid van de verontreinigende stoffen ten opzichte van de grondwaterstroming. Omdat niet alle bodemparameters bekend zijn, wordt in dit hoofdstuk gewerkt met scenario's, waarbij de bodemparameters worden gevarieerd, zodat een zo goed mogelijk beeld ontstaat van de mogelijke omvang van de verspreiding.

3.1 Hydrogeologie en bodemopbouw

De geohydrologische situatie van de Kaliwaal is beschreven in de MER (Grontmij Techniek & Advies B.V., 1996) en de aanvulling daarop (Grontmij Gelderland, 1998). Het begrip van de geohydrologische setting is sinds de jaren '90 van de vorige eeuw niet wezenlijk veranderd. Wel wordt momenteel een nieuwe indeling in hydro geologische eenheden (litho-stratigrafie) en nomenclatuur gebruikt [6]. In Figuur 1, Figuur 2 en Figuur 3 zijn drie doorsneden van ongeveer de bovenste 50 m en 15 m van de ondergrond weergegeven. De doorsnede loopt 1500 m vanuit het depot (A) in zuidwestelijke richting naar Leeuwen (A').

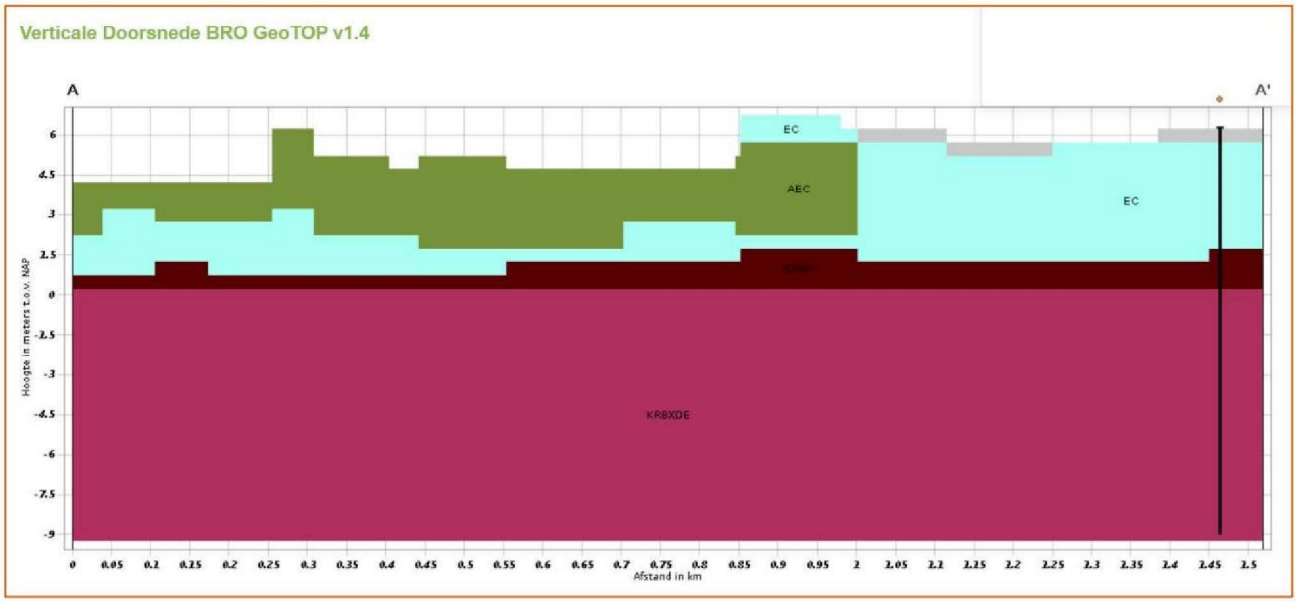
Figuur 1 laat zien dat de Holocene deklaag vanaf maaiveld tot circa NAP +0 m voorkomt. Onder de deklaag bevindt zich het eerste watervoerend pakket, bestaande uit zanden van de formaties van Kreftenheye, Waalre en Peize. Vanaf circa NAP -26 à -30 m komt een dikke (>5 m) kleiige eenheid van de Formatie van Waalre voor. In het MER wordt opgemerkt dat ter plaatse van de Kaliwaal geen afsluitende lagen zijn aangetroffen op deze diepte. In het huidige begrip van de geohydrologie van het Rivierengebied bestaat deze eenheid uit een onregelmatige afwisseling van slecht of meer of minder goed doorlatende lagen. Bij een schematisering voor het modelleren van de grondwaterstroming fungeert de eenheid als een slecht-doorlatende laag die het eerste watervoerend pakket scheidt van de onderliggende watervoerende pakketten. Voor de huidige studie zijn daarom voornamelijk het eerste watervoerend pakket en de deklaag van belang.



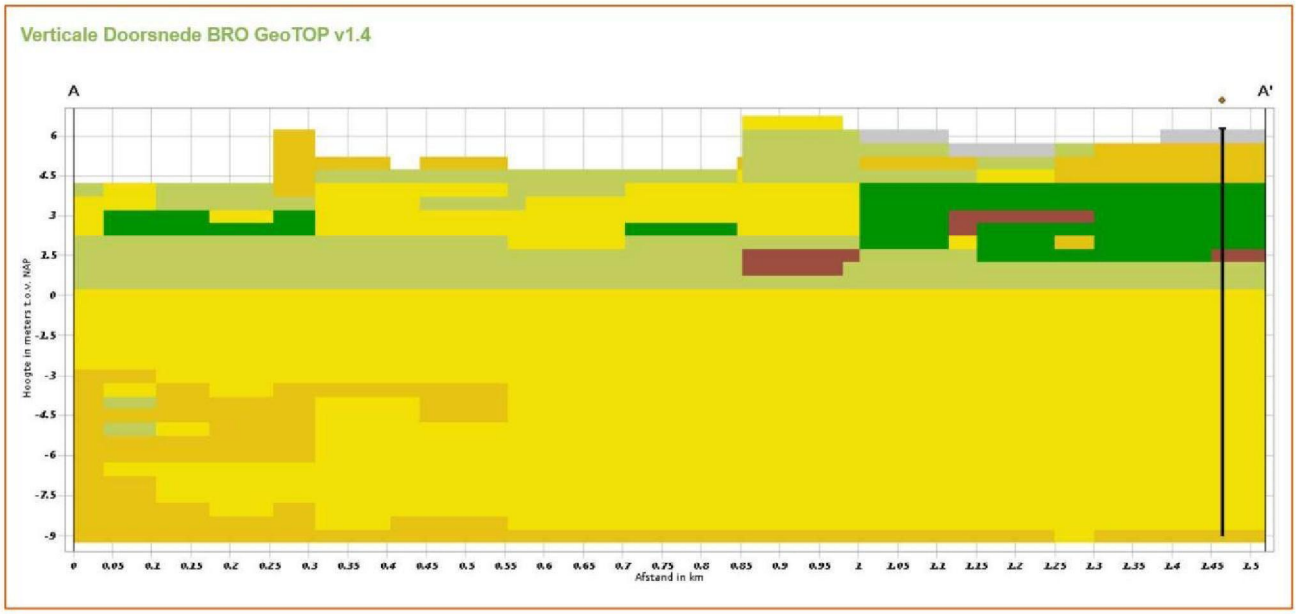
Figuur 1: REGIS doorsnede. HLc = Holoceen Complex; KRz2 en 3 = tweede en derde zandige eenheid van de Formatie van Kreftenheye; PZWAz2, 3 en 4: tweede, derde en vierde zandige eenheden van de Formatie van Peize en Waalre; WAk2 = tweede kleiige eenheid van de Formatie van Waalre. Tussen PZWAz3 en PZWAz4 komt nog een dunne derde kleiige eenheid van de Formatie van Waalre voor.

[6] Deze is weergegeven in het regionaal geohydrologisch informatiesysteem (BRO REGIS II V2.2) en het ondergrondmodel van de bovenste 50 meter BRO GeoTOP v1.4, beiden te raadplegen via DINOloket https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen

Figuur 2 en Figuur 3 geven meer details van de vermoedelijke opbouw van de deklaag. De deklaag omvat voornamelijk (kom)klei en zandige geulafzettingen van de Formatie van Echteld. Ook kunnen enkele veenlaagjes voorkomen in deze afzettingen, maar de kans hierop is gering. Aan de onderzijde van de deklaag bevindt zich de Laag van Wijchen, een kleiige zandlaag die behoort tot de Formatie van Kreftenheye.



Figuur 2: Geologische eenheden op basis van GeoTOP. EC = Formatie van Echteld; AEC = Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie A); KRWY = Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen; KRBXDE = Formatie van Kreftenheye en Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen.





Figuur 3: Meest waarschijnlijke lithoklassen op basis van GeoTOP.

De doorlaatfactor voor het eerste watervoerend pakket wordt in REGIS ter plaatse van boring B39G0019 (punt A' in de doorsneden, zie ook Figuur 4) geschat op 25 tot 50 m/dag. Zoals Figuur 3 laat zien, wordt op basis van GeoTOP en REGIS in de wijdere omgeving en ter plaatse van de Kaliwaal meer grof zand verwacht. REGIS schat daarom de doorlaatfactor van het eerste watervoerend pakket in de omgeving van de Kaliwaal op 50 tot 100 m/dag. De kD-waarde van het eerste watervoerend pakket ligt tussen 1.300 tot 2.600 m^2/dag. In de MER is uitgegaan van een doorlaatfactor van 50 m/dag en een kD-waarde van 2.500 m^2/dag.

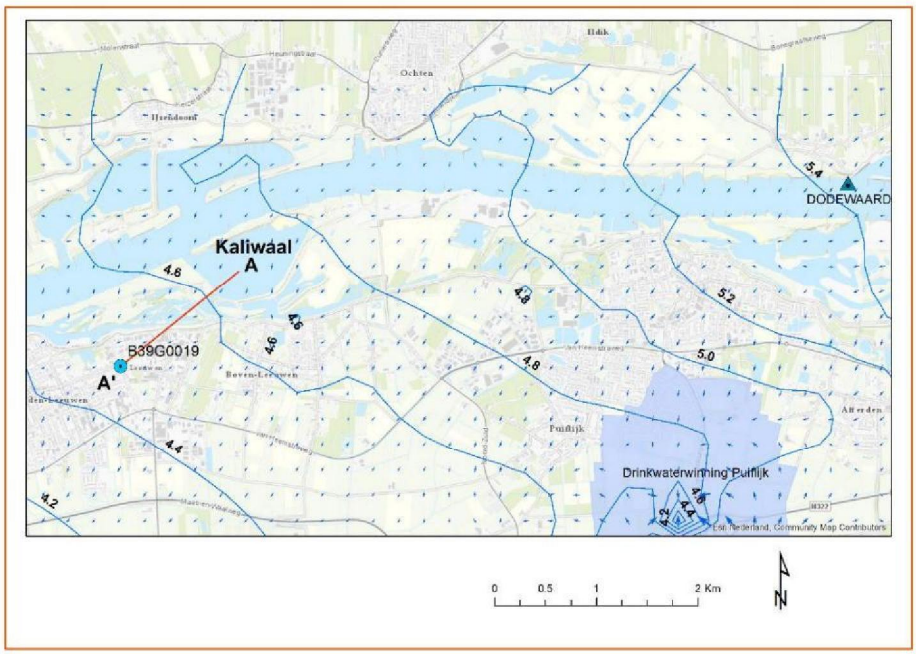
3.2 Grondwaterstroming

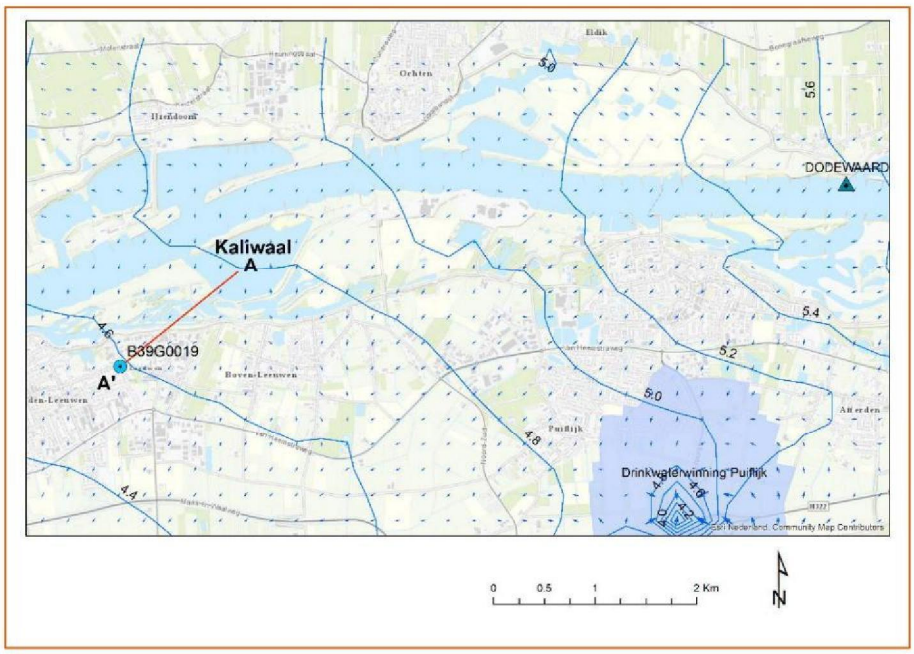
De grondwaterstroming in en rondom de berging bepaalt in hoge mate de verspreidingsrichting en snelheid van verontreinigende stoffen in de baggerspecie. In het MER is al vastgesteld dat het poriewater in de baggerspecie zich gemiddeld gesproken verplaatst naar het omringende of onderliggende grondwater.

De Waal ter hoogte van meetstation Dodewaard (zie Figuur 4) had tussen 1999 en 2020 een gemiddelde waterhoogte van NAP +5,59 m. Ter hoogte van Tiel is de gemiddelde waterhoogte NAP +4,36 m. Ter hoogte van de Kaliwaal is de (gewogen) gemiddelde waterhoogte ca. NAP +4,9 m.

De rivier infiltreert. Dat wil zeggen dat het grondwater van de rivier af stroomt. In Figuur 4 zijn de stijghoogten voor een voor- en najaar-situatie weergegeven. In beide gevallen stroomt het water van de Kaliwaal naar het zuidwesten, landinwaarts.

De absolute waarde van de isohypsen in Figuur 4 is indicatief. Voor een meer exacte indicatie van het verhang van het grondwater kan naar peilbuis B39G0019 worden gekeken. De mediaan van de stijghoogten tussen 2012 en 2020 is NAP +4,26 m. De waterstand in de Kaliwaal is ongeveer gelijk aan die van de Waal ter hoogte van de invaaropening. Ook na voltooiing van de verondieping en afwerking van de plas, zal er water boven het stortlichaam blijven staan met een hoogte van circa NAP +4,9 m. Er blijft daarom een infiltratiedruk bestaan en een grondwaterstroming naar het zuidwesten.





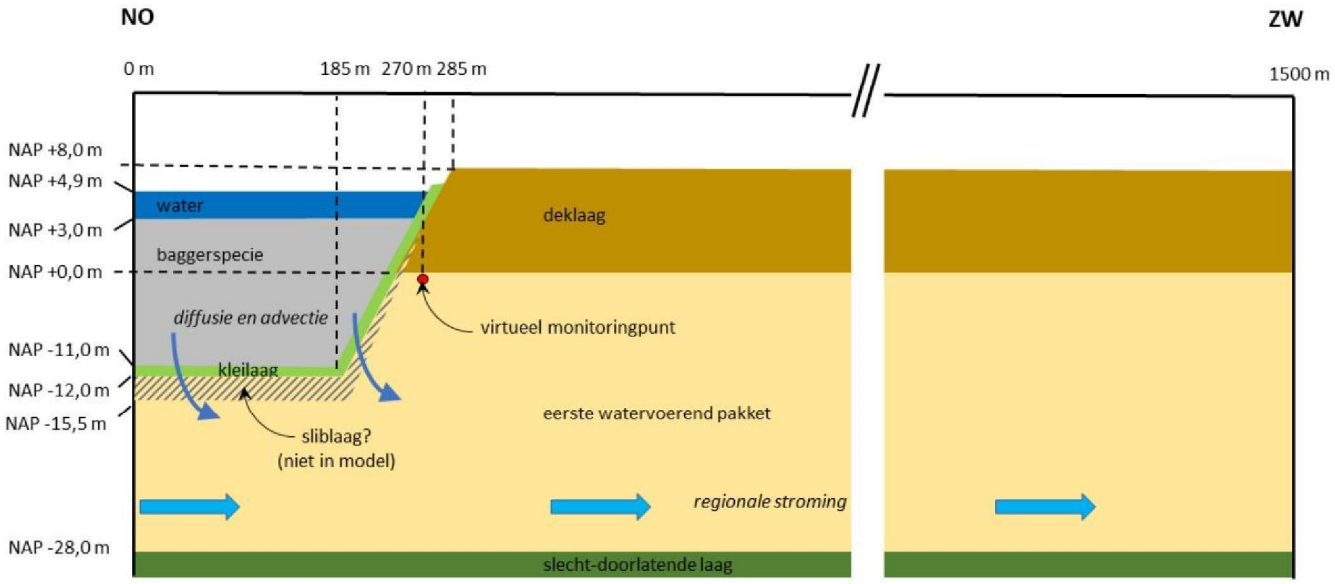
Figuur 4: Stijghoogten in het eerste watervoerend pakket in het voorjaar (boven) en najaar (onder). De pijlen geven de grondwaterstromingsrichting aan. Het blauwe gebied bij Puiflijk is het grondwaterbeschermingsgebied rond de grondwaterwinning. De rode lijn is de locatie van doorsnede A-A' in de voorgaande figuren.

3.3 Verspreiding PFOS en PFOA naar en in het grondwater

PFOS en PFOA gedragen zich anders dan de verontreinigende stoffen die model hebben gestaan in het MER. In vergelijking met TriChloorBenzeen (TCB) breken ze bijvoorbeeld in het bodem-watersysteem in het geheel niet af, en is de mate van sorptie onderhevig aan veel meer variabelen dan alleen organische stof. Daarnaast ontbreken van de Kaliwaal specifieke meetgegevens van deze verontreinigingen. Een beschouwing van de mogelijk toekomstige verspreiding kan dan alleen gebeuren aan de hand van verschillende scenario's, een gevoeligheidsanalyse, waarbij een range van invoerparameters voor een model wordt gehanteerd. Hieronder lichten we de opbouw van het model en de keuze van de invoerparameters toe.

3.3.1 Keuze 2D modelgebied

Om de potentiële verspreiding van PFOS en PFAS naar het grondwater in te schatten, is een 2D grondwaterstromings- en transportmodel opgezet. Het model is een dwarsdoorsnede over een deel van de Kaliwaal en de bodem stroomafwaarts. Het omvat de rode lijn in Figuur 4 (1500 m) tot een diepte van NAP -28 m (tot de eerste scheidende laag). Het model is opgebouwd uit cellen van 2 m breed en 1 m (tot NAP -12 m) tot 2 m (dieper dan NAP -12 m) hoog. In figuur 5 is de dwarsdoorsnede conceptueel weergegeven (de sliblaag onder de kleilaag is echter niet opgenomen het model, omdat daarvan te weinig betrouwbare data voorhanden zijn).



Figuur 5 Conceptueel model doorsnede speciedepot

3.3.2 Uitgangspunten en aannames berekeningen

- De insteek van het depot aan het wateroppervlak is ca. 285 m van de noordoostelijke modelrand. De grootste diepte van het depot is gemodelleerd op NAP -12 m. Een 1:5 talud is aangenomen.
- Er is voor de berekeningen uitgegaan van een volledig gevuld depot (tot NAP +3,0 m), met PFOA en PFOS-concentraties van de voorgestelde acceptatienormen (70 en 25 µg/kg d.s.). Boven op het depot staat een waterlaag met een constante hoogte van NAP +4,9 m. De leeflaag die op de baggerspecie aangebracht zal worden is niet afzonderlijk in het model opgenomen.
- Op het talud en de bodem van het depot is een kleilaag gemodelleerd van 1 m dik. De natuurlijk afgezette, oorspronkelijke sliblaag, die aanwezig was voor aanleg van de kleilaag is niet meegenomen.
- De horizontale doorlaatfactor voor het watervoerend pakket is het gemiddelde van de range die in REGIS wordt opgegeven (tabel 5). De doorlaatfactor voor de deklaag is en representatieve waarde voor kleiig zand. Voor de doorlaatfactor van de afdichtende kleilaag is een typische waarde voor klei genomen.
- De doorlaatfactor van de baggerspecie in het depot is een onzekere factor. Deze hangt af van de samenstelling van de baggerspecie en de tijdsduur. Direct na het storten kan de doorlaatfactor vrij hoog zijn. Door consolidatie nemen de porositeit en doorlaatfactor af. Het Advies en Kenniscentrum Waterbodems (2005) vermeldt in een literatuurstudie de in modelleringen gehanteerde waarden voor 23 depots in Nederland die variëren tussen 5.10-5 tot 7,6.10-2 m/dag. De meeste van deze waarden zijn geschat of gebaseerd op literatuurwaarden. Om deze reden hebben wij twee doorlaatfactoren gehanteerd die vergelijkbaar zijn met de uitersten van de genoemde range (tabel 5).
- Voor de bulkdichtheid en porositeit van het watervoerend pakket en de deklaag is uitgegaan van de eigenschappen van zand. Voor de porositeit en bulkdichtheid van de afdichtende kleilaag en de baggerspecie zijn de waarden van (kom)klei uit het Rivierengebied gebruikt.
- De organische stofgehalten (o.s.) van het watervoerend pakket en de deklaag zijn een schatting. Die van de afdichtende kleilaag is het minimum dat in de Wm-vergunning voor deze laag vereist is. Het organische stofgehalte van de baggerspecie is niet bekend. In de literatuur (Advies en Kenniscentrum Waterbodems - Waterbodems Advies- en Uitvoering, 2005) worden waarden tussen 1,6 en 15% aangehouden (meestal schattingen). In deze studie zijn twee waarden (2 en 10%) gehanteerd voor de bepaling van de Kd-waarden van de baggerspecie.

Tabel 5: Eigenschappen en transportparameters modellagen

Laag	k_hor. [m/dag]	k_ver. [m/dag]	Bulkdichtheid [kg/L]	Porositeit [-]	O.s. gehalte [%]
Deklaag	0,1	0,01	1.67	0.3	2
Watervoerend pakket	50	25	1.67	0.37	2
Baggerspecie	0,1 of 0,0001	0,01 of 0,0001	1.19	0.5	2 of 10
Afdichtende laag	0,01	0,001	1.19	0.5	5

- Het overwegende transportmechanisme in het depot zal diffusie zijn. Een diffusie-coëfficiënt van $3,5^{e-5}$ m^2/dag is gehanteerd. Volgens Pereira et al (2014) zijn de diffusiecoëfficiënten van PFOA en PFOS in water resp. $0,31.10^{-9}$ en $0,32.10^{-9}$ m^2/sec bij 11 °C en $0,49.10^{-9}$ en $0,47.10^{-9}$ bij 26 °C. Hier is het gemiddelde van deze waarden aangehouden voor zowel PFOS als PFOA, en omgerekend naar een waarde per dag.
- Ieder numeriek model kent een zekere numerieke dispersie. Omdat in dit geval wordt gekeken naar welke concentraties in het watervoerend pakket op de grens van het depot kunnen voorkomen, is de verspreidingsafstand klein. De dispersielengte in het watervoerend pakket is aldus ook gering en zal de numerieke dispersie niet overtreffen. Om deze reden is geen dispersielengte ingevoerd.
- De Koc-waarden zijn waarden die de adsorptie van de verontreiniging aan de organische stof matrix weergeven. Voor de Koc-waarden zijn twee verschillende waarden doorgerekend (zie ook afsluiting hoofdstuk 2):
  - Lage adsorptie, en daardoor hoge mobiliteit: Lage Koc-waarden, welke de lage waarden zijn uit de range die aangegeven is door het expertisecentrum en ITRC (log Koc = 2,4 voor PFOS en 1,9 voor PFOA). Deze zijn doorgerekend bij twee verschillende gehalten organische stof (2% en 10%)
  - Hoge adsorptie, en daardoor lagere mobiliteit: Adsorptiewaarden uit het onderzoek van Wintersen et al., 2020, waarbij gekeken is naar de adsorptie van PFOS en PFOA aan bagger. Dit betreft een geschatte Kd-waarde van respectievelijk 200 en 20 L/kg.

3.3.3 Samenvatting resultaten scenarioberekeningen

In totaal zijn 6 scenario's doorgerekend. 3 scenario's voor PFOA met hoge en lage aannames voor organische stofgehalte en sorptiecontstanten, en 3 voor PFOS. Elk scenario heeft vervolgens nog twee subscenario's a en b, voor een hoge en lage doorlatendheid van de baggerspecie. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage A. In tabel 7 zijn voor de volledigheid de gebruikte Kd waarden van de verschillende scenario's opgenomen.

Tabel 6: Overzicht gehanteerde Kd waarden

SCENARIO	Stof	WVP	BAGGER	KLEI	DEKLAAG	Koc en o.m. BAGGER
1a; 1b	PFOA	0.9	0.9	2.25	0.9	1.89, met 2% o.s.
2a; 2b	PFOA	0.9	4.5	2.25	0.9	1.89, met 10% o.s.
3a; 3b	PFOA	0.9	20	2.25	0.9	Kd uit Wintersen (2020)
4a; 4b	PFOS	2.91	2.91	7.29	2.91	2.4, met 2% o.s.
5a; 5b	PFOS	2.91	14.6	7.29	2.91	2.4, met 10% o.s.
6a; 6b	PFOS	2.91	200	7.29	2.91	Kd uit Wintersen (2020)

Hierna worden achtereenvolgens gepresenteerd:

- De maximale concentraties buiten de baggerspeciestort;
- Twee voorbeelden van gemiddeld scenario's;
- De verspreiding na 10.000 jaar (toets criterium Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie 1993).

Maximale concentraties scenario's

In Tabel 7 zijn de voornaamste resultaten samengevat. Het punt met de hoogste concentraties is gekozen 20 m buiten de stort (het virtuele monitoringspunt in Figuur 5). De berekende concentraties op dit punt zijn weergegeven in Tabel 7

Tabel 7: Overzicht Modelscenarios en resultaten hoogste concentraties

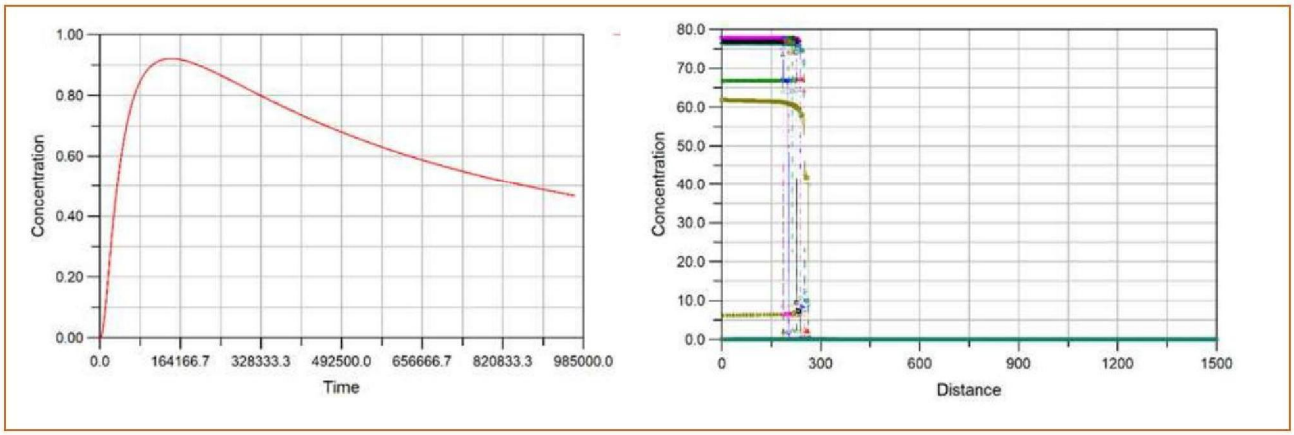
Scenario	Baggerspecie		Hoogste conc.	Tijd tot bereiken hoogste conc.	Verspreiding op dat tijdstip
1a	Lage Kd 2% o.s.	k_hor 0,1 k_vert 0,01	PFOA: 10,9 µg/l	PFOA: 73 jaar	PFOA: >500 meter
4a			PFOS: 1,1 µg/l	PFOS: 205 jaar	PFOS: >500 meter
1b	Lage Kd 2% o.s.	k_hor 0,0001 k_vert 0,0001	PFOA: 0,92 µg/l	PFOA 397 jaar	PFOA: >500 meter
4b			PFOS: 0,09 µg/l	PFOS: 1118 jaar	PFOS: >600 meter
2a	Lage Kd 10% o.s.	k_hor 0,1 k_vert 0,01	PFOA: 3,5 µg/l	PFOA: 115 jaar	PFOA: >700 meter
5a			PFOS: 0,39 µg/l	PFOS: 334 jaar	PFOS: >700 meter
2b	Lage Kd 10% o.s.	k_hor 0,0001 k_vert 0,0001	PFOA: 0,3 µg/l	PFOA: 483 jaar	PFOA: >1200 meter
5b			PFOS: 0,03 µg/l	PFOS: 695 jaar	PFOS: >600 meter
3a	Hoge Kd 10% o.s.	k_hor 0,1 k_vert 0,01	PFOA: 1,1 µg/l	PFOA: 174 jaar	PFOA: >1000 meter
6a			PFOS: 0,04 µg/l	PFOS: 695 jaar	PFOS: >1200 meter
3b	Hoge Kd 10% o.s.	k_hor 0,0001 k_vert 0,0001	PFOA: 0,1 µg/l	PFOA: 703 jaar	PFOA: >1200 meter
6b			PFOS: 0,004 µg/l	PFOS: 2778 jaar	PFOS: >1500 meter

Voorbeelden gemiddeld scenario

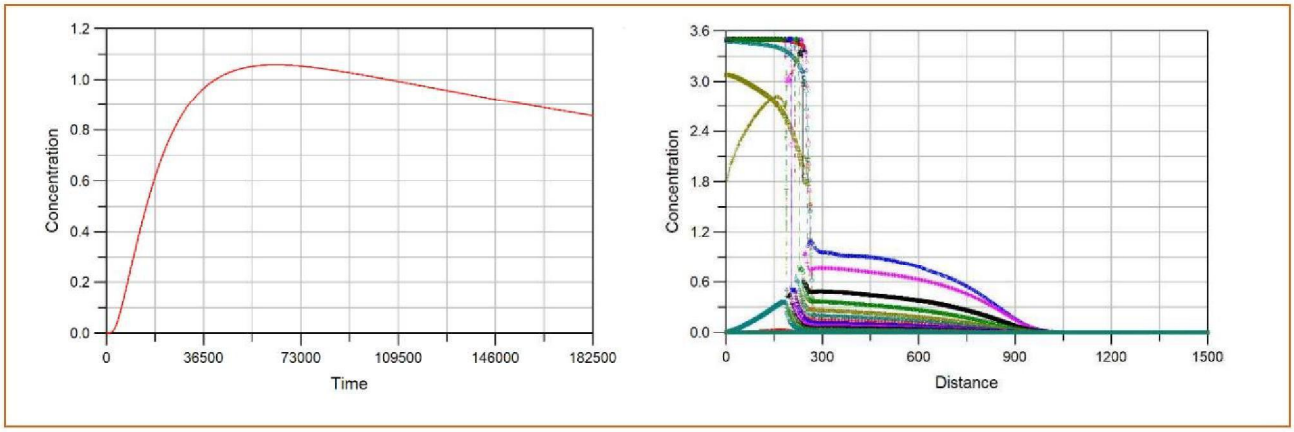
Voor ieder scenario zijn in bijlage A de modelresultaten weergeven in twee grafieken. Op deze plaats illustreren we de uitkomsten niet met de extremen, maar met twee scenario's voor PFOA (maatgevend) die een gemiddelde waarde geven voor de hoogste concentraties buiten de stort. Dit zijn een scenario met een lage Kd en lage doorlatendheid (1b), en een scenario met een hoge Kd en hoge doorlatendheid. De resultaten worden geïllustreerd door middel van:

- Een doorbraakcurve op het eerdergenoemde punt net buiten de stort, in het watervoerend pakket direct onder de deklaag. Dit punt ligt op de afstand-as op 270 m en op een diepte van NAP +0 tot -1 m (tot 1 m onder de deklaag). Het punt ligt op 20 m benedenstrooms van de wand van de stort. Op dit punt worden de hoogste concentraties in het watervoerend pakket berekend. De hoogste concentratie en het moment wanneer deze optreedt zijn ook gerapporteerd;
- Een grafiek met concentratieverdelingen vanaf het midden van de stort (links) tot ongeveer de locatie van peilbuis B19H0019 (rechts) voor het moment dat de hoogste concentratie in het watervoerend pakket optreedt. Iedere lijn representeert de concentratieverdeling op een bepaalde diepte ter hoogte van de stort en daaronder. Het verticale deel van de grafieklijnen is de overgang van stort (hoge concentraties) naar het watervoerend pakket (relatief lage concentraties). Deze lijnen

liggen horizontaal van elkaar gescheiden, omdat de rand van de stort voor iedere diepte op een andere horizontale afstand voorkomt.



Figuur 6 Doorbraakcurve (links) en concentratieverdeling (rechts) voor scenario 1b (PFOA, lage sorptie en lage doorlatendheid).



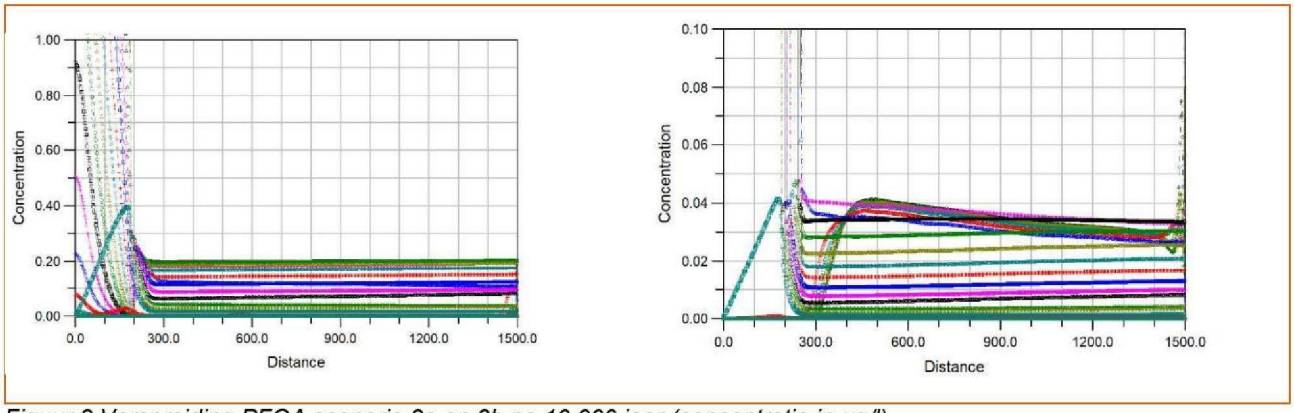
Figuur 7 Doorbraakcurve (links) en concentratieverdeling (rechts) voor scenario 3a (PFOA, sterke sorptie en hoge doorlatendheid).

In de rechterfiguur wordt duidelijk geïllustreerd dat na het verlaten van het baggerspeciedepot vrij snel verdunning optreedt in het watervoerende pakket. De zeer trage grondwaterstroming door de afsluitende lagen mengt daar met de sterke grondwaterstroming in het watervoerend pakket. Alhoewel niet zichtbaar in figuur 6 is de verdunning niet zodanig dat PFOA niet meer waarneembaar is. Er is wel sprake van verspreiding.

Verspreiding na 10.000 jaar

Er zijn nog weinig scherp gedefinieerde handvaten beschikbaar of een emissie naar het grondwater toelaatbaar is. Redelijkheid zoals bedoeld in de Kader Richtlijn Water is nog niet concreet ingevuld (we gaan hier later verder op in). Het Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie stelt in deel 2 “Richtlijnen voor baggerspeciestortplaatsen”, dat een emissie toelaatbaar wordt geacht als het volume van het gebied dat wordt beïnvloed boven de streefwaarde in een periode van 10.000 jaar, kleiner is dan het volume van de stortplaats zelf. Voor 2 scenario’s met een hoge sorptie (Wintersen 2020) is de verspreiding doorgerekend over 10.000 jaar. Er is gekozen voor de scenario’s met hoge sorptie voor PFOA, omdat PFOA de maatgevende parameter is, en deze sorptieconstanten uit recent onderzoek van RIVM als meest waarschijnlijke waarden naar voren kwamen. In de onderstaande figuur is de verspreiding weergegeven.

Streefwaarden voor PFOS en PFOA zijn niet bekend. Indien geen streefwaarden bekend zijn wordt veelal gekeken naar de achtergrondwaarden. In de omgeving zijn de achtergrondwaarden in het grondwater lager dan de (destijds gehanteerde) bepalingsgrenzen 0,03 en 0,005 µg/l voor resp. PFOA en PFOS (data Provinciale Meetnet 2016).



Figuur 8 Verspreiding PFOA scenario 3a en 3b na 10.000 jaar (concentratie in µg/l)

Uit figuur 8 blijkt dat ook bij het meest optimistische scenario (sterke sorptie) de verspreiding van detecteerbare concentraties PFOA ruim meer is dan 1500 m. De Kaliwaal is in stromingsrichting circa 1200 m lang. Naar verwachting zijn de oppervlakten van de dwarsdoorsnede van de stortplaats en de verontreinigingspluim vergelijkbaar. De verspreiding na 10.000 jaar is daarom groter dan het volume van de stortplaats.

3.4 Beschouwing resultaten scenarioberekeningen

De uitgevoerde scenario's geven geen eindconclusie, want ze houden bijvoorbeeld nog geen rekening met de al aanwezige sliblaag of het al gestorte materiaal op de afsluitende laag (de vraag richt zich alleen op de effecten van de nog te storten baggerspecie). Uit de resultaten komen vooruitlopend op een integrale beschouwing wel de volgende punten naar voren:

- Het storten van de baggerspecie zal (op de zeer lange termijn!) leiden tot een belasting van het grondwater met PFAS, waarbij PFOA een meer kritische parameter is dan PFOS. De concentraties PFOA zijn gemiddeld gesproken bijna een factor 10 hoger. Dit komt enerzijds door de hogere voorgestelde uitgangsconcentratie (70 µg/kg d.s. voor PFOA t.o.v. 25 µg/kg d.s. voor PFOS). Anderzijds komt dit doordat PFOA mobieler is in het milieu en daardoor makkelijker uitspoelt.
- De hoogste berekende concentratie op het fictieve meetpunt aan de rand van de stort is 10,9 µg/l PFOA. Dit is een minder waarschijnlijk worst-case scenario. Deze waarde kan worden bereikt indien er een lage adsorptie optreedt aan bagger en de doorlaatbaarheid van de afsluitende kleilaag aan de hoge kant is. In dit worst-case scenario wordt op het fictieve meetpunt de (momenteel) van toepassing zijnde INEV (interventiewaardeniveau) voor grondwater niet overschreden, ook niet indien deze waarde in de toekomst mogelijk gaat dalen (INEV buiten grondwaterbeschermingsgebieden).
- Ook in het worst-case scenario is op basis van de van toepassing zijnde INEVs, niet sprake van een risico voor mens of milieu.
- De Kaliwaal ligt niet in een grondwaterbeschermingsgebied, en de INEVs voor grondwater binnen grondwaterbeschermingsgebieden zijn daarom niet van toepassing. Zou dat wel het geval zijn, dan zouden in meerdere berekende scenario's deze waarden wél worden overschreden. Op het moment dat de toetsingswaarden aangepast zouden gaan worden op basis van de aanbevelingen van de EFSA is dat zelfs voor alle scenario's het geval.
- In de scenario's is echter wel sprake van verspreiding in het grondwater boven de detectiegrens of boven het streef- of achtergrondwaarde niveau in een volume groter dan de baggerspeciestortplaats zelf.
- Indien de meest extreme scenario's buiten beschouwing worden gelaten, maar wel wordt uitgegaan van een depot dat volledig is gevuld met baggerspecie met gemiddelde gehalten van 25 en 70 µg/kg d.s., dan kan worden geconcludeerd dat op de zeer lange termijn direct buiten het stortlichaam concentraties PFOA van circa 0,4-1,0 µg/l kunnen ontstaan, en PFOS van 0,03-0,09 µg/l. In het MER is opgemerkt dat conform het Beleidsstandpunt Verwijdering baggerspecie uit 1993, een oppervlak ter grootte van de Kaliwaal mag worden beïnvloed. Dit oppervlak wordt op een termijn van 10.000 jaar overschreden, afhankelijk van het scenario en mogelijke toekomstige wijzigingen in toetsingswaarde boven de interventiewaarde in grondwaterbeschermingsgebieden.

- In de nabijheid van de Kaliwaal is geen drinkwaterwingebied gelegen. Wel ligt het intrekgebied (op basis van de Omgevingsverordening Gelderland) van de drinkwaterwinning Kerk-Avezaath op minder dan 1 kilometer van de Kaliwaal (Figuur 9). Tevens zijn er verschillende particuliere grondwateronttrekkingen op circa 1 km afstand. Het kan niet worden uitgesloten dat zeer lage concentraties PFOA of PFOS het intrekgebied op de zeer lange termijn bereiken. Op basis van de risicogrenswaarden vormen deze echter geen risico voor de mens.



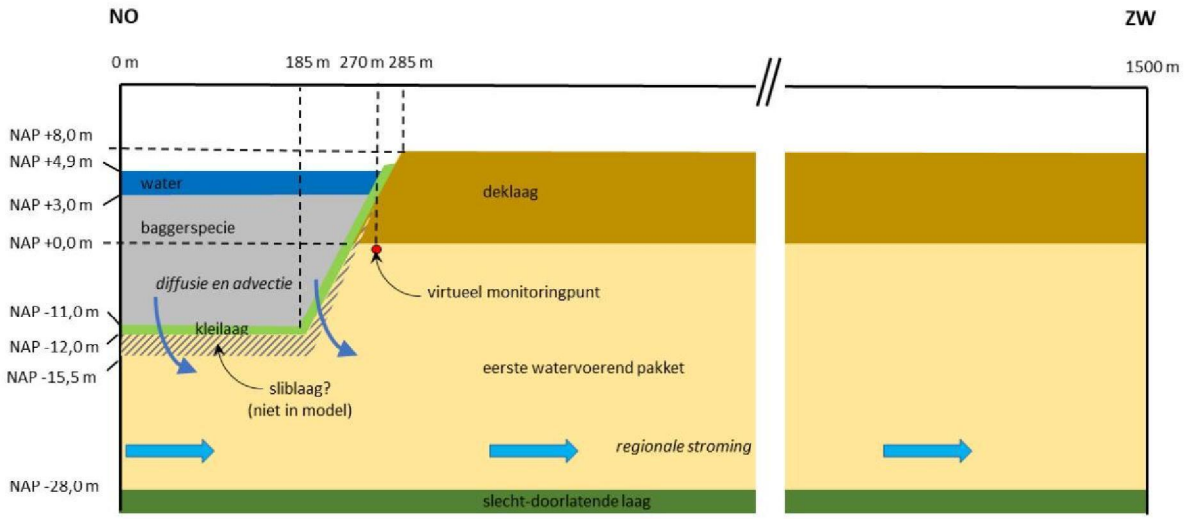
Figuur 9: Intrekgebieden van de drinkwaterwinningen Kerk-Avezaath en Puiflijk (gearceerd). Het intrekgebied van Kerk-Avezaath grenst aan de Kaliwaal.

4 INTEGRALE BESCHOUWING

4.1 Verwachte versus berekende concentraties

In het vorige hoofdstuk is alleen gelet op de mogelijke belasting van het grondwater door de nog te storten baggerspecie, waarbij deze niet in perspectief is geplaatst van de impact van de al aanwezige baggerspecie boven en onder de aangebrachte kleilaag. Bovendien is een aantal worst-case aannames gedaan. Data van het PFAS-gehalte van de al aanwezige baggerspecie ontbreken vrijwel. Ook PFAS-gehalten in het omringende grondwater zijn ons niet bekend. We kunnen daarom alleen in kwalitatieve zin uitspraken doen.

Voor een meer integrale beschouwing nemen we deze aspecten wel in beschouwing waarbij dankbaar gebruik wordt gemaakt van het conceptuele model dat ook bij de scenario modellering is gebruikt (figuur 5).



Bij een inschatting van de additionele impact van het toestaan van storten van baggerspecie met verhoogde PFAS-gehalten zijn de volgende aspecten van belang:

Oorspronkelijke sliblaag

Voordat de Kaliwaal is ingericht als baggerspecieberging was door natuurlijke slibafzetting in de jaren 70-90 al sprake van een sliblaag van circa 3,5 m. De samenstelling is niet bekend, en de dikte is naar verwachting ook niet constant en dunner op het talud. Gezien het historische gebruik van PFOS en de eisen aan lozing, was vooral in de jaren 80 en 90 de belasting met PFOS naar verwachting hoog. De kans is groot dat de historische belasting met PFOS hoger was dan het huidige her-verontreinigingsniveau van 3,7 µg/kg d.s. Het laatste decennium zijn de oppervlaktewater concentraties met PFOS in het stroomgebied van de Rijn immers sterk gedaald.
De doorlatendheid zal in eerste instantie relatief hoog zijn geweest, en daarom is het niet onwaarschijnlijk dat PFOS is uitgeloogd naar het grondwater onder de stort, in een ordegrootte die overeenkomt met de onderzijde van de range die volgt uit de scenarioberekeningen. Voor PFOS is de invloed van de oorspronkelijke sliblaag mogelijk relevant.
PFOA kent een veel lagere historische belasting, en ook lager her-verontreinigingsniveau (0,8 µg/kg d.s). Uit de scenarioberekeningen volgt echter wel een significante belasting uit de nog te storten baggerspecie. Daardoor is de historische belasting met PFOA uit de oorspronkelijke sliblaag minder relevant.
Tot slot zal de oorspronkelijke sliblaag er wel toe leiden dat de uitloging uit de baggerspecie aanzienlijk kan worden vertraagd ten opzichte van de scenarioberekeningen. De invloed op de hoogte van de uitloging is met name voor PFOA beperkt.

Samenstelling gestorte en te storten sliblaag

De PFAS-gehalten van de al gestorte (boven de kleilaag) baggerspecie zijn niet bekend. In de scenarioberekeningen is uitgegaan van de maximale waarden van 70 en 25 µg/kg d.s (PFOA resp. PFOS) voor het gehele gestorte pakket. Zowel van de het al gestorte materiaal als het nog te storten materiaal is dit een worst case inschatting. In werkelijkheid zal vooral het al gestorte materiaal gemiddeld gesproken aanzienlijk minder verontreinigd zijn. Maar ook het nog te storten materiaal zal naar verwachting gemiddeld

lagere concentraties bevatten dan de maximale waarden. Gemiddeld over het depot genomen is het waarschijnlijk dat de concentraties minimaal een factor 3-5 lager zullen zijn (20-25 en 7-8 µg/kg d.s (PFOA/PFOS). De belasting van het grondwater zoals berekend in de scenario berekeningen zal daarmee evenredig afnemen.

Indien we dit in ogenschouw nemen ten opzichte van de eerdergenoemde concentratie range, dan kunnen binnen een straal van 200-300 m rondom de rand van de stort over een termijn vanaf circa 100 jaar op basis van de gemiddeld te verwachten baggerkwaliteit concentraties PFOA resp. PFOS ontstaan in de range van 0,1-0,3 µg/l en 0,01-0,03 µg/l. Indien het wel de verwachting is, of het risico bestaat, dat wel overwegend baggerspecie wordt gestort met de maximale toegestane concentraties, dan moet wel worden gerekend op de concentraties in het grondwater die circa 3x hoger zijn.

4.2 Toelaatbaarheid emissie

Zoals al eerder opgemerkt zijn geen concrete, up to date richtlijnen voorhanden voor het toetsen of de verwachte emissie toelaatbaar mag worden geacht. De volgende overwegingen kunnen in beschouwing worden genomen:

Beleidstandpunt Verwijdering Baggerspecie 1993.

Dit is in principe een oude, maar nog steeds gebruikte richtlijn. In paragraaf 3.3 is uiteengezet dat in deze situatie het verspreidingsvolume boven de streefwaarde groter is dan het volume van de stort, en dat daarmee de richtlijn uit 1993 wordt overschreden. Echter, voor PFAS zijn geen streefwaarden bekend, en de informatie over achtergrondwaarden is beperkt. De schaarse metingen (3 stuks in een straal van 20 km) liggen beneden de bepalingsgrenzen; 0,03 en 0,005 µg/l voor respectievelijk PFOA en PFOS. Indien de bepalingsgrens maatgevend wordt gekozen als streefwaarde, dan kan alleen aan deze norm worden voldaan als de gemiddelde baggerspeciekwaliteit voor PFOA een factor 8-10 lager is dan aangevraagd (zie figuur 8, emissies bij gemiddeld/maximaal 70 µg/kg PFOA). Inmiddels is de bepalingsgrens naar beneden wordt bijgesteld. Veelal wordt in den lande momenteel 0,001 of 0,0001 µg/l gehanteerd.

Daarenboven ligt het anno 2020 meer voor de hand om dit initiatief te toetsen aan de Kader Richtlijn Water. Door het persistente en mobiele karakter van PFAS is de indruk dat het Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie niet meer voldoet, en dat bovendien een belasting van het grondwater in veel voorkomende gevallen niet kan worden voorkomen.

Kaderrichtlijn Water

Uit overleg met het Ministerie van I&W en vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat en Deltares blijkt dat de gedachten over het toetsingskader voor diepe plassen en baggerspeciestorts nog in ontwikkeling zijn. De Kaderrichtlijn Water en Dochterrichtlijn grondwater hanteren het “Prevent and Limit” principe, waarbij inputs of bronnen van verontreiniging moeten worden tegengegaan. De KRW en GWRL bieden in die zin weinig ruimte, maar bieden ook een opening in de zin dat redelijkheid en proportionaliteit mag worden beschouwd. De verantwoording in de redeneerlijn die momenteel wordt opgezet:

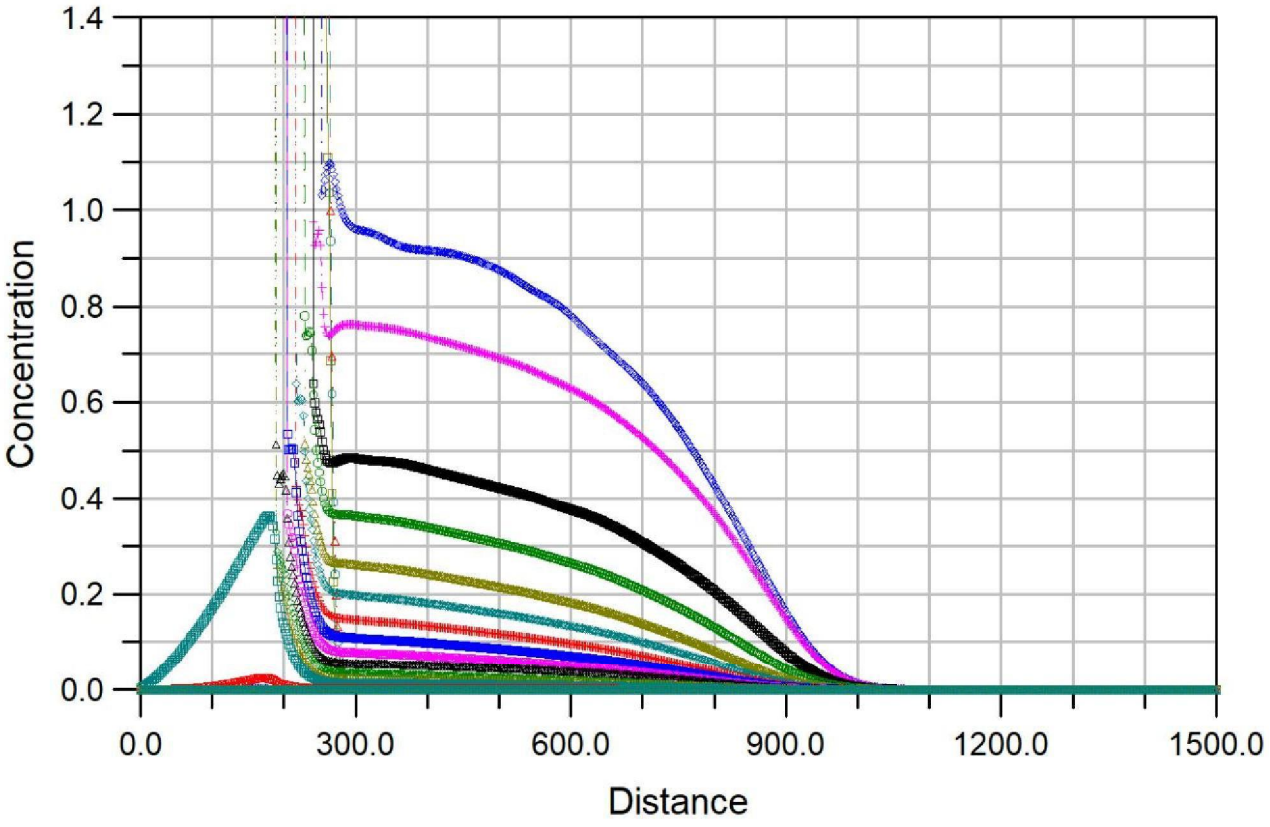
“Omdat bagger onderdeel is van het bodem-watersysteem en de verontreinigingen reeds in het watersysteem aanwezig zijn, is vanuit het oogpunt van beleid en beheer behoefte aan een proportionaliteitstoets waarmee gezocht kan worden naar een ‘redelijke ruimte’ om op een praktische en toch milieukundig verantwoorde manier met bagger in een watersysteem om te kunnen gaan”

Er wordt gezocht naar een eenvoudige en robuuste toets om de toelaatbare belasting van een grondwaterlichaam te toetsen, bijvoorbeeld: “op 100 m afstand mag niet meer sprake zijn van een overschrijding van de drempelwaarde grondwaterkwaliteit of het VR (verwaarloosbaar risico)”.

Deze toets bestaat nog niet. Specifiek voor het geval Kaliwaal geven we een aantal overwegingen mee:

- De drempelwaarde grondwaterkwaliteit kan worden gekozen op de drinkwaternorm of de INEV in grondwaterbeschermingsgebieden. Bij de emissies van stortplaatsen wordt doorgaans getoetst aan de signaalwaarde (vergelijkbaar met de INEV). Deze huidige INEV (signaalwaarde) is voor PFOS en PFOA 5x de drinkwaternorm, respectievelijk 0,2 en 0,39 µg/l.

- Naar verwachting gaat de drinkwaternorm voor PFOA in lijn met de EFSA-opinie op niet al te lange termijn (begin 2021) omlaag. De signaalwaarde/INEV voor de som van PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA komt naar verwachting uit op ongeveer 20 ng/l. In dit geval is PFOA ruimschoots maatgevend en zal naar verwachting de norm voor het grootste deel opvullen. De andere PFAS zijn of minder mobiel (PFOS, PFNA), of komen aanzienlijk minder voor (PFHxS).
- In de lijn met het Beleidsstandpunt uit 1993 ligt het voor de hand om het maximale invloedsgebied afhankelijk te stellen van de omvang van de activiteit. Bijvoorbeeld 30-50% van lengte van de stortplaats.
- In figuur 10 zijn concentratielijnen aangegeven voor scenario 3a, een scenario aan de bovenzijde van de gemiddelde scenario's, met sorptie in bagger volgens de recente uitloogtesten van RIVM (Wintersen 2020), en relatief hoge doorlatendheid van de baggerspecie. Hieruit volgt dat op een afstand tot de stort van 50% van de lengte gemiddeld nog ongeveer 0,2-0,25 µg/l PFOA aanwezig is (groene lijnen). Dit is ca. 10x boven de genoemde, verwachte signaalwaarde. Omdat sprake is van een lineair verband, zou bij een gemiddelde baggerspeciekwaliteit die 10x zo laag is als gebruikt in de berekeningen, dus van 7 µg/kg PFOA, nog net voldaan kunnen worden aan de signaalwaarde. (NOOT: scenario 3a gaat uit van een relatief hoge doorlatendheid van het baggerslib, een lagere doorlatendheid leidt tot een lagere concentratie).



Figuur 10 Maximale concentraties scenario 3a (bovenkant gemiddelde scenarios)

5 CONCLUSIES

5.1 Algemene conclusies

Opmerking vooraf: Data van PFAS-concentraties in bagger en grondwater in de huidige situatie waren niet beschikbaar, en onze conclusies zijn vooral gebaseerd op zo goed als mogelijk gefundeerde aannamen en scenario berekeningen.

- Het storten van PFAS houdende baggerspecie tot aan de gevraagde acceptatiecriteria (25 µg/kgds PFOS en 70 µg/kgds PFOA) kan op de lange termijn (>100 jaar) leiden tot een belasting van het grondwater met PFAS met concentraties tot 0,03 en 0,3 µg/l voor PFOS resp. PFOA, ervan uitgaande dat de gemiddelde concentraties een factor 3 lager zullen zijn dan de maximale.
- Gerelateerd aan de huidige Indicatieve Niveaus voor Ernstige Verontreiniging (INEVs; interventiewaardeniveau) is sprake van een relatief lage belasting. De INEVs zullen naar verwachting niet worden overschreden. Alleen PFOA kan bij een gemiddelde baggerkwaliteit van 20-25 µg/kgds en een verwachte uitloogconcentratie van 0,1-0,3 µg/l mogelijk de INEV in grondwaterbeschermingsgebieden (0,39 µg/l) benaderen. De Kaliwaal ligt echter niet in een grondwaterbeschermingsgebied. Er is geen sprake van een risico voor mens of milieu.
- Er is echter een kans dat de INEVs eind 2020 of begin 2021 zullen worden aangepast aan de veel strengere EFSA-opinie voor toelaatbare dagelijkse inname voor de mens. Het is mogelijk dat de INEV van PFOA in grondwaterbeschermingsgebieden met een factor 20 of meer omlaaggaat. Indien de Kaliwaal en het beïnvloedingsgebied in de toekomst wel in een grondwaterbeschermingsgebied komen te liggen, én indien de EFSA-opinie door het RIVM wordt overgenomen voor de toetsingswaarden, dan worden deze in de toekomst mogelijk wel overschreden.
- De vergelijking met andere organische verbindingen en referentie aan de interventiewaarden zoals opgenomen in de aanvraag van Kaliwaal B.V. is in het geval van PFAS niet juist. PFAS zullen niet afbreken in het milieu, zelfs niet onder wisselende redoxcondities. Daarnaast is het sorptiegedrag, vooral van PFOA, niet eenduidig en zeker niet alleen afhankelijk van het organisch stofgehalte.
- Op een termijn van 10.000 jaar is sprake van een beïnvloed volume groter dan het volume van de baggerspecie stortlocatie. In het Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie uit 1993 wordt dit criterium gehanteerd voor het al dan niet toelaatbaar zijn van een emissie. Strikt gesproken is de emissie daarmee niet toelaatbaar. De terminologie van deze richtlijn is echter niet up to date, en momenteel is het gangbaar om impacts van het grondwater te beoordelen op basis van de Dochter Richtlijn Grondwater, die hangt onder de Kader Richtlijn Water. Daarom wordt door het Ministerie en RWS gewerkt aan een nieuwe redeneerlijn, meer passend bij de ontwikkelingen van deze tijd en KRW.

Overwegingen en een ander acceptatiecriterium

Bovenstaande conclusies leiden tot de gevolgtrekking dat het gevraagde acceptatiecriterium voor PFOA (70 µg/kgds) kritisch is, zeker indien in de nabij toekomst moet worden uitgegaan van een aanscherping van de INEV of signaalwaarde wordt de kans groot dat deze over een groot volume worden overschreden.
Indien in tegenstelling tot bovenstaande wordt uitgegaan van een 10x lager gemiddeld PFOA-gehalte van de baggerspecie van 7 µg/kgds, dan zal naar verwachting het invloedsgebied waar de toekomstig te verwachten, zeer strenge INEV-drinkwater wordt overschreden (20 ng/l, uitgaande van advies EFSA), kleiner of gelijk blijven dan circa 50% van de stortomvang. Gezien de conservatieve aannamen in de berekeningen, de omvang van de activiteit en gelet op het eerdere beleidsstandpunt dat uitging van een volume ter grootte van de stort, beoordelen wij dit als een geringe invloed waarbij zich geen risico's voor zullen doen of effecten merkbaar zijn.
Indien de baggerspecie afkomstig is uit het eigen systeemgebied (bv. Provincie), dan is bovendien de overweging dat in de baggerspeciestortplaats de verontreinigde bagger geconcentreerd en beter geïsoleerd wordt opgeslagen ten opzichte van het grotere oppervlak in het te baggeren oppervlaktewater. De overall belasting van het grondwater wordt daarmee kleiner. In het licht van de Kaderrichtlijn Water kan dit leiden tot een kwaliteitsverbetering op het niveau van het systeemgebied/grondwaterlichaam.

Het wordt daarom ter overweging gegeven om het acceptatiecriterium voor PFOA te verlagen met een factor 10, van 70 naar gemiddeld 7 µg/kgds. De aantasting van grondwater van goede kwaliteit blijft daarmee beperkt, en naar verwachting bevat de baggerspecie in de Gelderse wateren maar af en toe hogere niveaus, zodat gemiddeld gesproken de baggeropgave doorgang kan blijven vinden. Gezien de EFSA-opinie is het wel te overwegen om ook aandacht te besteden aan PFNA en PFHxS.

5.2 Antwoord onderzoeksvragen

1. *In welke mate leidt de met PFAS belaste baggerspecie tot een belasting of verontreiniging van het grondwater, en is deze belasting toelaatbaar?*
   Uitgaande van een geschatte, gemiddelde gestorte baggerkwaliteit van circa 20-25 µg/kg d.s voor PFOA en 7-8 µg/kg d.s voor PFOS, dan volgt uit een kwalitatieve, integrale beschouwing dat de concentraties in het omringende grondwater van de Kaliwaal op een termijn van circa 100 jaar kunnen toenemen tot 0,1-0,3 µg/l voor PFOA en 0,01-0,03 µg/l voor PFOS in een straal van 300-300 m van het depot. Deze waarde voor PFOA benadert het huidige interventiewaardeniveau voor grondwaterbeschermingsgebieden, maar de Kaliwaal ligt niet in een grondwaterbeschermingsgebied. De INEV-grondwater buiten grondwaterbeschermingsgebieden is ongeveer 150x hoger (56 µg/l). Beschouwd op een termijn van 10.000 jaar is het invloedsgebied groter dan de stortplaats zelf, en zou daarmee niet voldoen aan de Richtlijn uit het Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie. Meer actueel wordt door het Ministerie van I&W en Rijkswaterstaat gewerkt aan een proportionaliteitstoets voor diepe plassen en baggerspeciestortplaatsen, die beter aansluit bij de KRW. Deze toets zal in alle redelijkheid enige belasting van het grondwater toestaan, omdat bagger onderdeel is van ons systeem en verontreiniging inmiddels alom aanwezig. Een toetsing aan een gebied ter grootte van de helft van de stort, en op de grens maximaal verontreinigd tot de zeer strenge toekomstige INEV (interventiewaardeniveau) wordt door ons voorgesteld.
   Mede omdat we verwachten dat de aangeboden baggerspecie gemiddeld aanzienlijke lagere concentraties PFOA zal bevatten, geven wij op basis daarvan ter overweging om de maximaal, gemiddelde concentratie voor PFOA met een factor 10 omlaag te brengen in de vergunning. Hogere pieken zijn toelaatbaar omdat het grote stortvolume deze zal uitvlakken. De belasting met PFOS is een factor 10 lager en minder kritisch.

2. *Kan het bergen van de baggerspecie mogelijk leiden tot risico's voor mens of milieu via de verspreidingsroute grondwater*?
   De huidige INEVs en risicogrenswaarden bij het huidige gebruik worden niet overschreden. Er zal niet sprake zijn van een risico voor mens of milieu via de route grondwater. Alleen in geval van een bestemmingswijziging én indien als gevolg van de aanpassing aan de EFSA-normen de INEVs voor grondwaterbeschermingsgebieden worden aangescherpt, dan kan sprake zijn van risico's voor de parameter PFOA. Ook dit pleit voor een aanpassing van het acceptatiecriterium voor PFOA.

3. *Hoe verhoudt de bijdrage van de nieuw te bergen baggerspecie zich tot bestaande beïnvloeding door de Waal, of als gevolg van de al geborgen specie?*
   Voor de parameter PFOS is de bijdrage van de nieuw te bergen baggerspecie naar verhouding beperkt. Voor PFOA zal op de langere termijn wel sprake zijn van een significante toename tot wel een ordegrootte (10x). Het gevraagde acceptatiecriterium voor PFOA is veel hoger dan de historische belasting en ook het her-verontreinigingsniveau. Het is echter maar zeer de vraag of, gezien de achtergrondgehalten in Nederlands baggerslib, het aangeboden slib ook daadwerkelijk zo sterk verontreinigd zal zijn met PFOA.

6 REFERENTIES

Advies en Kenniscentrum Waterbodems - Waterbodems Advies- en Uitvoering. (2005). *Baggerspeciedepots. Modelleren van verspreiding van verontreiniging nara grondwater. Literatuurstudie, onderdeel van project UVD.* Houten: Grontmij Nederland b.v.

Grontmij Gelderland. (1998). *Aanvulling MER baggerspeciberging in de Kaliwaal.* Arnhem: Grontmij.

Grontmij Techniek & Advies B.V. (1996). *Baggerspecieberging in de Kaliwaal - Milieu-effectrapport.* De Bilt: Grontmij.

Pereira, L., Martins, L., Ascenso, J., Morgado, P., Prates Ramalho, J., & Filipe, E. (2014). Diffusion Coefficients of Fluorinated Surfactants in Water: Experimental Results and Prediction by Computer Simulation. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 3151-3159.

Wintersen et al. (2020) Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger, RIVM-briefrapport 2020-0102

EFSA (2020) Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. Scientific opinion EFSA.2020.6223

Bijlage A. Scenarioberekeningen

SCENARIO: 1

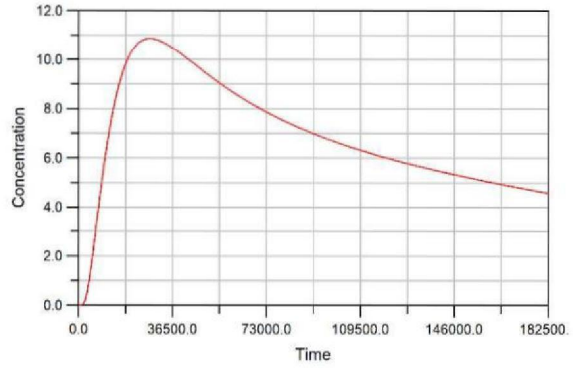
STOF: PFOA
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOA_BAS

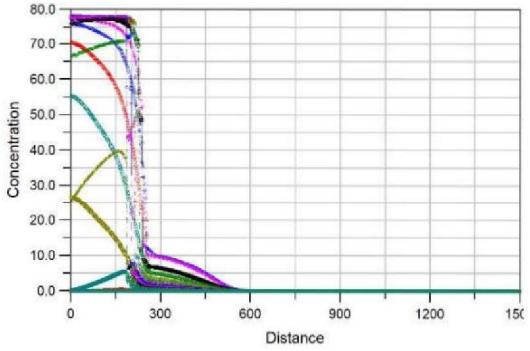
UITGANGSPUNTEN:

- Minimum Kd waarde in baggerspecie o.b.v. 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag
- Beginconcentraties baggerspecie: 70 µg/kg d.s. en 77,8 µg/L

RESULTATEN:

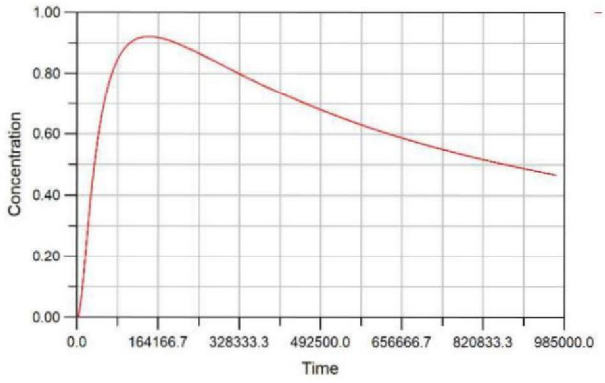
1a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

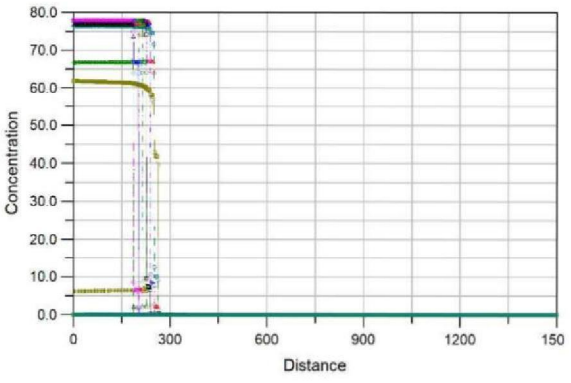




HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 10,9 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 73 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 500 m

1b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 0,92 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 397 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 500 m

SCENARIO: 2

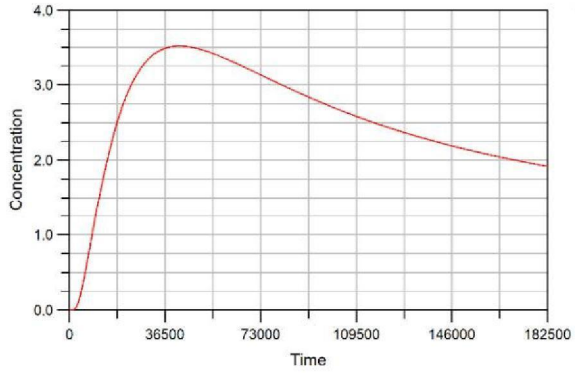
STOF: PFOA
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOA_MIN

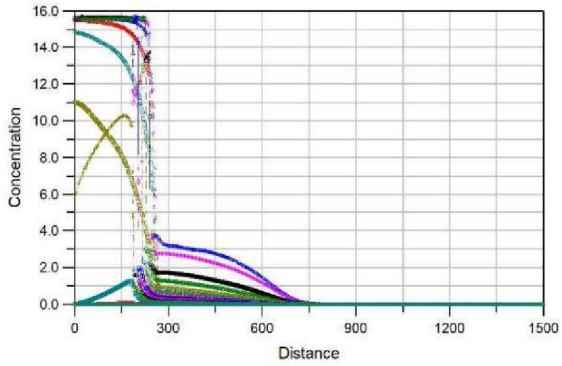
UITGANGSPUNTEN:

- Kd waarde in baggerspecie o.b.v. 10% o.s. en minimum Koc waarde.
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Beginconcentraties baggerspecie: 70 µg/kg d.s. en 15,6 µg/L

RESULTATEN:

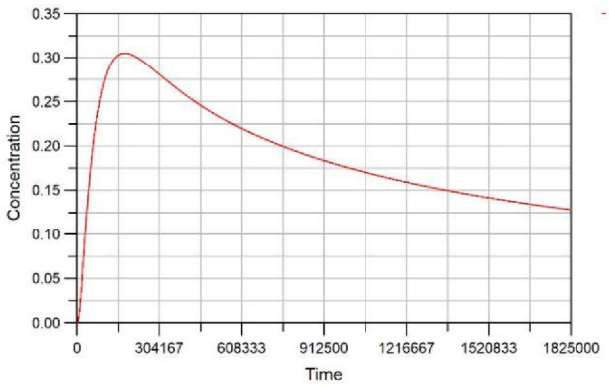
2a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

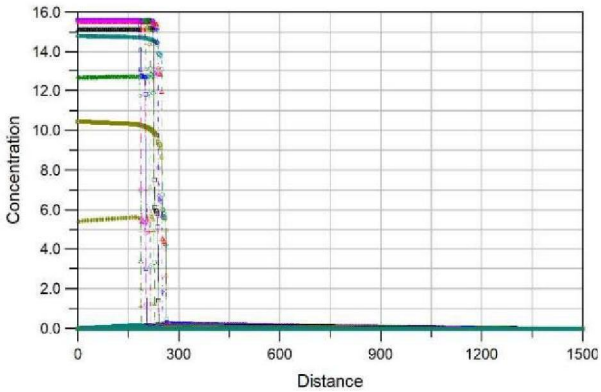




HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 3,5 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 115 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 700 m

2b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 0,3 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 483 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 1200 m

SCENARIO: 3

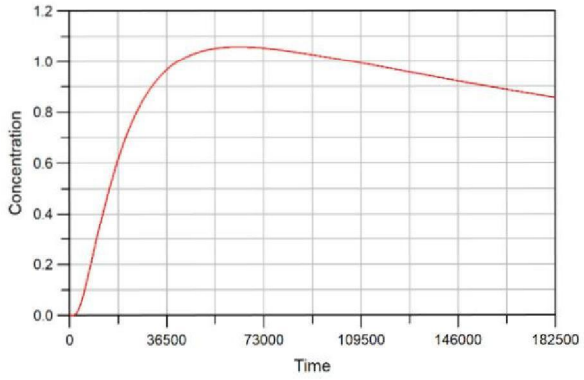
STOF: PFOA
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOA_AVG

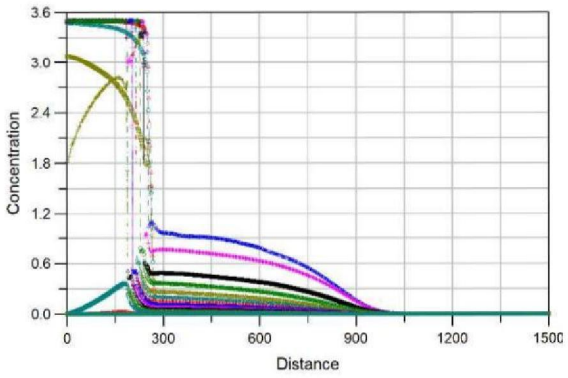
UITGANGSPUNTEN:

- Kd waarde in baggerspecie o.b.v. Wintersen et al (2020) (en aanname van 10% o.s.).
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Beginconcentraties baggerspecie: 70 µg/kg d.s. en 3,5 µg/L

RESULTATEN:

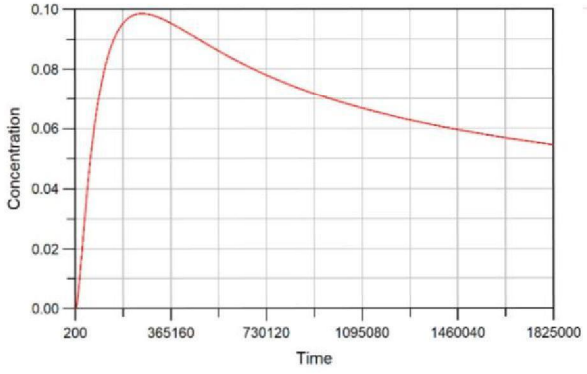
3a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

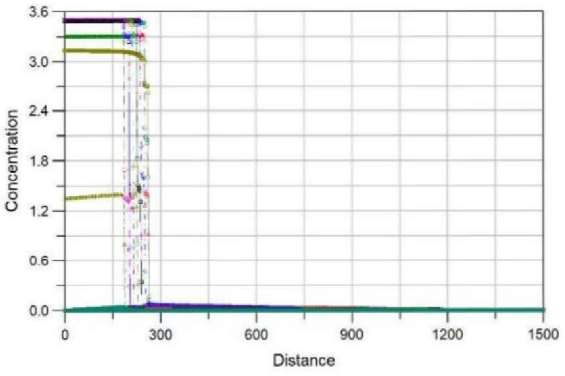




HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOERENDE PAKKET: 1,06 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 174 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 1000 m

3b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOERENDE PAKKET: 0,1 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 703 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 1200 m

SCENARIO: 4

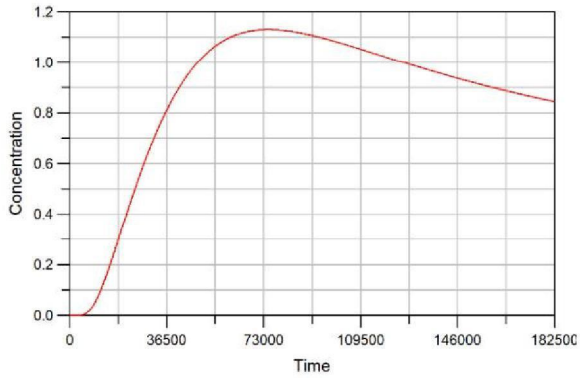
STOF: PFOS
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOS_BAS

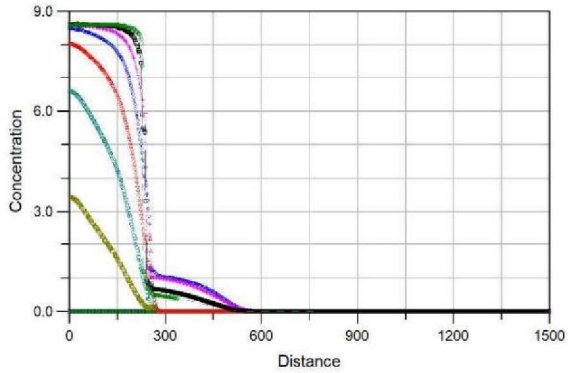
UITGANGSPUNTEN:

- Minimum Kd waarde in baggerspecie o.b.v. 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Beginconcentraties baggerspecie: 25 µg/kg d.s. en 8,6 µg/L

RESULTATEN:

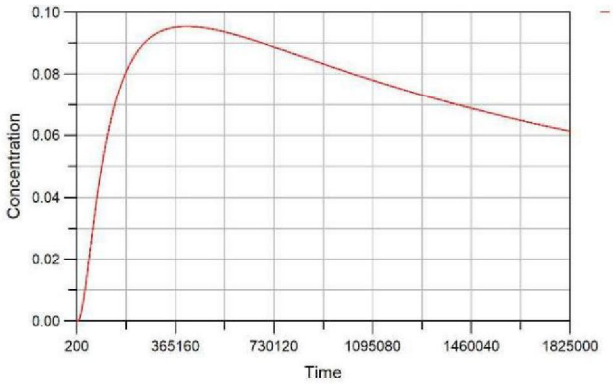
4a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

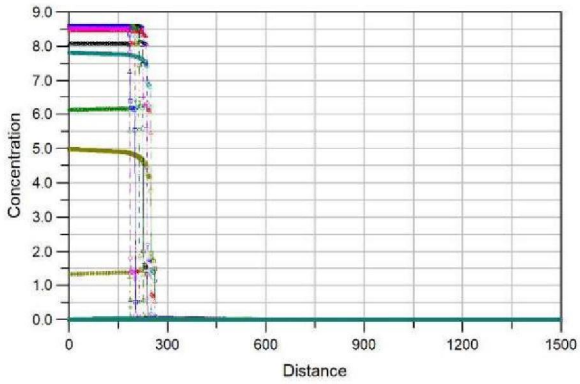




HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 1,13 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 205 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 500 m

4b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 0,09 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 1118 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 600 m

SCENARIO: 5

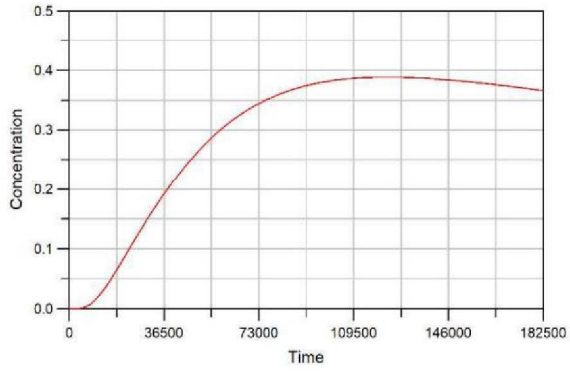
STOF: PFOS
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOS_MIN

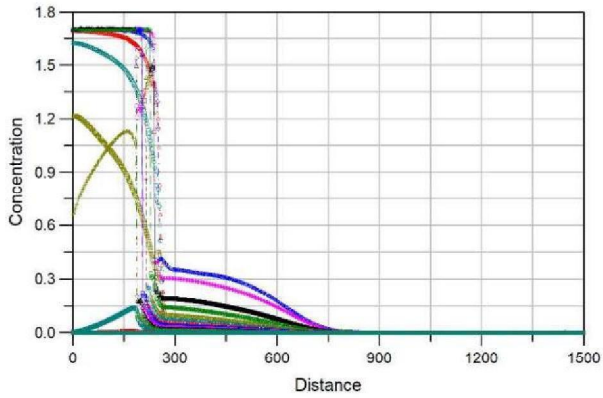
UITGANGSPUNTEN:

- Kd waarde in baggerspecie o.b.v. 10% o.s. en minimum Koc waarde.
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag
- Beginconcentraties baggerspecie: 25 µg/kg d.s. en 1,7 µg/L

RESULTATEN:

5a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

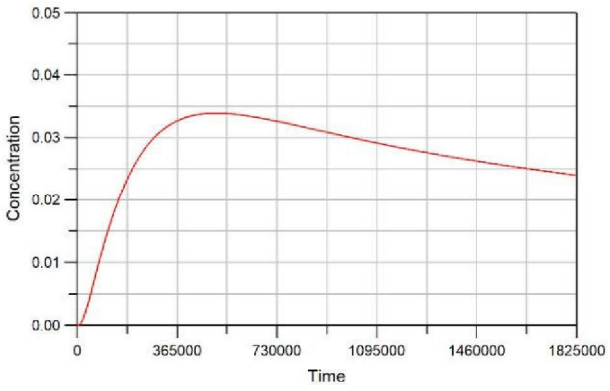


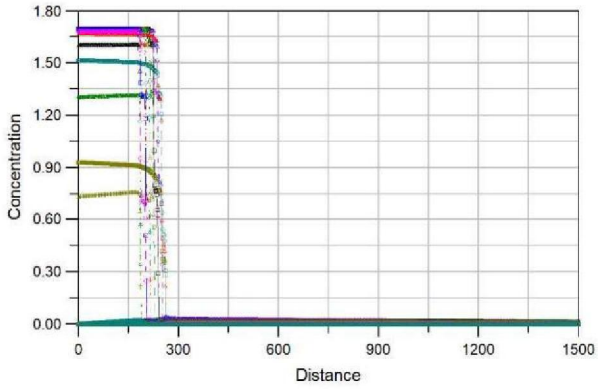


HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: *0,39 µg/L*
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 334 jaar

VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 700 m

5b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: *0,03 µg/L*
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 695 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 600 m

SCENARIO: 6

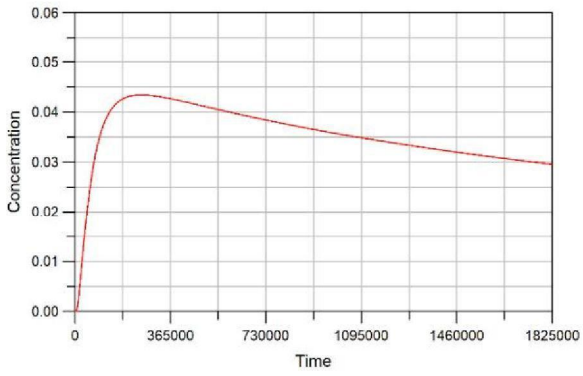
STOF: PFOS
BESTANDSNAMEN: KALI_PFOS_AVG

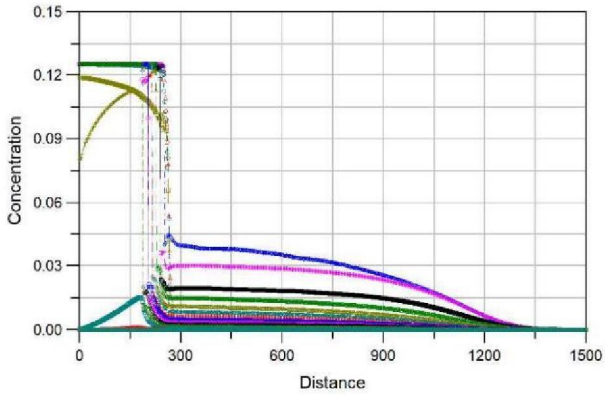
UITGANGSPUNTEN:

- Kd waarde in baggerspecie o.b.v. Wintersen et al (2020) (en aanname van 10% o.s.).
- Kd waarde van de kleilaag en watervoerend pakket o.b.v. resp. 5% en 2% o.s. en minimum Koc waarde.
- Beginconcentraties baggerspecie: 25 µg/kg d.s. en 0,125 µg/L

RESULTATEN:

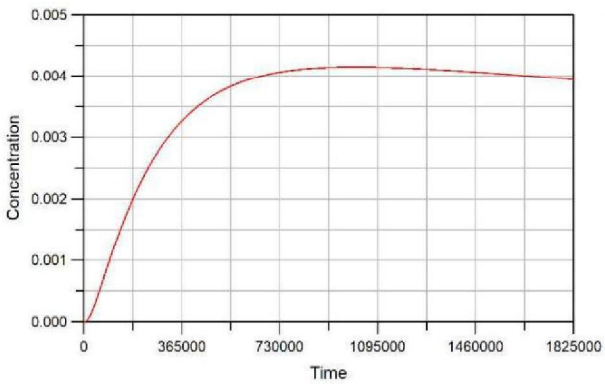
6a: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,1 m/dag, k_verticaal = 0,01 m/dag

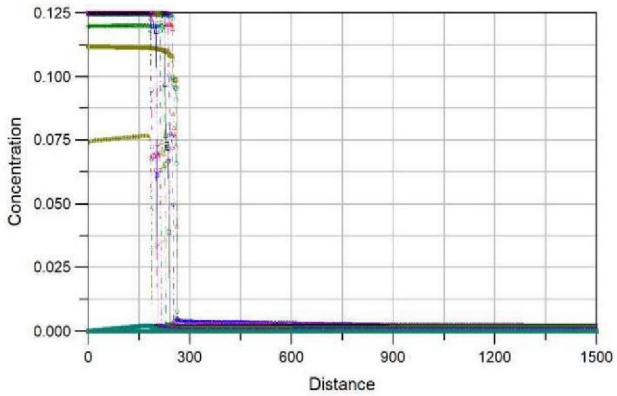




HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 0,04 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 695 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 1200 m

6b: k-waarde baggerspecie k_horizontaal = 0,0001 m/dag, k_verticaal = 0,0001 m/dag





HOOGSTE CONCENTRATIE IN WATERVOEREND PAKKET: 0,004 µg/L
TIJD TOT BEREIKEN HOOGTE CONCENTRATIE: 2778 jaar
VERSPREIDING OP TIJDSTIP HOOGTSE CONCENTRATIE: > 1500 m

COLOFON

BERGING PFAS HOUDENDE BAGGERSPECIE IN DE KALIWAAL
ADVIES BELASTING BODEM EN GRONDWATER

AUTEUR
5.1.2e

PROJECTNUMMER
C05044.000395

ONZE REFERENTIE
D10019573:5

DATUM
23 november 2020

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com