

Rapport

Gezondheidsrisico's van PFAS bij het werken met grond

Een studie in opdracht van Vollandis

Auteur: Tim Nonner, Arbo Unie/ Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht

Versie: januari 2021



Werk veilig



Houd plezier



Kijk vooruit

Voorwoord

Het rapport dat hier voor u ligt is het eindresultaat van een studie die in de maanden augustus 2020 tot en met januari 2021 is gedaan in opdracht van Vollandis. De studie heb ik gedaan in het kader van mijn keuzestage van de opleiding Arts Maatschappij en Gezondheid, richting Medische Milieukunde. Ik werd daarbij begeleid vanuit Arbo Unie en vanuit het IRAS. Het is daarmee een brede kijk geworden op de problematiek rondom PFAS voor de werknemers in beroepen die met grond werken; zowel vanuit arbeidsgeneeskundig als vanuit toxicologisch perspectief, zowel vanuit de praktijk als vanuit de academie.

Mijn bijzondere dank gaat uit naar Andrea Hiddinga en Rimke Kerkhoff van Arbo Unie, Marianne Bol-Schoenmakers en Juliette Legler van het IRAS en Johan Timmerman van Vollandis voor de prettige begeleiding en de waardevolle feedback.

Daarnaast wil ik Frits van Rooy bedanken voor de kennis op het gebied van arbeidskundige grenswaarden.

Ten slotte wil ik alle geïnterviewden bedanken die belangeloos tijd voor mij vrijmaakten en mij uitgebreid vertelden van de praktijk van het werken met grond. Dat geeft dit project een unieke extra blik vanuit de praktijk op het onderwerp.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Tim Nonner
Diepenveen, 18 januari 2021

Samenvatting

Er is de afgelopen jaren heel veel aandacht geweest voor regels rondom Poly- en Perfluoralkylstoffen (PFAS) in de bodem die een enorme impact hebben gehad op de Nederlandse bouwsector. Wat PFAS betekent voor de gezondheid van mensen die met grond werken, is echter onderbelicht gebleven. Toch leeft dit wel onder werknemers. In opdracht van VOLANDIS hebben het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) van de Universiteit Utrecht en Arbo Unie daarom de volgende vraag onderzocht: Zijn er gezondheidsrisico's door PFAS voor werknemers die met grond werken in Nederland?

Deze vraag is beantwoord door te kijken naar drie deelgebieden:

- Wat zijn de gezondheidseffecten en welke gezondheidskundige normen gelden er voor PFAS?
- In welke hoeveelheden en op welke plaatsen komt PFAS in de Nederlandse bodem voor?
- Welke blootstelling heeft een werknemer aan grond met PFAS in de praktijk?

Ten slotte was een belangrijke vraag of het gebruik van bloedbepalingen bij werknemers, van toegevoegde waarde is bij het inschatten van gezondheidsrisico's door PFAS in de bodem.

Om de vragen te beantwoorden is uitgebreid literatuur onderzocht en zijn er gesprekken met mensen uit de sector gevoerd.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat de meest relevante gezondheidsrisico's van PFAS een relatie met een verhoging van het cholesterol en een demping van de immuunrespons zijn. Voor de bescherming van werknemers wordt door de hele sector een SRCarbo-waarde (Serious Risk Concentration) voor de hoeveelheid PFAS in de grond gebruikt. Echter, deze waarde is gebaseerd op een inmiddels achterhaalde gezondheidskundige waarde van het RIVM. Het RIVM heeft heel recent gezegd een veel lagere waarde te gaan gebruiken. Wat dit betekent voor de SRCarbo-waarde is nog niet duidelijk.

Over het algemeen is de hoeveelheid PFAS in de Nederlandse grond beperkt. Het dieet lijkt daarnaast een grotere bron van PFAS voor de werknemers. Wel zijn er een aantal hotspots waar grond met hoge PFAS waarden te vinden is. Er is een verplicht systeem dat er voor zorgt dat het overgrote deel van die hotspots voorafgaand aan een project bekend is, zodat waar nodig maatregelen kunnen worden genomen. Dit systeem is echter niet waterdicht en de effectiviteit hangt sterk af van de grondigheid waarmee het onderzoek naar hotspots gedaan wordt. Wanneer werknemers toch in aanraking komen met PFAS vervuilde grond is dat vaak incidenteel. De gezondheidseffecten treden pas op bij chronische blootstelling, hierdoor zullen deze waarschijnlijk niet voorkomen bij mensen die met grond werken.

De lange halfwaardetijd van PFOS en PFOA, de grote invloed van het dieet en de incidentele blootstelling maken dat een periodieke bloedbepaling van PFAS bij alle werknemers niet bijdragend is. Uitzonderingen daarbij zijn het doen van wetenschappelijk onderzoek en in regulier verband, bij mensen die heel vaak in hotspots werken.

Concluderend kunnen we met de huidige wetenschappelijke kennis stellen dat de gezondheidsrisico's door PFAS voor werknemers die met grond werken klein zijn. Wel zijn er uitzonderingen, zoals bij het veelvuldig werken in hotspots, waarbij werknemers een hoger risico lopen.

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting | 3 |
| Inhoudsopgave | 4 |
| 1. Inleiding | 5 |
| 1.1 Onderzoekopzet | 5 |
| 1.2 PFAS Algemeen | 6 |
| 2. Gezondheidseffecten | 7 |
| 2.1 Toxicokinetiek | 7 |
| 2.2 Gezondheidseffecten van PFOA en PFOS | 9 |
| 2.2.1 Acute effecten | 9 |
| 2.2.2 Effect op de lever | 9 |
| 2.2.3 Effect op cholesterol | 9 |
| 2.2.4 Effect op de reproductie | 9 |
| 2.2.5 Effect op het immuunsysteem | 9 |
| 2.2.6 Risico op kanker | 10 |
| 2.3 Gezondheidseffecten van GenX | 10 |
| 2.4 Combinatietoxicologie | 10 |
| 3. Grenswaarden | 11 |
| 3.1 SRCarbo | 13 |
| 3.2 Waarden van PFAS in lucht en bloed | 14 |
| 4. Verspreiding en voorkomen PFAS in Nederland | 16 |
| 4.1 Achtergrondwaarde | 16 |
| 4.2 Hotspots | 18 |
| 4.3 Verhouding dieet en werk | 18 |
| 5. Blootstelling in de praktijk | 20 |
| 6. Discussie | 22 |
| 6.1 Gezondheidseffecten | 22 |
| 6.2 Verspreiding in Nederland | 23 |
| 6.3 Blootstelling in de praktijk | 23 |
| 7. Conclusie | 25 |
| 8. Antwoorden op sub vragen | 26 |
| 9. Aanbevelingen | 28 |
| 10. Lijst met afkortingen | 29 |
| 11. Bijlage onderbouwing PFOA waarde berekening hoofdstuk 4.3 | 30 |
| 12. Literatuur | 31 |

1. Inleiding

In 2019 was er onrust in de Nederlandse bouwwereld vanwege nieuwe PFAS-normen voor grondverzet. Deze waren gebaseerd op het ecologische risico. De normen waren dusdanig streng dat diverse bouwprojecten stil kwamen te liggen. PFAS oftewel Poly- en Perfluoralkylstoffen is een verzameling stoffen waarvan de historie begint in de jaren 30 van de vorige eeuw, toen er bij DuPont een stof werd ontdekt die later bekend werd onder de naam Teflon. In de jaren daarna werden er vele toepassingen (onder andere blusschuim en waterafstotende kleding) voor de stoffen uit de PFAS-familie gevonden en werd het op grote schaal geproduceerd. De producten gingen de hele wereld over, waardoor PFAS overal ter wereld teruggevonden kan worden in het milieu. Het grote voordeel van deze stoffen zijn hun water- en vuilafstotende eigenschappen. Pas sinds het begin van deze eeuw is er toenemend aandacht voor de nadelen. Het is namelijk persistent en vervuilde grond of water is zeer moeilijk te reinigen. Daarnaast zijn de stoffen erg mobiel, wat inhoudt dat het zich naar en met het grondwater kan verspreiden, waardoor de risico's voor mens en natuur toenemen.

Alle aandacht in de media voor deze stoffen heeft er voor gezorgd dat er ook onder werknemers die met grond in aanraking komen, vragen zijn ontstaan over het effect van PFAS op hun gezondheid. Het effect van PFAS op grondwerkers is niet een onderwerp waar veel onderzoek naar is gedaan. Er is redelijk wat literatuur over mensen in fabrieken die direct met PFAS werken (Tanner et al., 2018), maar niet bij specifieke beroepen die met grond werken. Om de vragen van medewerkers toch te kunnen beantwoorden is er door Vlandis aan Arbo Unie en het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) gevraagd hier onderzoek naar te doen. Centraal daarin staat de vraag of PFAS een risico is voor mensen die met grond werken. Om die vraag te kunnen beantwoorden zullen we de blootstelling aan PFAS moeten inschatten en moeten weten welke gezondheidseffecten bij welke blootstellingsniveaus op kunnen treden. Voor het eerste geldt dat het belangrijk is om dit voor de specifieke situatie van de Nederlandse werknemer te doen. Voor het tweede ligt de uitdaging in het feit dat de ontwikkelingen op het gebied van gezondheidkundige normen snel gaan.

1.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoek is uitgevoerd in de maanden augustus 2020 tot en met januari 2021 waar er gesproken is met diverse betrokkenen uit de bouw sector en er een literatuurstudie is gedaan. Van te voren zijn eerst een reeks sub vragen opgesteld die samen een antwoord geven op de hoofdvraag. De vragen kunnen worden onderverdeeld in de groepen kinetiek en gezondheidseffecten, Nederlandse bodem en blootstelling.

Kinetiek en Gezondheidseffecten

Opname:

- Hoeveel wordt er opgenomen via de huid, mond en longen?
- Wat is de te verwachten opname van PFAS voor een Nederlandse werker in de grondsector?
- Wat draagt de berekende geabsorbeerde hoeveelheid PFAS door het werk bij aan de totale inname (dus gecombineerd met voeding en drinkwater)?

Gezondheidseffecten:

- Welke gezondheidseffecten zijn bekend bij de verschillende stoffen?
- Is dat op basis van epidemiologisch of dierstudie-onderzoek?
- Wat zijn de afgeleide normen voor de stoffen, en op basis waarvan zijn ze vastgesteld?
- Is er sprake van combinatietoxicologie?
- Is het meten van PFAS waarden in bloed van werknemers die met grond werken van toegevoegde waarde?

Nederlandse bodem:

- Welke stoffen van PFAS komen in de Nederlandse grond voor en in welke concentraties?
- Zijn die concentraties homogeen in heel Nederland of heterogeen?
- Is van grond waarmee of waarin gewerkt wordt, bekend hoeveel PFAS er in zit, door middel van een laboratoriumbepaling?

Blootstelling:

- Welke beroepen in relatie tot grondwerk zullen het meest in aanraking komen met PFAS vervuilde grond?
- Welke blootstellingsroutes zijn relevant voor mensen die met grond werken?
- Wordt er gebruik gemaakt van beheersmaatregelen als persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) of overdrukcabines op grondverzetmateriaal?

Voor de gesprekken met de mensen in de sector is contact gelegd met aannemers voor infrastructuur, een maritieme dienstverlener, een ingenieurbureau, een bedrijf in de infratechniek en het RIVM. Daarbij is onder andere gesproken met een arbeidshygiënist, hogere veiligheidkundige, bedrijfsarts, milieukundige en een Senior Uitvoerder. Deze gesprekken vonden plaats op locatie of middels (beeld)telefonie.

Om een beeld te krijgen van de concentraties PFAS die werknemers tegen kunnen komen in de grond is er gebruik gemaakt van openbare bronnen die met startpage.com werden gevonden, rapporten van instanties (RIVM, bodemplus) en van materiaal gekregen van de contacten dat anoniem verwerkt is.

Ten slotte is er gericht gezocht via Pubmed naar medische literatuur over de gezondheidseffecten van PFAS. Er is gezocht met de zoektermen PFAS en Health Effects. Ten tijde van het onderzoek kwam er ook een nieuw rapport van EFSA, de European Food and Safety Association, uit (Schrenk et al., 2020). Hierin zijn nieuwe lagere humane risicogrenzen vastgesteld. De implicaties voor de beoordeling van gezondheidseffecten van mensen die met grond werken worden in dit rapport ook besproken.

1.2 PFAS Algemeen

Inmiddels zijn er meer dan 4000 stoffen die deel uitmaken van de familie van PFAS. PFAS staat voor poly- en perfluoroalkylstoffen. Al deze stoffen hebben gemeen dat ze een hydrofobe Alkyl-keten en een hydrofiële eindgroep hebben. Aan de hydrofobe keten zitten 1 of meerdere Fluoratomen. Deze stoffen hebben uiteenlopende toepassingen. In deze studie hebben we gekeken naar relevante stoffen voor Nederlandse werknemers in de bouw. Dat zijn PFOS, PFOA en GenX. GenX is geen stof maar een productieproces waarbij meerdere PFAS-stoffen betrokken zijn. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste toepassingen van deze stoffen.

Tabel 1. Overzicht van relevante PFAS-soorten met hun CAS-nummer, structuurformule en belangrijkste toepassingen.

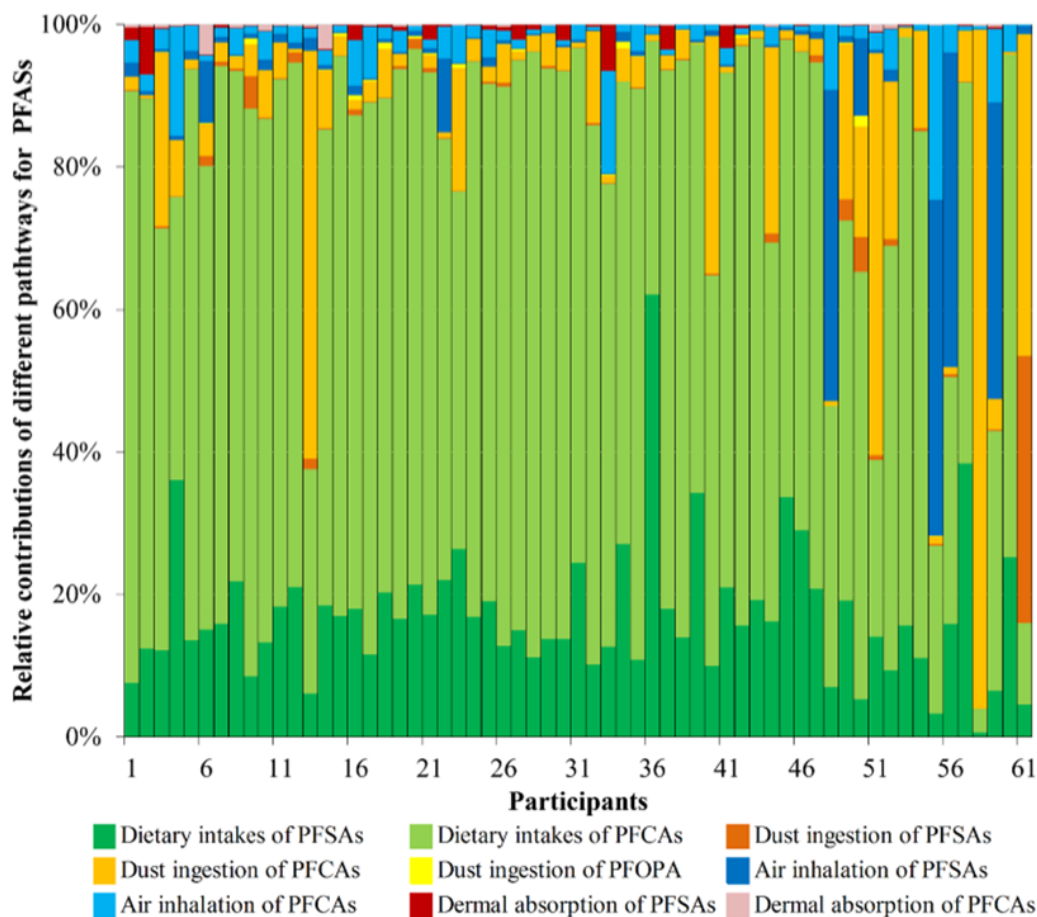
| Stofnaam | Afkorting | CAS-nummer | Structuurformule | Toepassingen |
|---|-----------|------------|---|---|
| Perfluor-octaansulfonzuur | PFOS | 55120-78-0 | $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-SO}_3\text{H}$ | Blusschuim, galvanisatie, luchtvaarthydraulica |
| Perfluor-octaanzuur | PFOA | 335-67-1 | $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-COOH}$ | Blusschuim, productie Teflon, Verpakkingsmaterialen |
| 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propanoaat | HPFO-DA | 62037-80-3 | $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-O-CFCF}_3\text{-COO}^-\text{NH}_4^+$ | Hulpstof in GenX proces om Teflon te maken. |

2. Gezondheidseffecten

Doordat de PFAS-familie uit een groot aantal stoffen bestaat, is het onmogelijk voor elke afzonderlijke stof alle gezondheidseffecten te bespreken. In deze studie wordt dan ook slechts een deel van de stoffen besproken. Verder is dit hoofdstuk een momentopname. Er komen elk jaar nog altijd nieuwe onderzoeken bij over de gezondheidseffecten van bekende en nieuwe soorten PFAS. In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij de toxicokinetiek (wat doet het lichaam met PFAS) en toxicodynamiek (wat doen PFAS met het lichaam) van de stoffen. Daarbij zullen stoffen die in Nederland in de bodem voornamelijk voorkomen (PFOS, PFOA en GenX) en de gezondheidseffecten waar de normen op gebaseerd zijn, worden behandeld. Verder wordt gekeken naar de relatie tussen deze stoffen en kanker. Uit de interviews blijkt dat bij sommige werknemers de vraag leeft of ze kanker kunnen krijgen van het werken met grond waar PFAS inzit. Dat geldt met name op momenten dat er aandacht voor PFAS in de media is. Ten slotte zal er stil worden gestaan bij het feit dat de PFAS soorten vaak in een mix in de grond voorkomen, en hoe daarmee wordt omgegaan.

2.1 Toxicokinetiek

De belangrijkste blootstellingsroute voor de doorsnee bevolking aan PFAS is ingestie (inname via het maag-darm kanaal), gevolgd door inhalatie en ten slotte opname via de huid. In figuur 1 is zijn de resultaten van een onderzoek hiernaar bij een aselechte groep mensen in Noorwegen door Poothong et al. weergegeven. Daar valt op dat bij het overgrote deel van de mensen het dieet de grootste bijdrage levert aan de intake van PFAS.



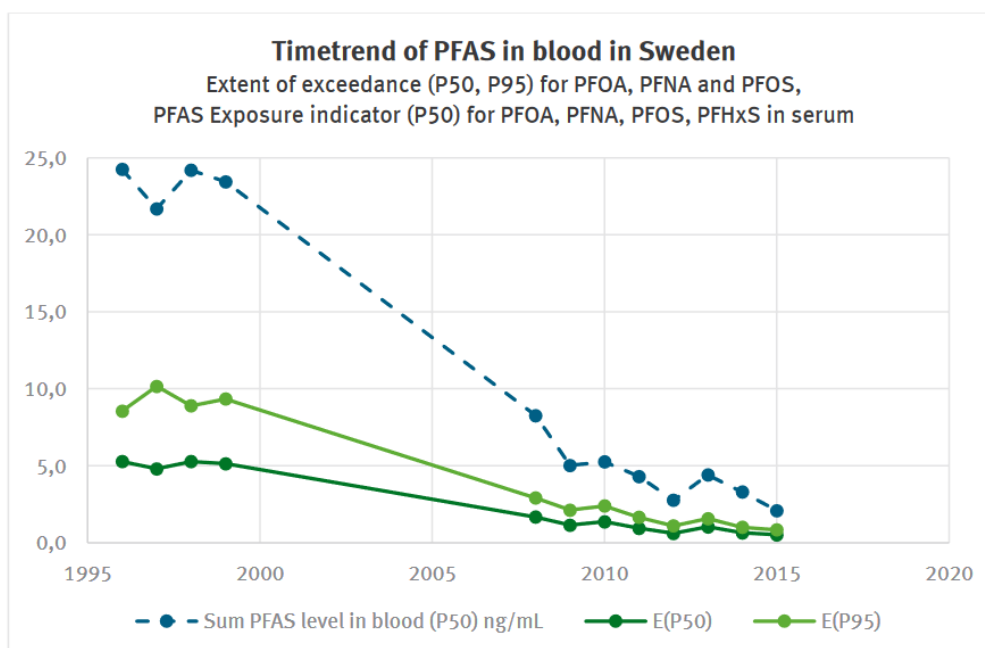
Figuur 1: Weergave van de relatieve bijdrages van verschillende blootstellingsroutes van de meerdere PFAS stoffen aan de totale blootstelling per deelnemer van de studie (Poothong et al., 2020).

Na opname wordt PFAS vervolgens verder in het lichaam verspreid. De hoogste concentraties worden gevonden in het bloed, lever en de nieren. Uitscheiding gebeurt voornamelijk via de urine en ontlasting, maar ook via moedermelk (Schrenk et al., 2020). De halfwaardetijden¹ van PFAS-soorten verschillen per stof en per persoon. Daarnaast worden met verschillende onderzoeksmethoden verschillende halfwaardetijden gemeten. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de halfwaardetijden bij de voor Nederland relevante PFAS-soorten. De halfwaardetijd van GenX is voor de mens nog niet bekend. Hiernaar zijn begin 2020 kleinschalige onderzoeken gestart. Op basis van dierexperimenten is het vermoeden wel dat het aanzienlijk korter in het lichaam blijft dan PFOS en PFOA.

Tabel 2. halfwaardetijden PFOS, PFOA in de mens (Schrenk et al., 2020).

| Stof | Halfwaardetijd |
|------|----------------|
| PFOS | 3,1-7,4 jaar |
| PFOA | 2,3 – 8,5 jaar |
| GenX | In onderzoek |

Achtergrondwaarden van PFAS in het bloed worden op Europees niveau gemonitord. De bloedwaarden van PFOS en PFOA bij de algemene bevolking dalen door sterke inperking van veel soorten PFAS (EEA, n.d.). Een mooi voorbeeld van die dalende trend voor stoffen als PFOS en PFOA in het bloed is Zweden, zie figuur 2 (Buekers et al., 2017). De figuur is een verzameling van data uit meerdere studies die in Zweden zijn gedaan. Kanttekening is wel dat er in de jaren 2012 tot 2015 een jonge onderzoekspopulatie was, die minder lang aan PFAS zijn blootgesteld en dus over het algemeen lagere waarden in het bloed hebben. Voor Nederland zijn er geen achtergrondwaarden voor PFAS in het bloed bekend. Specifiek voor mensen die met grond werken, is er niets gepubliceerd over bloedwaarden. Tijdens één van de interviews met een bedrijfsarts bleek wel dat er in onderzoek van het bloed van mensen die met PFOS- vervuilde grond hadden gewerkt en persoonlijke beschermingsmiddelen hadden gebruikt, geen verhoging was te zien ten opzichte van de achtergrondwaarden in Europa.



Figuur 2: Trend in som van PFAS (PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS) in het bloed van de Zweedse bevolking (50^e percentiel) in het blauw. Trend in de hoeveelheid overschrijding van PFOA, PFNA en PFOS ten opzichte van de Duitse richtwaarden in het bloed voor het 50^e (donkergroen) en het 95^e (lichtgroen) percentiel van de Zweedse bevolking. Allen uitgedrukt in ng/ml serum. (Buekers et al., 2017)

¹ Dit is de tijd die het duurt voordat de helft van een hoeveelheid stof uit het lichaam verdwenen is.

2.2 Gezondheidseffecten van PFOA en PFOS

2.2.1 Acute effecten

PFOS en PFOA zijn niet zozeer acuut toxisch. Slechts bij hele hoge doseringen worden er bij dierexperimenten effecten op de lever en het maagdarmkanaal gezien (Pancras et al., 2018b). De waarschuwingen over acute effecten die bij de stoffen worden vermeld zijn: oogletsel en schadelijk bij inademing en inslikken voor PFOA (ECHA, 2013) en oogletsel, ernstige huidschade en schadelijk bij inademing en inslikken voor PFOS (PubChem, n.d.).

2.2.2 Effect op de lever

De effecten van PFAS op de lever zijn al lange tijd bekend en vormden ook de basis voor de eerste gezondheidsnormen van PFAS. Dat werd toen gedaan op basis van dierstudies. Bij dieren zijn een verhoogd gewicht van de lever en hypertrofie van de levercellen gevonden (Knutsen et al., 2018). Bij mensen is er een relatie gevonden tussen PFOA en PFOS en een verhoging van het Alanine-Aminotransferase (ALAT) in het bloed (Knutsen et al., 2018). Een verhoging van dit leverenzym wijst op leverschade. In 2018 stelde het EFSA dat er waarschijnlijk een oorzakelijk verband is tussen PFOA en een verhoogd ALAT (Knutsen et al., 2018). In 2020 stelde de EFSA dat er op basis van nieuw onderzoek waarschijnlijk ook een oorzakelijk verband is voor PFOS en een verhoogd ALAT (Schrenk et al., 2020). Onduidelijk is hoe relevant de stijging van het ALAT is. De stijgingen zijn heel beperkt en er zijn geen verbanden met leverziekten als niet-alcoholische leververvetting gevonden (Knutsen et al., 2018).

2.2.3 Effect op cholesterol

Bij mensen wordt in een groot aantal studies een verband tussen hogere bloedwaarden van PFOS en PFOA en een verhoging van het totale en LDL-cholesterol gezien (Knutsen et al., 2018). De belangrijkste verklaring daarvoor is een direct effect van PFAS op de synthese van cholesterol in de lever (Bjork et al., 2011). Een tweede verklaring voor het verband is dat PFAS wordt gereabsorbeerd in de darmen. Dat geldt ook voor gal, dat weer geassocieerd is met cholesterol. Als mensen meer reabsorberen in de darmen kunnen die dus hogere PFAS-concentraties in het bloed hebben evenals hogere cholesterol waarden, zonder dat PFAS de oorzaak is. Recent is er wel een onderzoek verschenen dat aantoont dat er hogere cholesterol waarden zijn gevonden bij mensen die wonen in gebieden waar het drinkwater meer PFAS bevat (Li et al., 2020). Dat zou wel pleiten voor een oorzakelijk verband. In hun laatste risicobeoordeling concludeert de EFSA dat ze zeker zijn van een verband tussen PFOA en PFAS en een stijging van het cholesterol. Echter, de onzekerheid over de oorzakelijkheid van de relatie is toegenomen (Schrenk et al., 2020). Verhoogde cholesterolwaarden zijn relevant, omdat dat het risico op cardiovasculaire aandoeningen verhoogt (Knutsen et al., 2018).

2.2.4 Effect op de reproductie

Als de serumconcentratie van PFOS/PFOA bij de moeder toeneemt lijkt de kans op een laag geboortegewicht bij het kind toe te nemen. De EFSA geeft in het laatste rapport aan dat er waarschijnlijk een causale relatie tussen PFOS en PFOA en een lager geboortegewicht is (Schrenk et al., 2020). Omdat de verschillende studies niet allemaal hetzelfde aangeven is het moeilijk te zeggen hoeveel gram het geboortegewicht lager kan zijn door welke blootstelling. Voor andere reproductieve effecten lijkt er geen verband te zijn. De EFSA zegt dat er op dit moment heel weinig of onvoldoende bewijs voor een verband tussen PFOS/PFOA en ontwikkelingsstoornissen in kinderen, Pre-eclampsie (zwangerschapshypertensie), miskramen en verminderde vruchtbaarheid is (Schrenk et al., 2020).

2.2.5 Effect op het immuunsysteem

Inmiddels zijn er een hoop studies die een verband tussen PFOS/PFOA en een verminderde immunrespons op vaccinatie laten zien. Dat geldt voor zowel kinderen als volwassenen. EFSA heeft de laatste PFAS-norm voor de som van vier PFAS soorten (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS) op dit effect gebaseerd. Hierbij werd gekeken naar de bloedconcentratie van PFAS bij 1-jarige kinderen en een verminderde respons op vaccinatie. Vervolgens werd door modellering gekeken hoeveel PFAS de moeder mag binnenkrijgen om te voorkomen dat via de borstvoeding de kinderen teveel PFAS binnenkrijgen en slechter reageren op vaccinatie (Schrenk et al., 2020). Het is logisch om te veronderstellen dat als PFAS verband houdt met een verminderde immunrespons het ook verband houdt met het aantal infecties bij mensen. Met name bij oudere mensen lijkt dat verband er in het algemeen ook wel te zijn (DeWitt et al., 2019). Voor PFAS in het bijzonder is dat verband nog niet duidelijk naar voren gekomen in studies. Het EFSA vraagt dan ook om meer studies met objectievere maten voor infecties. Er is weinig bewijs voor een verband tussen PFOS/PFOA en astma/allergie bij kinderen (Knutsen et al., 2018).

2.2.6 Risico op kanker

Het International Agency for Research on Cancer (IARC) heeft enkel PFOA als mogelijk kankerverwekkend geclassificeerd, klasse 2B (Website IARC, n.d.). Door het EFSA is er geconcludeerd dat op basis van studies bij achtergrondconcentraties en beroepsmatige blootstellingen er beperkt bewijs is voor een verband tussen PFOS en PFOA en kanker (Knutsen et al., 2018). Het gaat dan om nier- teelbal- en blaaskanker. Hoge blootstelling betekent dat de mensen of vervuild drinkwater hebben gedronken of in fabrieken werkten waar PFAS geproduceerd of verwerkt werd. De reden dat er maar over beperkt bewijs wordt besproken, is dat de uitkomsten van de studies inconsistent zijn en er veel variatie in de blootstelling over tijd is. Verregaande conclusies kunnen er dan ook niet worden getrokken. Voor een relatie tussen kanker en blootstellingen in de orde van grootte van de achtergrondwaarde is weinig bewijs.

2.3 Gezondheidseffecten van GenX

Het productieproces GenX is veel korter geleden geïntroduceerd dan PFOS en PFOA en het is dan ook niet verwonderlijk dat er over GenX veel minder bekend is. Voor GenX zijn bijvoorbeeld nog geen epidemiologische data beschikbaar, enkel toxicologische dierstudies. Het RIVM onderzocht de beschikbare informatie van de 3 stoffen die onderdeel uitmaken van het productieproces GenX:

- 1) 2,3,3,3-tetrafluor-2- (heptafluoropropoxy) propanoaat, HPFO-DA (FRD-902)
- 2) 2,3,3,3-tertafluor-2 (heptafluoropropoxy)propaanzuur (FRD-903)
- 3) Heptafluoropropyl 1,2,2,2-tetrafluoroethyl ether (E1)

Van deze stoffen is er over HPFO-DA het meest bekend. Dit is ook de enige stof die in het bloed kan worden bepaald. Bij de dierstudies van HPFO-DA werd geconcludeerd dat het mogelijk toxisch is. Het RIVM classificeert dit als STOT RE 2 (Beekman et al., 2016). Dit staat voor Specific Target Organ Toxicity Repeated Exposures. Dat betekent dat het bij herhaaldelijke blootstelling mogelijk schadelijk is voor bepaalde organen. Daarbij gaat het met name om de lever. De classificatie is moeilijk, omdat er vaak niet relevante doseringen bij de experimenten zijn gebruikt. Ook over de carcinogeniteit is onzekerheid. Het is onduidelijk of de gevonden tumoren in de ratten ook relevant voor mensen zullen zijn. Het is waarschijnlijk niet mutageen (Beekman et al., 2016). Voor FRD-903 en E1 is nog veel minder bekend, dus is het op dit moment niet mogelijk om daar een gefundeerde uitspraak over te doen.

2.4 Combinatietoxicologie

Omdat er inmiddels 4000 PFAS soorten bestaan, is het van belang om te weten of er sprake is van combinatietoxicologie. Dat betekent dat verschillende stoffen dezelfde toxiciteit geven en bij elkaar opgeteld moeten worden bij een beoordeling. Dat lijkt bij PFAS inderdaad het geval (Bil et al., 2020). Bij de meest recente gezondheidkundige norm van de EFSA is dat al gedaan voor vier soorten PFAS, maar daar is geen weegfactor aan de verschillende stoffen meegegeven. Dat is gedaan omdat er volgens hen nog teveel onduidelijkheden bestonden om dergelijke weegfactoren toe te kennen (Schrenk et al., 2020). In een recente publicatie van het RIVM wordt een voorstel gedaan om dit voor PFAS te doen middels zogenaamde relative potency factors (RPF). Hierdoor kunnen diverse soorten PFAS bij elkaar opgeteld worden op basis van hun levertoxiciteit vergeleken met PFOA in een risicobeoordeling (Bil et al., 2020). Dit kennen we al bij andere groepen chemicaliën die dezelfde toxicologische werkingsmechanismen hebben, zoals dioxinen.

3. Grenswaarden

Voor PFAS in de bodem zijn inmiddels verschillende grenswaarden afgeleid. Het doel daarvan is het hebben van een toetsingskader. Recent zijn er door het RIVM achtergrondwaarden in de bodem bepaald. Dat is de hoeveelheid PFAS die gemiddeld in de Nederlandse grond zit op de plekken waar er geen bron van PFAS is. Eerder waren al risicogrenzen voor de mens en ecologie bepaald. In tabel 3 is een overzicht van deze grenswaarden gegeven. De achtergrondwaarden en de ecologische grenswaarden zijn het laagst en worden beschreven in het tijdelijk handelingskader. Door deze laatste waarden zijn diverse bouwprojecten stil komen te liggen.

Tabel 3. Verschillende grenswaarden in de bodem voor PFOA, PFOS en HFPO-DA (GenX). Het gaat hier om de achtergrondwaarde in Nederland, de ecologische risicogrens, de humane Serious Risk Concentration (SRC_{humana}) en indicatieve niveau voor ernstige verontreiniging (INEV).

| Waarde | PFOA (µg/kg ds) | PFOS(µg/kg ds) | HFPO-DA (GenX) (µg/kg ds) |
|--------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Achtergrondwaarde | 1,9 | 1,4 | - |
| Ecologische risicogrens* | 3 | 7 | 3 |
| SRC _{humana} ** | 1100 | 1200 | 97 |
| INEV** | 1100 | 110 | 97 |

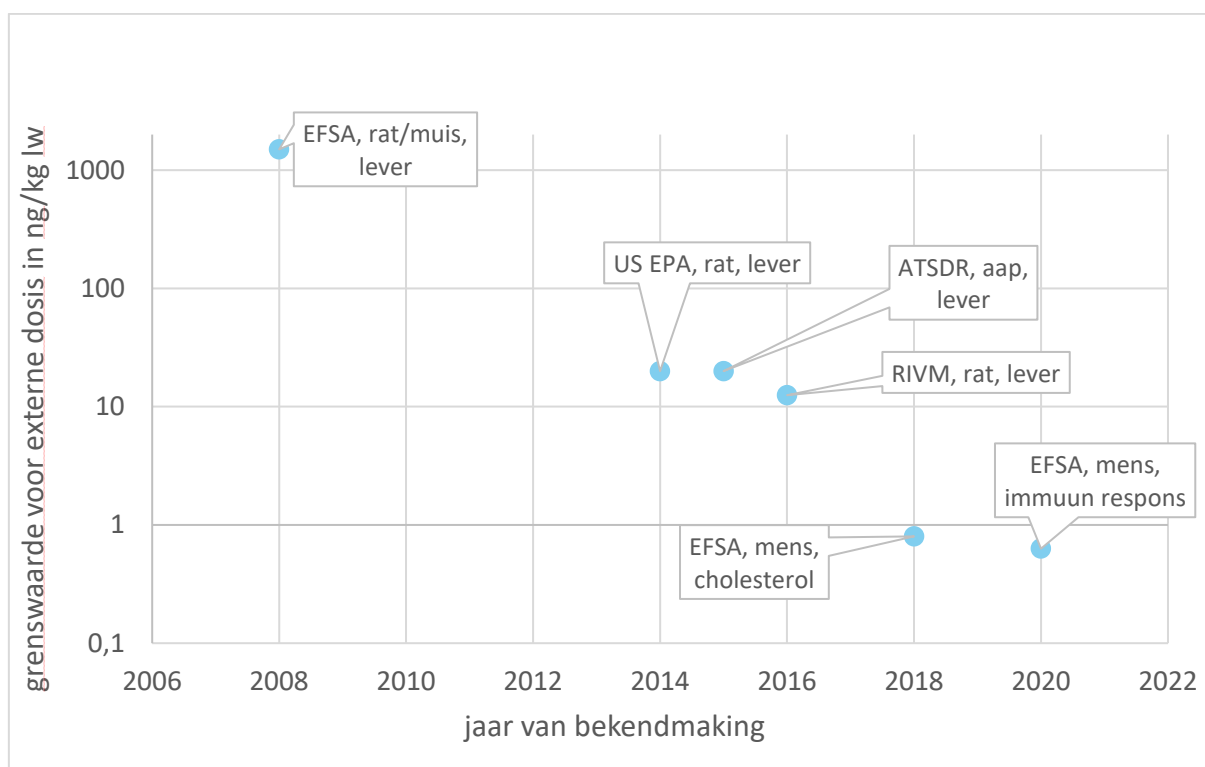
* Betreft hier de berekening voor natuur, indirect effect (A Wintersen & Otte, 2019).

**Bron INEVs en SRC_{humana}: (Arjen Wintersen & Otte, 2020)

In dit onderzoek focussen we ons op de gezondheid van de werknemers en zijn dus de humane risicogrenzen van belang. Humane risicogrenzen in de bodem zijn een vertaling van gezondheidskundige grenswaarden. Daarbij wordt een inschatting van de blootstelling voor mensen aan de mogelijk met PFAS vervuilde grond gemaakt. De gezondheidskundige grenswaarden van een stof zijn die grenzen in het bloed waaronder een negatief effect op de gezondheid verwaarloosbaar klein is. Het gaat daarbij om het meest gevoelige toxische effect. Bij PFAS zijn die waarden meestal gebaseerd op dierexperimenteel onderzoek, waarna ze vervolgens vertaald worden naar de mens met safety factoren. De gezondheidskundige waarde, ook wel Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI) voor PFOA die het RIVM in 2016 heeft bepaald, is gebaseerd op leverhypertrofie bij ratten. Voor de vertaling van de resultaten uit de studies bij ratten naar mensen is een safety factor van 10 voor gevoelige groepen en 8 voor een chronisch effect gebruikt (Zeilmaker et al., 2016). De laatste jaren heeft het EFSA epidemiologisch onderzoek, dus gegevens van mensen, gebruikt voor het afleiden van de normen. Het is interessant om te kijken naar de risicogrenzen van PFOA door de jaren heen, als voorbeeld hoe dergelijke waarden kunnen veranderen bij voortschrijdend inzicht (zie tabel 4 en figuur 3).

Tabel 4: Overzicht van de gezondheidkundige grenswaarde voor PFOA door de jaren heen. Voor elke grenswaarde is aangegeven door welke instantie het is vastgesteld (European Food and Safety Association (EFSA), United States Environmental Protection Agency (US EPA), European Chemical Agency (ECHA), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)). Verder wordt aangegeven of er grenswaarden voor het bloed en/of grenswaarden voor inname zijn vastgesteld. De grenswaarde voor de externe dosis is een dagelijkse waarde, waarbij in een enkel geval de dosis per week is teruggerekend naar een dagelijkse dosis. De verschillende instanties gebruiken verschillende termen als Reference dose (RfD) of Total Daily Intake (TDI), maar niet alle originele documenten zijn meer te achterhalen. Daardoor is niet meer van elke waarde te bepalen welke precieze benaming het indertijd had. Derhalve is enkel grenswaarde voor externe dosis als term gebruikt. Ten slotte is aangegeven op basis van welk kritisch gezondheidseffect en in welke diersoort dat is afgeleid. Alle effecten zijn chronisch tenzij anders aangegeven.

| Jaar | Instantie | Grenswaarde (Serum, ng/ml) | Grenswaarde (externe dosis, ng/kg lw/dag) | Kritisch effect | Diersoort gebruikt voor studie. | Bijzonderheden | Referentie |
|------|-----------|----------------------------|---|---|---------------------------------|---|--------------------------|
| 2008 | EFSA | - | 1500 | Lever | Rat en Muis | | (Alexander et al., 2008) |
| 2014 | US EPA | 142 | 20 | Lever | Rat | In latere versies van het EPA document wordt de lever niet meer als kritiek eindpunt genomen. | (Zeilmaker et al., 2016) |
| 2015 | ECHA | 800 | - | Reproductie (groei en overleving van muizen pups) | Muis | | (ECHA, 2018) |
| 2015 | ATSDR | 173 | 20 | Lever | Aap | Semi-chronisch | (Zeilmaker et al., 2016) |
| 2016 | RIVM | 89 | 12,5 | Lever | Rat | | (Zeilmaker et al., 2016) |
| 2018 | EFSA | 9,2-9,4 | 0,8 | Cholesterol | Mens | | (Knutsen et al., 2018) |
| 2020 | EFSA | - | 0,63 | Immuunsysteem van 1-jarige kinderen. | Mens | Gebaseerd op intake moeder en doorgifte via borstvoeding. Som PFOA, PFNA, PFHxS and PFOS. | (Schrenk et al., 2020) |



Figuur 3. Grafische weergave van trend van de grenswaarde voor externe dosis van PFOA door de jaren heen. Op de y-as is de externe dosis in ng/kg lichaamsgewicht weergegeven. De opmaak van de y-as is logaritmisch. De x-as weerspiegelt het jaar van bekendmaking van de grenswaarde door het instituut. Bij de stippen is het dier en het kritische effect van waar de grenswaarde is afgeleid, weergegeven.

Het RIVM heeft recent de meest recente waarde van de EFSA overgenomen (RIVM, 2020). Dat is een flinke stap omdat de gezondheidskundige normen van de twee instanties voor PFOA een factor 20 van elkaar verschilden. De adaptatie van de nieuwe waarde door de RIVM is interessant omdat de belangrijkste ARBO norm voor het werken met grond, de Serious Risk Concentration (SRC_{arbo}) afgeleid is van de oude RIVM norm. De bepaling van de SRC_{arbo} wordt hierna gedetailleerd beschreven.

Ondanks dat gezondheidskundige normen nog veranderen, is het nodig om tijdelijk beleidsmatig toch richtlijnen te hebben. Daarom zijn er begin dit jaar door het RIVM Indicatieve Niveaus voor ernstige Bodemverontreiniging (INEV's) vastgesteld (Arjen Wintersen & Otte, 2020). Het gaat dus om niveaus van PFAS in de grond waarbij er een mogelijk risico is voor de humane gezondheid. Deze niveaus hebben niet dezelfde status als wettelijke interventieniveaus, maar bij overschrijding dient een bevoegd gezag een weloverwogen beslissing te nemen over wat te doen met de verontreinigde grond. Overigens zal er vanwege de nieuwe gezondheidskundige waarde van het RIVM ook worden gekeken of de INEV's moeten worden aangepast (Bulder et al., 2020).

3.1 SRCarbo

Eind 2017 werd de richtlijn werken in en met verontreinigde bodem door het kennisinstituut CROW uitgebracht (TAUW, 2017). Het staat ook wel bekend als de CROW 400 en wordt door bedrijven uit sectoren die werken met grond gebruikt. Deze richtlijn is de opvolger van de P132 richtlijn die in 1998 voor het eerst uitkwam. In de CROW 400 wordt onderscheid gemaakt tussen vluchtige en niet-vluchtige stoffen en wordt het risico voor de werknemers met kleuren aangegeven. Voor niet-vluchtige stoffen speelt de SRC_{arbo} waarde een centrale rol om de veiligheidskleur te bepalen en daarmee aan te geven of er aanvullende maatregelen naast de basishygiëne nodig zijn. SRC_{arbo} is een variant van de SRC die het RIVM al langere tijd gebruikt om concentraties van stoffen in grond of water aan te geven die een gevaar vormen voor de ecologie (SRC_{eco}) of voor mensen ($SRC_{humanaan}$). De SRC_{arbo} -waarden voor PFAS zijn met de hand berekend door de blootstelling van werknemers aan grond(water) te relateren aan de "oude" TDI zoals die door het RIVM in het verleden is vastgesteld. Daarbij zijn de volgende aannames gebruikt:

Tabel 5. Aannames voor de berekening van de SRC_{arbo} waarde. Bron notitie CROW (Tol, 2019).

| | |
|---|-----------------------|
| Aanname: | Waarde: |
| Lichaamsgewicht | 70 kg |
| Blootstelling door grondingestie | 300 mg/dag |
| Stofgehalte in buitenlucht | 2,5 mg/m ³ |
| Blootstellingsduur inhalatie | 8 uur |
| Ademminuutvolume | 50 liter/minuut |
| Blootstelling door inhalatie (=stofgehalte*ademvolume * Blootstellingsduur) | 60 mg/dag |
| Totale blootstelling aan grond | 360 mg/dag |
| Correctie voor niet meenemen dermale blootstelling | 2 % |

Dat resulteert in de volgende SRC_{arbo} -waarden:

| PFOS | PFOA | HFPO-DA (genX) |
|---------------|---------------|----------------|
| 1190 µg/kg ds | 2380 µg/kg ds | 4000 µg/kg ds |

Kijkend naar de aannames valt de ingestie van 300 mg op. Deze waarde is gebaseerd op het onderzoek van Stanek et al. Daarin is gekeken naar de ingestie van 10 volwassenen waar bij een enkeling (95e percentiel) een hele hoge inname 331 mg/dag over 4 weken werd gezien (Stanek et al., 1997). Er werd in deze studie niet specifiek naar grondwerkers gekeken. De onderbouwing voor deze waarde is dus, bij gebrek aan uitgebreid onderzoek bij werknemers die met grond werken, matig. De 300 mg is hoog vergeleken met de waarde die voor volwassenen (geen beroepsmatige setting) in Nederland wordt gehanteerd, te weten 50 mg ds/dag (Hegger et al., 2009). Voor de waarden die gebruikt worden voor inademing blijkt uit het achtergrond document dat de hoeveelheid stof gebaseerd is op omstandigheden die niet vaak voorkomen in Nederland. Waarschijnlijk is dat dus een overschatting (Tol & Kraayeveld, 2019). Het ademminuut volume van 50 liter per minuut is een gemiddelde uitgaande van 1 uur zware inspanning per dag. Echter bij veel beroepen in de grondsector zou het aandeel wel eens hoger kunnen zijn, mogelijk zelfs 3 uur.

De bijdrage van dermale blootstelling kon niet worden bepaald, omdat de absorptie coëfficiënt niet bekend is van PFAS-verbindingen. Er is daarom een correctie toegepast op basis van hun analyse van andere niet-vluchtige stoffen (Tol, 2019).

Tenslotte is het belangrijk te noemen dat de SRC_{arbo} waarde al rekening houdt met combinatietoxicologie. In de CROW 400 staat beschreven hoe de verschillende soorten PFAS middels RPF teruggerekend dienen te worden naar de PFOA equivalent. Vervolgens kunnen ze worden opgeteld en de uitkomst daarvan wordt getoetst aan de SRC_{arbo}-waarde voor PFOA (Tol, 2019).

3.2 Waarden van PFAS in lucht en bloed

Naast bepalingen in de grond, kan bij arbeidshygiënisch onderzoek gekeken worden naar waarden van PFAS in het bloed van werknemers en in de lucht van de werkplek. Beiden kunnen in theorie gebruikt worden om een uitspraak te doen over de blootstelling aan PFAS.

Wanneer PFAS in het bloed wordt bepaald, wordt het ook wel biomonitoring genoemd. De gevonden waardes kunnen afgezet worden tegen de gemiddelde concentraties in de algemene bevolking om te kijken of er sprake is van een abnormaal hoge blootstelling. De concentraties in de algemene bevolking veranderen doordat de productie van PFAS steeds verder aan banden wordt gelegd. De laatste Europese waarden hebben een mediaan van 1,9 ng/ml serum (range 0,76- 4,9) voor PFOA en 7,7 ng/ml (range 1,7-27,4) voor PFOS (Knutsen et al., 2018). Voor GenX zijn geen achtergrondconcentraties bekend.

Naast de achtergrondwaarden zijn er Human Biomonitoring (HBM) waarden opgesteld door de Duitse Human Biomonitoring Commission (Apel et al., 2017). Deze waarden zijn opgesteld voor de algemene bevolking. De HBM I waarde is die waarde in het bloed of urine, waarop of onder geen schadelijke effecten van een stof zijn en er dus geen maatregelen hoeven worden genomen. Voor PFOS is dit 5 ng/ml serum en voor PFOA 2 ng/ml. De uitgangspunten zijn hier een reeks van gezondheidseffecten (Apel et al., 2017).

Ten slotte zijn er in Duitsland een aantal beroepsmatige waarden voor Biomonitoring vastgesteld, de zogenaamde BAT-Wert (Biologischer Arbeitsplatz-Toleranz-Wert) (DFG, n.d.). Dat zijn maximale waarden van stoffen in het bloed en urine die de werknemers bescherming moeten bieden. Deze hebben in Nederland geen juridische status, maar worden wel gebruikt in de arbeidshygiënische praktijk. Voor PFOS is deze 15000 ng/ml en PFOA 5000 ng/ml serum (DFG, 2020). Het grote verschil tussen de HBM waarden en de BAT-Werten kan deels verklaard worden door andere kritische eindpunten en safety factoren. Het kritische eindpunt bij de BAT-Werte is levertoxiciteit bij ratten, vastgesteld in de jaren nul van deze eeuw (Visser et al., 2016). Dat verschilt dus van de HBM waarden die gebaseerd zijn op een reeks gezondheidseffecten uit recenter onderzoek. De safety factoren die toegepast worden voor de BAT-Werten zijn lager omdat er geen rekening gehouden hoeft te worden met gevoelige groepen (Visser et al., 2016).

Halfwaardetijden voor PFAS zijn lang en andere bronnen van PFAS hebben een grote invloed op de concentratie in het bloed. Daarom moeten bronnen van PFAS buiten het werk uitgebreid in kaart worden gebracht, voordat uitspraken over blootstelling op het werk op basis van biomonitoring worden gedaan.

Een tweede methode zou kunnen zijn om luchtmetingen naar PFAS te doen. Dit wordt bij grondwerk tot op heden niet gedaan. In Duitsland zijn voor een aantal PFAS-soorten arbeidsgelateerde grenswaarden in de lucht opgesteld, de zogenaamde Maximale Arbeitsplatz-Konzentration-Werten (MAK-Werten). Deze waarden zijn algemeen, dus niet specifiek voor grondwerk. De voor de Nederlandse situatie relevante waarden worden in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6. Overzicht van Tijd Gewogen Gemiddelde (TGG) 8 uren en 15 minuten arbeidshygiënische grenswaarden van PFOS, PFOA en HPFO-DA. Waarden uitgedrukt in mg/m³. Voor HPFO-DA is alleen een lange termijn waarde bekend.

| Stof | TGG-15 min | TGG-8 uur |
|----------------------|------------|-----------|
| PFOS ² | 0,08 | 0,01 |
| PFOA ³ | 0,04 | 0,005 |
| HPFO-DA ⁴ | - | 0,14 |

² Bron:(DFG, 2020)

³ Bron:(DFG, 2020)

⁴ Bron: (REACH, 2019)

4. Verspreiding en voorkomen PFAS in Nederland

Om een indruk te krijgen van de blootstelling aan PFAS van mensen die met grond werken, is het belangrijk te weten hoeveel PFAS er in de Nederlandse grond zit. De afgelopen jaren zijn daar meerdere onderzoeken naar gedaan door het RIVM en het Expertisecentrum PFAS (Pancras et al., 2018a; Pancras & van Bentum, 2018; A Wintersen et al., 2020). Daarnaast is er op overzichtskaarten veel informatie te vinden over specifieke locaties zoals op de overzichtskaarten van omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied en de atlas leefomgeving^{5&6}. Er kan een duidelijk verschil gemaakt worden tussen de achtergrondwaarde en specifieke risicoplekken. Uit die onderzoeken en kaarten blijkt namelijk dat er enkele hotspots in Nederland zijn waar de waarden hoog zijn, maar dat buiten die plaatsen PFAS in veel lagere concentraties in de grond voorkomt. Hieronder zal daar dieper op ingegaan worden.

4.1 Achtergrondwaarde

Dit jaar is voor het eerst de achtergrondwaarde in Nederland voor een groot aantal PFAS-verbindingen bepaald (A Wintersen et al., 2020). In dat kader werden er op 100 natuur en landbouw locaties monsters genomen van de bodem. Daarnaast werden ook in stedelijk gebied 100 locaties bemonsterd om een inschatting te maken van de gehalten in 'beïnvloed' gebied. Uit de analyses bleek dat enkel PFOS en PFOA structureel werden teruggevonden. In slechts 3 monsters (allen uit stedelijk gebied) werd GenX boven de detectiegrens (0,1 µg/kg ds) van de gebruikte analysemethode aangetroffen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 7. De gemiddelden van PFOS en PFOA zijn anders dan de uiteindelijke achtergrondwaarden die door het RIVM zijn vastgesteld; 1,4 µg/kg ds (PFOS) en 1,9 µg/kg ds (PFOA). Dat komt omdat de wettelijke achtergrondwaarden gebaseerd zijn op het 95 percentiel.

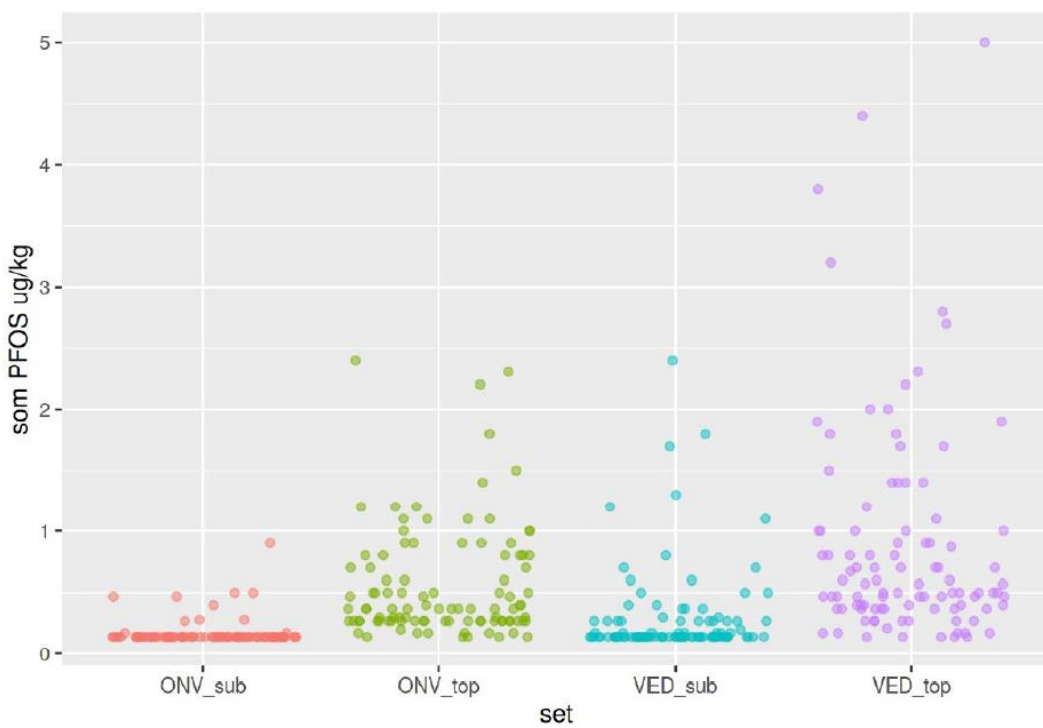
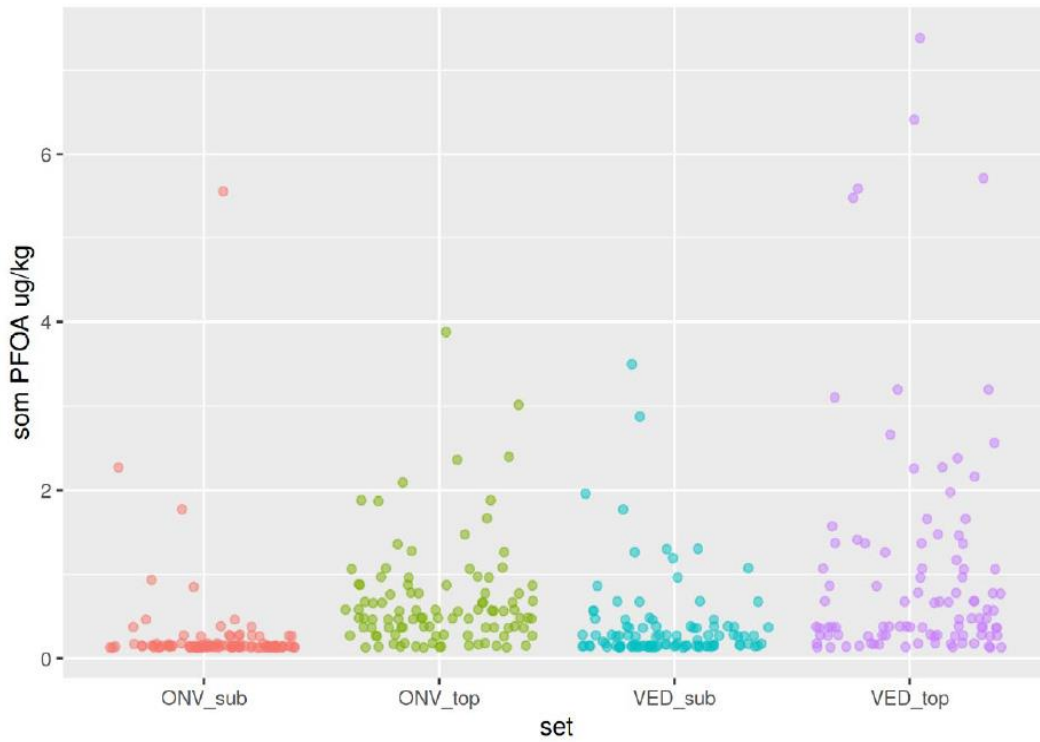
Tabel 7. Gemiddelde concentraties in µg/kg ds voor PFOS en PFOA in de bovenste grondlaag (0-20 cm) en een diepere (50-100 cm), standaarddeviatie tussen haakjes. Bemonstering van 201 locaties. (A Wintersen et al., 2020)

| Stof en grondlaag | Natuur en Landbouw | Bebouwd gebied |
|-------------------|--------------------|----------------|
| PFOS | | |
| 0-20 cm | 0,56 (0,46) | 0,89 (0,89) |
| 50-100 cm | 0,17 (0,11) | 0,30 (0,37) |
| PFOA | | |
| 0-20 cm | 0,70 (0,63) | 1,1 (1,4) |
| 50-100 cm | 0,28 (0,60) | 0,40 (0,53) |

In de afbeeldingen 4 en 5 is de spreiding van de gevonden waarden voor PFOS en PFOA weergegeven in jitterplots. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen landbouw/natuur en stedelijk/industriële gebied.

⁵ <https://gisviewer.odnzkg.nl/index.php?@PFOS#>

⁶ <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten>



Figuur 4 (PFOA) en 5 (PFOS), gevonden waarden in onderzoek naar achtergrondwaarden PFAS in Nederland, Jitterplots overgenomen uit Wintersen et al., 2020. ONV = Landbouw/natuur, VED = Stedelijk/industrie. top = 0 – 20 cm-mv, sub = 50 – 100 cm-mv. Op de y-as is de som van de isomeren van PFOA en PFOS per meting uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{kg}$ ds.

4.2 Hotspots

In 2018 heeft het expertisecentrum PFAS een aantal onderzoeken gedaan naar het vóórkomen van PFAS in de Nederlandse bodem. Één daarvan, deelrapport B, keek specifiek naar potentiële risicolocaties (Pancras et al., 2018a). In dit rapport werden 29 risicolocaties die zijn aangedragen door een klankbordgroep, bekeken. Het expertisecentrum benoemt de volgende locaties als risicovol:

- PFAS-producerende locaties;
- Locaties waar Teflon is verwerkt;
- Galvanische industrie;
- Locaties waar tijdens incidenten branden zijn geblust;
- Brandweer oefenplaatsen;
- Militaire oefenplaatsen en vliegvelden;
- Burgervliegvelden.

Wat niet door het expertisecentrum is genoemd als risicovolle locatie, zijn voormalige locaties van de glastuinbouw. De omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied geeft aan dat er op meerdere locaties waar glastuinbouw stond, sterk verhoogde concentraties PFOS zijn aangetoond. Oorzaak hiervoor kan het intensief gebruik van PFAS-houdende productverbeteraars zijn (Overmars & van der Meulen, 2020).

Bekende hotspots in Nederland zijn Schiphol (blusschuim), Dordrecht (Productie Gen-X en tot 2012 PFOA bij Chemours) en Helmond (bedrijf dat Gen-X houdende producten droogde). Er is geen duidelijk overzicht van de maximale concentraties PFAS die in de grond in Nederland worden gevonden, maar van de risicolocaties is wel het een en ander bekend. Uit kaarten blijkt dat bij de bekendste hotspot, dus op en rondom Schiphol, maar sporadisch waarden boven de 10 µg/kg ds PFOS worden gevonden met een uitschieter naar 519 µg/kg ds (*GisViewer Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied*, n.d.). In Helmond werden voor Gen-X een uitschieter tot 1300 µg/kg ds en voor PFOA 380 µg/kg ds gevonden op het terrein van de bronfabriek Custom Powders (*Memo Samenvatting Data Grond- En Grondwater Fase 1, 2 En 3 in Helmond.*, 2019). Deze waarden verschillen sterk tussen de grondlagen en buiten het terrein lopen de concentraties snel terug tot uiteindelijk waarden ruim onder de 20 µg/kg ds voor beide stoffen. Op meer dan 500 m afstand van de fabriek zijn de waardes weer genormaliseerd.

Het beeld zoals hierboven wordt beschreven komt ook naar voren uit de gesprekken met betrokkenen. Bodemdeskundigen geven aan dat ze nimmer PFAS waardes zijn tegengekomen die boven de 75% van de SRC_{carbo} waarde (PFOS: 1190 µg/kg ds, PFOA: 2380 µg/kg ds, GenX: 4000 µg/kg ds) uitkomen. In enkele gevallen komt de waarde bij een potentiële risicolocatie boven de INEV-waarde uit, daarbuiten in 99,9 % van de gevallen niet, aldus één van de geïnterviewden. Uit de gesprekken blijkt ook dat het voornamelijk om PFOS en PFOA gaat. In één geval berustte de overschrijding op een precursor, te weten gefluoreerde sulfonamide (FOSA).

4.3 Verhouding dieet en werk

Om een indruk te krijgen wat de verhouding zou kunnen zijn tussen beroepsmatige inname en ingestie van PFAS via het dieet voor een Nederlandse werknemer die met grond werkt, volgt hieronder een voorbeeldberekening.

Stel dat de gemiddelde concentratie PFOA in de Nederlandse bodem waar de werknemer mee werkt 7 microgram/kg ds is. Deze aanname wordt verder onderbouwd in hoofdstuk 11. Er wordt geschat dat een werknemer van 70 kg die met grond werkt, 360 mg grond per dag binnenkrijgt (zie tabel 5, pagina 14). Dat geeft een blootstelling van $7 \times 360 \times 10^{-6} = 0,00252 \mu\text{g}$ per dag = 2,52 ng/dag. Rekening houdend met het lichaamsgewicht is dat 0,036 ng/kg lw per dag. Als dat afgezet wordt tegen de inname van de gemiddelde Nederlander via het dieet in 2010, namelijk 0.2 ng /kg lw per dag (Noorlander et al., 2011), is de verhouding ongeveer 1: 5. In deze berekening krijgen werknemers 5 keer zoveel PFOA via voeding binnen als via het werk.

Dat voeding een grotere invloed heeft op inname van PFOA bij werknemers dan de grond waar ze mee werken is vrij robuust. Om een gelijke inname tussen voeding en werk te krijgen, zou een werknemer gemiddeld moeten werken met grond die 5 keer zoveel PFOA en dus gemiddeld 35 µg/kg ds PFOA bevat. Uitgaande van een concentratie van 100 µg/kg ds PFOA per bronlocatie (zie hoofdstuk 11) kan berekend hoe lang de werknemer in dergelijke bronlocaties moet werken.

Uitgaande van de volgende parameters (voor achtergrond, zie hoofdstuk 11):

X= aantal jaar werkzaam in bronlocaties

1,67 = aantal $\mu\text{g}/\text{kg}$ ds PFOA buiten bronlocaties

40 = totaal aantal werkzame jaren

Dan is $100X + 1,67 \times (40-X) = 35 \times 40$

Wordt $98,23X = 1333,2 \mu\text{g}/\text{kg}$ ds

X= 13,57 jaar

Een werknemer zal dus 13,57 jaar moeten werken op risicolocaties om net zoveel PFOA binnen te krijgen via het werk als via het dieet. Uitgaande van 0,57 jaar per project (zie hoofdstuk 11) zijn 13,57 jaar bijna 24 projecten.

5. Blootstelling in de praktijk

In de voorgaande hoofdstukken is de toxiciteit van PFAS, de actuele normen en de hoeveelheid PFAS in de Nederlandse bodem beschreven. In dit hoofdstuk zal gekeken worden naar de praktijk van het werken met grond. Daarbij zullen de wetgeving en de implementatie daarvan, de verschillende beroepen en de arbeidshygiëne bij het grondwerk aan bod komen.

Wanneer er een opdracht ligt voor bouwwerkzaamheden moet de opdrachtgever een veiligheid- en gezondheidsplan (V&G-plan) (laten) opstellen. Als er grondwerkzaamheden verricht moeten worden zal er onderzoek moeten plaatsvinden naar eventuele vervuilingen in de bodem. Vervolgens moet het bedrijf dat de werkzaamheden uitvoert op basis van het plan van de opdrachtgever, zelf ook een plan opstellen om hun werknemers te beschermen (*De Inspectie SZW En de CROW 400-Richtlijn*, 2019). In 2017 verscheen het laatste onderzoek van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) naar de naleving hiervan. Hieruit bleek dat bij 44 % van de aannemers de veiligheid niet in orde was (SZW, 2018). In de helft van de gevallen had dit te maken met onvoldoende onderzoek naar verontreinigingen in de grond. De opdrachtgever had onvoldoende onderzoek gedaan of laten doen. Echter, bij het ontbreken van die gegevens dient de aannemer dit te doen. Tijdens de interviews met de sector bleek dat een dergelijk V&G-plan altijd wordt opgesteld, waarin bodemonderzoek een vast onderdeel is. In eerste instantie wordt dat gedaan door historisch onderzoek en bodemkwaliteitskaarten. Als het historisch onderzoek vermoeden geeft voor een hotspot voor PFAS, bijvoorbeeld een voormalig oefenterrein voor de brandweer, zullen er monsters uit de bodem worden genomen om te onderzoeken op PFAS. De waarden uit de bodemkwaliteitskaarten of uit het laboratoriumonderzoek kunnen dan door de aannemer worden getoetst aan de SRC_{arbo}-waarde. Op basis daarvan kunnen eventuele aanvullende beschermingsmaatregelen worden genomen.

Op dit moment is het nog niet verplicht om standaard de grond waarin gewerkt wordt, te testen op PFAS. Een uitzondering is, wanneer er grond verplaatst moet worden. Dan is een bepaling naar PFAS door de initiatiefnemer verplicht (IenW, 2019). Voor de andere gevallen geldt, dat er enkel laboratorium onderzoek gedaan wordt als de locatie verdacht is. Als er grond tijdelijk uitgeplaatst moet worden, bijvoorbeeld bij het leggen van kabels, hoeft dat niet. Dan zal het onderzoek naar de risico's op basis van bodemkwaliteitskaarten gebeuren tenzij er een bron wordt vermoed. De mate van kennis over de bodemsamenstelling hangt dus af van de situatie waarin de werkzaamheden worden verricht en de kwaliteit van het vooronderzoek naar de historie van de grond.

In de bouw zijn er vele beroepen die in aanraking komen met grond en dus een potentieel risico lopen wanneer dat veel PFAS zou bevatten. Echter niet elk beroep kent dezelfde blootstelling. Op basis van de eigenschappen (tijd effectief werkzaam met grond, werk in risicogebieden etcetera) lijken kabelleggers, bodemsaneerders en baggeraars een hoger risico te lopen dan andere beroepsgroepen. Maar ook tussen die beroepen is verschil. Zo is er bij baggeraars en bodemsaneerders veel meer bekend over de concentraties PFAS in het slib of in de bodem, waardoor al preventief aanvullende veiligheidsmaatregelen kunnen worden genomen. Overigens is er bij de geïnterviewden nog nooit van dusdanige hoge PFAS waarden sprake geweest dat er aanvullende maatregelen moeten worden genomen.

Vaak worden er in interviews een aantal zaken genoemd die sowieso al binnen de basis hygiëne vallen. Te denken valt aan:

- Het aanbieden van wasgelegenheid.
- Het dragen van een overall en zo nodig handschoenen.
- Het verbieden van eten, drinken en roken op de werkplek.
- Het schoonmaken van schoenen en werkkleding.
- Het gesloten houden van ramen en deuren van rijdend materieel
- Het wassen van de handen.

Niet toevallig is bij de bodemsanering de basis hygiëne strenger dan bij de andere beroepen. Zo wordt er standaard gewerkt met handschoenen en is er een scheiding tussen vuile en schone ruimten.

Naast de basis hygiëne spelen beheersmaatregelen een belangrijke rol. Ten eerste is er het advies om de cabines van machines gesloten te houden tijdens het werk. Daarnaast moet stofvorming worden voorkomen. Voor de stofvorming is de laatste jaren steeds nadrukkelijker aandacht gekomen binnen de bouw. Wanneer er kans is op stofvormig (droge dagen) of er een klasse aanduiding voor verontreinigde grond is (veiligheidsklassen oranje, rood en zwart), moet het vochtgehalte in de grond boven de 10% zijn en ook daadwerkelijk worden gemeten (SZW, 2018). Alle geïnterviewden relevant voor dit onderwerp, gaven aan hier actief beleid op te voeren.

6. Discussie

De centrale onderzoeksvraag van dit rapport is: zijn er gezondheidsrisico's door PFAS voor werknemers die met grond werken in Nederland? De resultaten van de interviews en literatuuronderzoek zijn in de voorgaande hoofdstukken beschreven. Hieronder zullen de belangrijkste bevindingen voor de drie deelgebieden kritisch worden besproken te weten; gezondheidseffecten, aanwezigheid in de Nederlandse bodem en blootstelling van werknemers.

6.1 Gezondheidseffecten

Er zijn vele dierstudies naar de toxische effecten PFOS en PFOA en de laatste jaren zijn daar steeds meer epidemiologische studies bijgekomen. Over HPFO-DA is veel minder bekend, omdat het nieuwer is en vooral in Nederland in de bodem voorkomt. PFOS en PFOA kunnen een verhoging van het leverenzym ALAT, een verminderde immuunrespons op vaccinatie en mogelijk een cholesterol verhoging geven. PFOA geeft mogelijk een hoger risico op kanker. Voor HPFO-DA zijn de effecten op de gezondheid van de mens nog onduidelijk. Het RIVM heeft de oude norm voor dagelijkse inname van PFOA en PFOS gebaseerd op levereffecten in dierstudies. EFSA heeft haar norm uit 2020, die veel lager is, gebaseerd op het effect op de immuunrespons bij vaccinatie.

De belangrijkste gezondheidsnorm voor het werken met grond is de SRC_{Carbo} norm. Hieraan ligt een model voor blootstelling aan grond bij werknemers ten grondslag. Deze blootstelling wordt gecombineerd met de oude TDI van het RIVM om een maximale waarde van PFAS in de grond vast te stellen. De aannames voor het model zelf zijn conservatief, ondanks de mogelijk onderschatte inname via ademhaling. Hierdoor kan worden aangenomen dat, wanneer er met grond gewerkt wordt dat een gehalte heeft minder dan de SRC_{Carbo}-waarde, het met de huidige kennis, veilig werken is.

Nu het RIVM de norm van de EFSA overneemt zal dat waarschijnlijk wel gevolgen hebben voor de hoogte van de SRC_{Carbo} norm. CROW, het instituut dat de SRC_{Carbo} norm voor PFAS heeft vastgesteld, is de aangewezen entiteit om hier een uitspraak over te doen. Er zijn inhoudelijk een paar punten die meegenomen kunnen worden. Verminderde reactie op vaccinatie is ook gezien bij volwassenen, maar deze hele specifieke lage waarde is gebaseerd op de reactie van 1 jarige kinderen na borstvoeding. Arbeidskundige grenswaarden worden over het algemeen afgestemd op het bieden aan veiligheid aan een gezonde populatie van mannelijke werknemers waarbij de zwangere vrouw en het ongeboren kind vanuit de wetgever extra beschermd dienen te worden (Diemel et al., 2009). De vraag is of een dergelijke constructie (dus grenswaarden voor de gezonde niet-zwangere populatie aangevuld met extra wettelijke bescherming voor de zwangere) voor PFAS voldoende bescherming biedt. De lange halfwaardetijd van de verschillende soorten PFAS maakt die bescherming moeilijker. Het gebruiken van de EFSA norm zou wel zekerheid bieden, omdat het alle groepen beschermt. Het RIVM heeft zelf ook nog vragen over de EFSA norm. Zo is uit de dosis respons curve niet goed op te maken bij welke concentratie het effect optreedt. Verder is volgens hen de mengseltoxiciteit nog niet goed uitgewerkt in de EFSA opinie (RIVM, 2020).

Er is waarschijnlijk sprake van combinatietoxicologie, het RIVM heeft daarvoor het begrip Relative Potency Factors ingevoerd. Dat wordt ook gebruikt bij een beoordeling van de grond in SRC_{Carbo}-waarden. In de toekomst zal er nog meer duidelijkheid moeten komen over het meenemen van andere PFAS varianten. Nu worden veel stoffen niet getest of niet gemeten omdat ze de detectielimiet niet overschrijden. Als er heel veel varianten net onder de detectielimiet zitten in een monster, kun je bij elkaar opgeteld door combinatietoxicologie toch een relevante hoeveelheid PFAS hebben die je nu mist.

Over het algemeen krijgen mensen het grootste gedeelte van PFAS binnen door ingestie, gevolgd door inhalatie en ten slotte via opname door de huid. Bij ingestie geldt dat het overgrote deel het door het dieet binnenkrijgt, uitzonderingen daargelaten. Dat is af te leiden uit zowel onderzoek in de algemene bevolking als bij de berekening voor de SRC_{Carbo} norm voor de werknemer. Als we specifiek naar mensen die met grond werken kijken, zal de inname door het dieet voor het merendeel hoger zijn ten opzichte van de hoeveelheid PFAS die ze bij hun werkzaamheden binnenkrijgen. Dat betekent dat eventuele metingen van PFAS in het bloed veel sterker beïnvloed kunnen worden door het dieet dan door werkzaamheden. Het is daarom ook niet aan te bevelen om zonder context standaard PFAS

in bloed te bepalen. Hoge uitslagen kunnen net zo goed door het dieet veroorzaakt worden. Bij mensen die langdurig werken met grond met hogere PFAS-gehalten, of een abnormale hoge blootstelling hebben aan de grond (bijvoorbeeld door stofvorming of bijzonder zware lichamelijke inspanning), kunnen bloedbepalingen wel van meerwaarde zijn. Een goed opgezette case-control studie is daar het meest geschikt voor.

6.2 Verspreiding in Nederland

PFOS, PFOA en in mindere mate GenX zijn verreweg de belangrijkste PFAS-soorten die in Nederland voorkomen. Ze zijn heterogeen verspreid, in de praktijk betekent dit dat er in heel Nederland een lage achtergrondconcentratie is, met enkele bronlocaties waar de concentratie een veelvoud van de achtergrondwaarde is. Echter, zelfs op de bronlocaties wordt de SRC_{arbo}-waarde niet of nauwelijks gehaald. Dat is belangrijk omdat de SRC_{arbo} uitgaat van een gemiddelde chronische blootstelling tijdens de loopbaan. Daarom is het onwaarschijnlijk dat Nederlandse werknemers die met grond werken de afgelopen jaren hoeveelheden PFAS hebben binnengekregen waar ze gezondheidseffecten van kunnen verwachten.

Er is op papier een goed systeem om werknemers te beschermen tegen hoge PFAS concentraties in de bodem. De zwakke plek van het systeem is wanneer er alleen in grond geroerd wordt, en deze niet wordt verplaatst. Dan wordt er niet standaard een laboratoriumonderzoek gedaan en zal de effectiviteit van het V&G-plan afhangen van de kwaliteit van het (historisch) vooronderzoek. Het mag dus geen plak en knipwerk worden uit vorige V&G-plannen. Er moet elke keer kritisch naar de situatie gekeken worden en bij twijfel verder onderzoek gedaan worden. Een valkuil daarbij is dat bepaalde bronnen minder bekend zijn, zoals de glastuinbouw (Overmars & van der Meulen, 2020). Daarnaast zijn de marges op veel projecten klein, waardoor er het risico bestaat van beknibbeling op dergelijke onderzoeken. Ook wordt er vaak van uitgegaan dat er geen afwijkende werkzaamheden met grond worden uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld zeven. Bij dergelijk werk kan de blootstelling hoger liggen en het V&G plan onvoldoende daarop inspelen.

PFOA, PFOS en HPFO-DA staan op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). Dat betekent dat er regels voor emissie aan verbonden zijn. PFOA wordt genoemd op de NIET-limitatieve lijst van voor de voortplanting giftige stoffen van SZW (SZW, 2020). Er wordt niet gespecificeerd op welk gezondheidseffect van PFOA dit gebaseerd is. Waarschijnlijk wordt hier het effect op geboortegewicht bedoeld. Daarnaast vallen stoffen die via de borstvoeding schade aan het kind toebrengen hier ook onder. PFOA vermindert via borstvoeding de immuunrespons op vaccinatie bij jonge kinderen. Een aanduiding als *voor de voortplanting giftige stof*, heeft tot gevolg dat de werkgever aanvullende gegevens moet registreren over de hoeveelheid van de stof, het aantal werknemers dat er mee in aanraking komt en welke arbeid zij verrichten moet noteren, zie artikel 4.2a Arbeidsomstandighedenbesluit (*Arbeidsomstandighedenbesluit*, 2020). Dat zal in de praktijk lastig zijn voor de werkgever.

Een onzekere factor voor de toekomst is het gebruik van nieuwe soorten PFAS en de verwerking van materialen die PFAS bevatten. De bodemsamenstelling anno nu kan daarmee anders zijn dan de bodemsamenstelling in de toekomst. Mochten er andere PFAS soorten in Nederland komen of wanneer PFAS-houdende materialen door onjuiste verwerking in significante hoeveelheden in de bodem terechtkomen, dient de risicoanalyse opnieuw gedaan te worden.

6.3 Blootstelling in de praktijk

Van de beroepen die met grond werken lijken de kabelleggers, de bodemsaneerders en baggeraars het grootste risico te lopen om met PFAS in aanraking te komen. Dat komt door de aard van het werk en het soort grond waar ze mee werken. In beroepen waar grond verplaatst wordt, zoals bij baggeraars, zal door de strenge ecologische normen voor grond en het gebrek aan plaatsen waar vervuilde grond heen kan, het vaak duidelijk zijn wanneer er met PFAS vervuilde grond gewerkt wordt. Kabelleggers lopen juist een risico om met grond te werken waar onverhoopt toch PFAS in blijkt te zitten zonder dat dit vooraf bekend was. Als gekeken wordt naar de blootstelling in de praktijk zijn veel aannames voor de vaststelling van de SRC_{arbo} waarde conservatief, met uitzondering van het adem-minuut volume. Dat betekent dat de grenswaarde daardoor laag uitkomt. Basishygiëne waaronder handhygiëne en het voorkomen van stoffige werkomstandigheden spelen in de praktijk een belangrijke rol bij de hoogte van de blootstelling. De hoge aannames voor ingestie bij de bepaling van de SRC_{arbo} norm gaan bijvoorbeeld uit van stof op

het gezicht dat met de handen of via zweet uiteindelijk in de mond komt. Het is niet ondenkbaar dat werknemers aan het eind van de dag vuile handen en stof in de neus hebben. Aandacht hiervoor blijft daarom belangrijk.

Buiten een PFAS bepaling in grond zijn er op arbeidshygiënisch gebied weinig tools om kwantitatief de blootstelling aan PFAS te bepalen. Biomonitoring lijkt beperkt toepasbaar. Dat komt door de invloed van het dieet, de lange halfwaardetijden van PFOS en PFOA en de incidentele blootstelling van werknemers aan PFAS. Verder is het de vraag welke grenswaarden gebruikt moeten worden bij biomonitoring. Het verschil tussen de beroepsmatige grenswaarden (BAT-Wert) en de grenswaarden voor de algemene bevolking (HBM waarden) is groot. Dit is voor een deel gangbaar, maar komt ook omdat de beroepsmatige waarden uitgaan van gezondheidseffecten die in het verleden als kritisch werden beschouwd. Inmiddels zijn er bij de grenswaarden voor de algemene bevolking nieuwe strengere kritische effecten gebruikt. Daardoor lijken de beroepsmatige waarden achterhaald. Daarnaast lijkt het niet wenselijk dat de bloedwaarden van PFAS bij de werknemers veel hoger dan bij de algemene bevolking zijn. De reden daarvoor is dat de bijdrage van het werken met grond aan de totale inname van PFAS bij werknemers gering lijkt te zijn. Veel hogere waarden in het bloed dan bij de algemene bevolking zou kunnen betekenen dat er heel veel wordt gewerkt in met PFAS vervuilde grond en de blootstelling hoog is.

Luchtmetingen zouden een andere tool kunnen zijn. Het meten van PFAS in de lucht is alleen in de PFAS-industrie gangbaar. Het zou bij grondwerk in speciale gevallen toegepast kunnen worden, bijvoorbeeld als er gewerkt wordt in hotspots en de blootstelling vooraf niet goed ingeschat kan worden. Dat laatste kan het geval zijn als er afwijkende werkzaamheden worden verricht zoals het zeven van grond.

Vanuit de basishygiëne wordt er regelmatig geadviseerd handschoenen en laarzen te gebruiken. Aanvullende persoonlijke beschermingsmiddelen worden in de regel niet gebruikt doordat waardes altijd ruim onder de SRC_{Arbo} norm blijven. Er kan een kanttekening geplaatst worden bij de interviews. De professionals komen uit het netwerk van Arbo-Unie en zijn daardoor een selectieve groep. Ze werken bij bedrijven die veel contact hebben met een Arbo-dienst. Dat kan betekenen dat ze gemiddeld de zaken omtrent arbeidshygiëne beter op orde hebben. Ten slotte waren ze ook bereid een interview te geven. Het is voorstelbaar dat mensen dit vooral doen als ze de werkomstandigheden goed geregeld hebben.

7. Conclusie

De centrale vraag van dit onderzoek was: zijn er gezondheidsrisico's door PFAS (PFOS, PFOA en GenX) voor werknemers die met grond werken in Nederland? Concluderend kun je stellen dat de risico's op dit moment erg klein zijn. Daar zijn een aantal redenen voor:

- Werknemers komen over het algemeen niet in aanraking met grond met PFAS waarden die een gezondheidsrisico vormen.
- Wanneer werknemers wel in aanraking komen met PFAS vervuilde grond is het hoogst onwaarschijnlijk dat ze daar ook daadwerkelijk gezondheidsproblemen van ondervinden. Dat heeft te maken met de relatief lage waarden in Nederlandse grond en de relatief korte duur van de blootstelling.
- Uit onderzoek naar PFAS in het dieet van Nederlanders en de hoeveelheid PFAS in de Nederlandse bodem kun je opmaken dat de werknemers in de grondsector waarschijnlijk meer PFAS binnenkrijgen door het dieet dan door het werk.

Dit betekent niet dat deze kleine risico's reden zijn voor bedrijven in de grondsector om geen aandacht aan de blootstelling van werknemers aan PFAS te schenken. In sommige gevallen, zoals bij langdurig werk in hotspots, of bij werkzaamheden waarbij de blootstelling aan grond verhoogd is, zijn er wel degelijk risico's voor werknemers. Daarnaast is het systeem om werknemers te beschermen met V&G plannen kwetsbaar. Als bij het opstellen van dergelijke plannen het onderzoek naar PFAS in de grond gebrekkig is, kunnen werknemers onverhoopt toch blootgesteld worden aan grotere concentraties PFAS dan gedacht.

Verder zijn er een aantal zaken die de komende jaren nog opgehelderd moeten worden:

- Wat zal de SRCarbo waarde worden nu het RIVM de recente gezondheidkundige waarde van de EFSA overneemt?
- Blijft de huidige concentratie van PFAS en samenstelling van verschillende PFAS-soorten in de Nederlandse bodem komende jaren stabiel? Bij gebruik van nieuwe soorten PFAS of het niet goed verwerken van de huidige PFAS-houdende materialen kan dat veranderen.

Ten slotte is een belangrijke andere conclusie van dit onderzoek, dat periodieke bepaling van PFAS in het bloed van werknemers die met grond werken niet bijdragend is. Het dieet levert een grote bijdrage aan de intake van PFAS en de halfwaardetijden zijn over het algemeen lang, waardoor een verhoging moeilijk aan specifieke werkzaamheden te relateren is. PFAS soorten met een kortere halfwaardetijd zoals HPFO-DA vormen hier een uitzondering op. Maar voor deze stof geldt dat de halfwaardetijd voor mensen nog niet vastgesteld is. Andere maatregelen als basis hygiëne en goed milieukundig onderzoek voor een V&G plan, zijn het belangrijkste om werknemers te beschermen tegen PFAS.

8. Antwoorden op sub vragen

Hieronder zullen kort alle antwoorden op de vooraf gestelde sub vragen worden besproken.

Kinetiek en Gezondheidseffecten

Hoeveel wordt er opgenomen via de huid, mond en longen?

Gemiddeld genomen wordt driekwart via de mond (maag-darmkanaal) opgenomen, daarna de longen en een klein deel (ca. 2 %) via de huid.

Wat is de te verwachten opname van PFAS voor een Nederlandse werker in de grondsector?

Die is over het algemeen gering gezien de kleine hoeveelheden in de Nederlandse bodem. Uitzonderingen vormen hierop de hotspots.

Wat draagt de berekende geabsorbeerde hoeveelheid PFAS door het werk bij aan de totale inname (dus gecombineerd met voeding en drinkwater)?

Berekeningen laten zien dat de opname door het dieet duidelijk hoger is dan wat een werknemer binnenkrijgt door het werk.

Welke gezondheidseffecten zijn bekend bij de verschillende stoffen?

De belangrijkste gezondheidseffecten van PFOS en PFOA zijn een verminderde immuunrespons en een verband met een verhoogd cholesterol.

Is dat op basis van epidemiologisch onderzoek of dierstudies?

Gezondheidseffecten en de hoeveelheden PFAS waarbij deze effecten optreden worden uit zowel epidemiologisch onderzoek als uit dierstudies afgeleid. De laatste tijd wordt steeds meer epidemiologisch onderzoek gebruikt.

Wat zijn de afgeleide normen voor de stoffen, en op basis waarvan zijn ze vastgesteld?

De belangrijkste norm voor de grondsector is de SRC_{arbo}, die een afleiding is van de oude TDI van het RIVM. Gebruik van de recente TDI kan tot een verlaging van de norm leiden en vraagt om verdere aandacht.

Is er sprake van combinatietoxicologie?

Er is waarschijnlijk sprake van combinatietoxicologie, daarvoor kunnen Relative Potency Factors worden gebruikt.

Is het meten van PFAS waarden in bloed van werknemers die met grond werken van toegevoegde waarde?

Alleen in specifieke gevallen is het een toegevoegde waarde. Dan gaat het om werknemers waarvan bekend is dat ze langere tijd met grond gewerkt hebben waar grotere hoeveelheden PFAS in zit en/of werknemers die een hogere blootstelling aan grond hebben.

Nederlandse bodem

Welke stoffen van PFAS komen in de Nederlandse grond voor en in welke concentraties?

PFOS, PFOA en GenX zijn de voornaamste soorten PFAS die in Nederland voorkomen. De achtergrond concentraties zijn laag en vastgesteld op 1,4 µg/kg ds (PFOS) en 1,9 µg/kg ds (PFOA).

Zijn die concentraties homogeen in heel Nederland of heterogeen?

De concentraties zijn heterogeen verdeeld. Er is een lage achtergrondconcentratie met een aantal hoge concentraties op bronlocaties.

Is van grond waarmee of waarin gewerkt wordt, bekend hoeveel PFAS er in zit, door middel van een laboratoriumbepaling?

Er wordt alleen laboratoriumonderzoek gedaan wanneer grond verplaatst wordt. Anders wordt de PFAS concentratie uit bodemkwaliteitskaarten gehaald. Eventuele bronnen uit het verleden moeten door historisch vooronderzoek worden ontdekt.

Blootstelling

Welke beroepen in relatie tot grondwerk zullen het meest in aanraking komen met PFAS vervuilde grond?

Voornameijk kabelleggers, maar ook bodemsaneerders en baggeraars zullen in aanraking komen met PFAS vervuilde grond. Echter het zijn vaak hele lage concentraties, zeker bij baggeraars.

Welke blootstellingsroutes zijn relevant voor mensen die met grond werken?

Met name ingestie en in mindere mate inhalatie zijn de belangrijkste blootstellingsroutes.

Wordt er gebruik gemaakt van beheersmaatregelen als persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) of overdrukcabines op grondverzetmateriaal?

Vanuit de basishygiëne wordt er regelmatig geadviseerd handschoenen en werkkleding te gebruiken. Verder wordt er geen aanvullende PBM geadviseerd. De waarde van PFAS in de grond komt in de praktijk namelijk praktisch nooit boven de SRC_{carbo} waarde. Overdrukcabines worden vrijwel niet gebruikt, wel wordt er benadrukt om de cabines gesloten te houden.

9. Aanbevelingen

- Creëer bewustzijn in de sector over waar hotspots met PFAS kunnen zijn: plaatsen waar gebruik gemaakt is van blusschuim, grond rondom Chemours, vliegvelden en voormalige locaties van glastuinbouw.
- Blijf de basis hygiëne voor werknemers benadrukken.
- Het V&G plan dient gebaseerd te zijn op goed milieukundig vooronderzoek. Daarin dient men ook bedacht te zijn op onbekendere bronnen voor PFAS als glastuinbouw en nieuwere PFAS varianten.
- Geadviseerd wordt bepalingen in het bloed niet te doen in het kader van een periodiek onderzoek. Ze kunnen wel toegepast worden in het kader van wetenschappelijk onderzoek of bij structureel werk in PFAS hotspots. In dat geval is een duidelijk meetplan en doel noodzakelijk.
- Luchtmetingen naar PFAS op de werkplek zijn theoretisch een goede aanvulling om de blootstelling van werknemers aan PFAS beter in kaart te brengen. Ook hierbij dient een goed meetplan met duidelijk doel vooraf opgesteld te worden.
- De SRC_{carbo} waarde dient opnieuw geëvalueerd te worden door het CROW nu het RIVM haar TWI/TDI naar beneden bijstelt.

10. Lijst met afkortingen

ALAT: Aminotransferase, leverenzym
ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BAT-Wert: Biologischer Arbeitsplatz-Toleranz-Wert
ECHA: Agency European Chemical Agency
EFSA: European Food and Safety Association
FOSA: gefluoreerde sulfonamide
GenX: Productieproces om Teflon te maken
HBM: Human Biomonitoring
HPFO-DA: 2,3,3,3-tetrafluor-2- (heptafluoropropoxy) propanoaat, één van de hulpstoffen van het GenX proces.
IARC: International Agency for Research on Cancer
INEV: Indicatieve Niveau voor Ernstige Verontreiniging
IRAS: Institute for Risk Assessment Sciences
MAK-Wert: Maximale Arbeitsplatz-Konzentration-Wert
PFAS: Poly- en Perfluoralkylstoffen
PFHxS: Perfluor-hexaansulfonzuur
PFNA: Perfluor-nonaanzuur
PFOS: Perfluor-octaansulfonzuur
PFOA: Perfluor-octaanzuur
RPF: Relative Potency Factors
RIVM: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SRC: Serious Risk Concentration
STOT RE: Specific Target Organ Toxicity Repeated Exposures
TDI: Toelaatbare Dagelijkse Inname
TWI: Toelaatbare Wekelijkse Inname
US EPA: United States Environmental Protection
V&G-plan: Veiligheid en Gezondheidsplan
WHO: World Health Organization
ZZS: Zeer Zorgwekkende Stoffen

11. Bijlage onderbouwing PFOA waarde berekening

hoofdstuk 4.3

Het is lastig om precies vast te stellen hoeveel PFAS er gemiddeld in de grond zit waar een werknemer het werkzame leven mee werkt. Het is sterk afhankelijk hoeveel en hoe vaak hij of zij op hotspots werkt. Het beeld dat uit hoofdstuk 4 naar voren komt is wel dat het aantal hotspots beperkt is en dat daarbuiten de concentratie PFAS relatief laag is. Echter een gemiddelde concentratie PFAS in de Nederlandse grond, inclusief hotspots, is nooit bepaald. Om toch een indruk te krijgen van de gemiddelde hoeveelheid PFAS waar een werknemer mee te maken krijgt, volgen hieronder een tweetal cijfermatige benaderingen.

Bij de eerste benadering is gekeken naar de waarden van PFOA op de gisviewer van de omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied binnen de ring van Amsterdam.⁷ Op deze gisviewer zijn alle beschikbare onderzoeksgegevens met betrekking tot PFOS/PFOA in het werkgebied van de omgevingsdienst weergegeven. Hierin staan dus ook hotspots. Voor deze berekening is gekozen voor het gebied binnen de ring van Amsterdam, omdat dit een mooi afgebakend stedelijk gebied is. De waarden op Zeeburgereiland zijn als één waarde genomen (alle punten hebben dezelfde kleur aldaar), omdat de hoeveelheid metingen hier een veelvoud is ten opzichte van de rest van het centrum van Amsterdam. Het apart meenemen van die waarden zou voor een scheve verhouding zorgen. De waarden in de eerste halve meter bodem zijn genomen omdat in tabel 7 bleek dat hier de hoogste concentraties PFOA in zitten. Er is gekeken naar de kleur van de bolletjes en telkens de hoogste waarde van die kleur genomen voor de berekening van de gemiddelde concentratie. In totaal zijn er 66 metingen in dat gebied. Geen enkele meting komt boven de 5 µg/kg ds. Van de 66 metingen zijn er 55 maximaal 1 µg/kg ds en 11 maximaal 5 µg/kg ds. Het gemiddelde daarvan is 1,67 µg/kg ds.

Een ander onderzoek naar een gebied dat onder de rook van Chemours in Dordrecht ligt, heeft gekeken naar de gemiddelde concentratie in de bodem. Hierin zijn geen bekende risicolocaties meegenomen, maar het is wel een abnormaal hoge concentratie in de grond vanwege de depositie van PFOA uit de lucht vanuit de fabriek. De gemiddelde concentratie van 86 grondmonsters voor PFOA is 8,2 µg/kg ds met een maximale concentratie van 120 µg/kg ds PFOA (Unknown, 2018).

De vraag is wat het werken op een bronlocatie betekent voor de gemiddelde inname in het werkende leven. Uit gesprekken met mensen in de branche lijkt dat lange projecten in de weg en waterbouw maanden duren. Één arbeidshygiënist vertelt; een gemiddeld project in de grond-, weg- en waterbouw (GWW) duurt (de doorlooptijd) 20 weken x 5 dagen x 8 uur = 1000 uur. Een werkbaar jaar in de grond, weg en waterbouw heeft 1760 uren. Een project duurt dan 0,57 jaren. Stel dat een werknemer 1 keer in zijn leven een project heeft met PFOA rond de hoogste waarde die we in dit onderzoek tegenkwamen, te weten 380 µg/kg ds bij een fabriek in Helmond. Een worst case scenario dus. We gaan uit van 40 jaar lang werken (RIVM, 2014). Als we verder uitgaan van de gemiddelde waarde uit ons voorbeeld in Amsterdam kom je op $(0,57 \times 380 + 39,43 \times 1,67)/40 = 7,1 \mu\text{g/kg ds}$ PFOA gemiddeld tijdens een arbeidsleven uit. Vaker dan 1 keer een project met dergelijke gehalten lijkt onwaarschijnlijk als gekeken wordt naar de waarden op de gisviewer. Wel kan het zo zijn dat er meerdere projecten met bijvoorbeeld 100 µg/kg ds PFOA in de grond zijn. 3 projecten met 100 µg/kg ds geeft bijvoorbeeld $(3 \times 0,57 \times 100 + 38,29 \times 1,67)/40 = 5,9 \mu\text{g/kg ds}$. 6 projecten met 100 µg/kg ds geeft een gemiddelde van 10,1 µg/kg ds PFOA in het leven.

Op basis van de waarden uit de voorgaande berekeningen en onderzoeken (1,67/8,2/7,1 en 5,9) is gekozen om 7 µg/kg ds PFOA te gebruiken als gemiddelde waarde PFOA in de grond voor de berekening in hoofdstuk 4.3. Wanneer een werknemer vaker in bekende of onbekende bronlocaties werkt zou het gemiddelde wat hoger uit kunnen vallen, maar omdat hij of zij ook heel veel projecten heeft in gebieden met weinig PFOA zal het gemiddelde niet snel stijgen.

⁷ <https://gisviewer.odnzkg.nl/index.php?@PFOS#>

12. Literatuur

- Alexander, J., Auðunsson, G. A., Benford, D., Cockburn, A., Dogliotti, E., Domenico, A. Di, Fernández-cruz, M. L., Fürst, P., Galli, C., Grandjean, P., Gzyl, J., Johansson, N., Mutti, A., Schlatter, J., & Leeuwen, R. Van. (2008). Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA Journal*, 6(7), 1–131. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.653>
- Apel, P., Angerer, J., Wilhelm, M., & Kolossa-Gehring, M. (2017). New HBM values for emerging substances, inventory of reference and HBM values in force, and working principles of the German Human Biomonitoring Commission. In *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (Vol. 220, Issue 2, pp. 152–166). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.09.007>
- Arbeidsomstandighedenbesluit. (2020). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0008498/2020-07-01#Hoofdstuk4>
- Beekman, M., Zweers, P., Muller, A., Vries, W. de, Janssen, P., & Zeilmaker, M. (2016). Evaluation of substances used in the GenX technology by Chemours, Dordrecht. *National Institute for Public Health and the Environment*.
- Bil, W., Zeilmaker, M., Fragki, S., Lijzen, J., Verbruggen, E., & Bokkers, B. (2020). Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 00(00), 1–12. <https://doi.org/10.1002/etc.4835>
- Bjork, J. A., Butenhoff, J. L., & Wallace, K. B. (2011). Multiplicity of nuclear receptor activation by PFOA and PFOS in primary human and rodent hepatocytes. *Toxicology*, 288(1–3), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.06.012>
- Buekers, J., Davis, M., Koppen, G., Bessems, J., Scheringer, M., & Trier, X. (2017). *Scoping paper on the development of an indicator on chemical exposure in the European population* (Issue 733032). https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2017/03/HBM4EU_D5.3_Scoping_paper_v1.1.pdf
- Bulder, A., Van De Ven, B., Van der Aa, M., Smit, E., Wintersen, A. M., Geraerts, L., Pronk, M. E. J., Beekman, M., Bokkers, B. G. H., & Verhoeven, J. K. (2020). *Notitie : status van een EFSA-opinie en de rol van een gezondheidskundige grenswaarde in verschillende beleidskaders* (Issue december). <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-status-van-efsa-opinie-en-rol-van-gezondheidskundige-grenswaarde-in>
- De Inspectie SZW en de CROW 400-richtlijn (p. 2019). (2019). Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.
- DeWitt, J. C., Blossom, S. J., & Schaidler, L. A. (2019). Exposure to per-fluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances leads to immunotoxicity: epidemiological and toxicological evidence. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 29(2), 148–156. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0097-y>
- DFG. (n.d.). *Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe*. Retrieved January 11, 2021, from https://www.dfg.de/dfg_profil/gremien/senat/arbeitsstoffe/index.html
- DFG. (2020). *MAK- und BAT-Werte-Liste 2020*. https://series.publisso.de/sites/default/files/documents/series/mak/lmbv/Vol2020/Iss1/Doc001/mbwl_2020_deu.pdf
- Diemel, J., Maas, J., Siegert, H., & Wielaard, P. (2009). *Dossier Algemeen Stoffenbeleid*. 91. http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Gevaarlijke_stoffen/D_Algemeen_stoffenbeleid.pdf
- ECHA. (2018). *Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC); to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances, Background document*. 1(June), 385. [https://echa.europa.eu/documents/10162/fa20d0e0-83fc-489a-9ee9-01a68383e3c0%0Afile:///C:/Users/gonzalos/Documents/Literature/ECHA - 2018 - Committee for Risk Assessment \(RAC\) Committee for Socio-economic Analysis \(SEAC\) Background document.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/fa20d0e0-83fc-489a-9ee9-01a68383e3c0%0Afile:///C:/Users/gonzalos/Documents/Literature/ECHA - 2018 - Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) Background document.pdf)
- ECHA (European Chemicals Agency). (2013). *Member State Committee Support Document for Identification of Pentadecafluorooctanoic Acid (PFOA) as a Substance of Very High Concern Because CMR and PBT Properties*. June, 1–66. <https://echa.europa.eu/documents/10162/8059e342-1092-410f-bd85-80118a5526f5>
- EEA. (n.d.). *Emerging chemical risks in Europe : 'PFAS.'* Retrieved November 11, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/themes/human/chemicals/emerging-chemical-risks-in-europe>
- GisViewer omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied. (n.d.). Retrieved November 2, 2020, from <https://gisviewer.odnzkg.nl/index.php?@PFOS>
- Hegger, C., Van Den Bogaard, C. J. M., Gadella, J. M., Lijzen, J. P. A., Nijdam, R. J., Nijhuis, N. J., Van De Weerd, D. H. J., & Van Brederode, N. E. (2009). *GGD-richtlijn medische milieukunde: gezondheidsrisico bodemverontreiniging*. 115. www.rivm.nl

- lenW. (2019). *Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (Geactualiseerde versie van 29 november 2019)*. https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/20200120_Tijdelijk-handelingskader-voor-hergebruik-van-pfas-houdende-grond-en-baggerspecie_1.pdf
- Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S., Cottrill, B., Dinovi, M., Edler, L., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L. (Ron), Nebbia, C. S., Oswald, I. P., Petersen, A., Rose, M., Roudot, A. C., Vleminckx, C., Vollmer, G., ... Schwerdtle, T. (2018). Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. *EFSA Journal*, 16(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5194>
- Li, Y., Barregard, L., Xu, Y., Scott, K., Pineda, D., Lindh, C. H., Jakobsson, K., & Fletcher, T. (2020). Associations between perfluoroalkyl substances and serum lipids in a Swedish adult population with contaminated drinking water. *Environmental Health*, 19(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00588-9>
- Memo Samenvatting data grond- en grondwater Fase 1, 2 en 3 in Helmond. (2019). <https://www.helmond.nl/documentenpfas>
- Noorlander, C. W., Van Leeuwen, S. P. J., Dirk Te Biesebeek, J., Mengelers, M. J. B., & Zeilmaker, M. J. (2011). Levels of Perfluorinated Compounds in Food and Dietary Intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *J. Agric. Food Chem*, 59, 7496–7505. <https://doi.org/10.1021/jf104943p>
- Overmars, C., & van der Meulen, K. (2020). *PFOS en PFOA, Noordzeekanaalgebied, Hoofdrapport versie 3.2* (p. 75). Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied. <https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2020-19839/1/bijlage/exb-2020-19839.pdf>
- Pancras, T., & van Bentum, E. (2018). *Aanwezigheid van PFAS in Nederland, Deelrapport C, Diffuse belasting van PFOS en PFOA in de bovengrond*.
- Pancras, T., van Bentum, E., & Slenders, H. (2018a). *Aanwezigheid van PFAS in Nederland, Deelrapport B, Onderzoek van PFAS op potentiële risicolocaties*.
- Pancras, T., van Bentum, E., & Slenders, H. (2018b). *Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS): Kennisdocument over stoffeïenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater*. 1–85.
- Perfluorooctanesulfonic acid | C8HF17O3S - PubChem. (n.d.). Retrieved December 29, 2020, from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Perfluorooctanesulfonic-acid#section=Sampling-Procedures>
- Poothong, S., Papadopoulou, E., Padilla-Sánchez, J. A., Thomsen, C., & Haug, L. S. (2020). Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood. *Environment International*, 134(September 2019), 105244. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105244>
- REACH. (2019). *Annex XV Report: Proposal for Identification of a Substance of Very High Concern on the Basis of the Criteria set out in REACH 57: UV-328* (Issue March). <https://echa.europa.eu/documents/10162/41086906-eeb6-a963-f0b9-af1d0e27efc2>
- RIVM (National Institute for Public Health and Environment). (2014). *Overview of methodologies for the derivation of Occupational Exposure Limits for non-threshold carcinogens in the EU*.
- RIVM. (2020). *Conclusie RIVM gebruik EFSA-TWI PFAS*. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-conclusie-rivm-gebruik-efsa-twi-pfas>
- Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J. C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Vleminckx, C., Wallace, H., Barregård, L., Ceccatelli, S., Cravedi, J. P., ... Schwerdtle, T. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18(9). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Stanek, E. J., Calabrese, E. J., Barnes, R., & Pekow, P. (1997). Soil ingestion in adults - Results of a second pilot study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 36(3), 249–257. <https://doi.org/10.1006/eesa.1996.1510>
- SZW. (2018). *Basis Inspectiemodule, Werken met verontreinigde grond*. <file:///C:/Users/timpo/AppData/Local/Temp/Werken-in-de-verontreinigde-grond-2015.pdf>
- SZW. (2020). *Staatscourant 2020*. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2020-30592.html>
- Tanner, E. M., Bloom, M. S., Wu, Q., Kannan, K., Yucel, R. M., Srishti Shrestha, ·, & Fitzgerald, · Edward F. (2018). *Occupational exposure to perfluoroalkyl substances and serum levels of perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in an aging population from upstate New York: a retrospective cohort study*. 91, 145–154. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1267-2>
- TAUW. (2017). *Crow 400; Nieuwe richtlijn voor veilig en risicogestuurd werken in en met verontreinigde bodem, inclusief wijzigingen december 2017* (Issue december). https://www.tauw.nl/static/default/files/documents/pdf/markacties/CROW_400_vs_2018.pdf
- Tol, J. van (Tauw bv). (2019). *SRC-arbo-waarden PFAS (PFOS, PFOA, GenX) en omgang met overige PFAS* (p. 9).

- CROW. <https://www.crow.nl/downloads/pdf/infrastructuur/p400/achtergrondnotitie-nieuwe-src-waarden,-190619.aspx>
- Tol, J. van (Tauw bv), & Kraayeveld, H. (Spectrum H. technology). (2019). *Notitie 2e tranche SRCarbo-waarden*.
- Unknown. (2018). *Aanvullend luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving*.
https://www.ozhz.nl/wp-content/uploads/Expertisecentrum-maart-2018-PFOA-en-HFPO-DA-_webversie-.pdf
- Visser, M. J., Burg, W. ter, & Muller, J. J. A. (2016). *Historisch overzicht van openbare informatie over de gezondheidseffecten, classificatie en normstelling voor PFOA en DMAC toegespitst op blootstelling van werknemers*.
- Website IARC. (n.d.). Retrieved October 11, 2020, from <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>
- Wintersen, A, & Otte, P. (2019). *Overzicht van risicogrenzen voor PFOS, PFOA en GenX ten behoeve van een tijdelijk handelingskader voor het toepassen van grond en baggerspecie op of in de landbodem* (pp. 1–20). RIVM.
- Wintersen, A, Spijker, J., van Breemen, P., & van Wijnen, H. (2020). *Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem* (p. 52). RIVM.
- Wintersen, Arjen, & Otte, P. (2020). *Indicatieve niveaus voor ernstige bodemverontreiniging (INEV's)* (pp. 1–13). RIVM. [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2020-03/Afleiding INEVs.1.1.definitief beveiligd.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2020-03/Afleiding%20INEVs.1.1.definitief%20beveiligd.pdf)
- Zeilmaker, M. J., Janssen, P., Versteegh, A., van Pul, A., Vries, W. de, Bokkers, B., Wuijts, S., Oomen, A., & Herremans, J. (2016). *Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden, Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland*.