



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Inventarisatie en prioritering van **PFAS-bronnen** anders dan voedsel en drinkwater

Inventarisatie en prioritering van PFAS-bronnen anders dan voedsel en drinkwater

RIVM-briefrapport 2025-0118

Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2025-0118

F. Affourtit (auteur), RIVM
T. Verbruggen (auteur), RIVM

Contact:
Femke Affourtit
VSP-CPV
femke.affourtit@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Ministeries van Infrastructuur en Waterstaat, Volksgezondheid, Welzijn en Sport, en Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur in het kader van Programma 53 PFAS.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Inventarisatie en prioritering van PFAS-bronnen anders dan voedsel en drinkwater

Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) zijn een groep van duizenden chemische stoffen. PFAS breken bijna niet af. Daardoor hopen ze zich op in het milieu en kunnen ze schadelijk zijn voor de gezondheid. Het RIVM onderzoekt op welke manieren mensen met PFAS in contact kunnen komen. Dat is nodig om te weten hoe de blootstelling in Nederland kan worden verlaagd.

De blootstelling via voedsel en drinkwater is al onderzocht. Over andere vormen van blootstelling is nog weinig bekend. Het RIVM heeft nu de blootstelling via producten, zoals kleding, persoonlijke verzorgingsproducten en stoffering van meubels in kaart gebracht. Ook is gekeken naar de blootstelling via de omgeving waarin mensen leven, zoals binnenlucht en huisstof. Blootstelling via het werk en de uitstoot door de industrie naar het milieu vallen buiten het onderzoek.

De volgende producten lijken voor de meeste blootstelling te zorgen. Het is nog niet precies bekend hoeveel PFAS mensen hierdoor binnenkrijgen. Het RIVM onderzoekt dit verder, ook om de blootstelling te kunnen vergelijken met die via voedsel en drinkwater.

De producten zijn:

- Watersafstotende kleding, zoals regen- en skikleding. De textielsector gebruikt veel PFAS. Het is vooral bij jonge kinderen belangrijk om deze blootstelling te onderzoeken, omdat zij wel eens op kleding sabbelen of bijten.
- Impregneer- en smeermiddelensprays. Mensen kunnen PFAS inademen als ze dit soort sprays gebruiken, vooral bij gebruik zonder bescherming in afgesloten ruimten. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij het behandelen van schoenen, kleding of meubels.
- Een heel klein deel van verzorgingsproducten, vooral make-up en huidcrèmes. Deze producten bevatten PFAS en meestal in kleine hoeveelheden. Deze bron is relevant voor mensen die regelmatig en lange tijd verzorgingsproducten met PFAS gebruiken.
- Huisstof en de binnenlucht. PFAS komt via de stoffering van meubels en tapijten daarin terecht. Kinderen krijgen meer stof binnen dan volwassenen doordat ze kruipen of dingen in hun mond stoppen.

Kernwoorden: PFAS (Per- en polyfluoralkylstoffen), blootstelling, bronnen, (consumenten)producten, omgeving

Synopsis

Inventory and prioritization of PFAS sources other than food and drinking water

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a group of thousands of chemical substances. PFAS break down extremely slowly. As a result, they accumulate in the environment and are a potential health hazard. RIVM is investigating the ways in which people can come into contact with PFAS. This knowledge is needed to find ways to reduce exposure to PFAS in the Netherlands.

Exposure via food and drinking water has already been studied. Little is known, however, about other sources of exposure. RIVM has now mapped exposure via products, such as clothing, personal care products and furniture upholstery. Additionally, we have examined exposure in the living environment, for example via indoor air and dust. The study did not cover exposure at work or through industrial emissions into the environment.

The products listed below were found to account for most of the exposure. It is not known exactly how much PFAS people are exposed to via those products. RIVM is studying this in further detail, also in order to compare this exposure with the exposure via food and drinking water.

The products that account for most of the exposure are:

- Water-repellent clothing, such as rainwear and ski wear. The textile sector uses large amounts of PFAS. It is particularly important to examine this exposure in young children, as they sometimes suck or chew on clothing.
- Impregnation and lubricant sprays. People can inhale PFAS when using these types of sprays, especially if used without protection in an enclosed space. This occurs, for example, when treating shoes, clothing or furniture.
- A very small segment of personal care products, particularly make-up and skin creams. These products contain PFAS, usually in small quantities. This source is relevant for people who regularly use care products containing PFAS over a prolonged period of time.
- Household dust and indoor air. PFAS can end up in indoor air and dust via furniture upholstery and carpets. Children are exposed to more dust than adults because they tend to crawl on the floor or put objects into their mouths.

Keywords: PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances), exposure, sources, consumer and other products, environment

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Aanleiding — 11
- 1.2 Doel — 11
- 1.3 Methode en aanpak — 11
- 1.4 Afbakening¹²
- 1.5 Leeswijzer — 13

2 Complexiteit van PFAS als groep van stoffen voor de blootstellingschatting — 15

- 2.1 Inleiding — 15
- 2.2 Chemische structuur, eigenschappen en blootstellingsroutes van PFAS — 15
 - 2.2.1 PFAS-polymeren — 15
 - 2.2.2 Niet-polymeer PFAS — 15
 - 2.2.3 Gefluoreerde gassen — 16
- 2.3 Blootstelling aan meerdere PFAS tegelijkertijd — 16
- 2.4 Precursoren en hun bijdrage aan PFAS-blootstelling — 16
- 2.5 Uitdagingen bij het analyseren en meten van PFAS — 17
- 2.6 Conclusie — 17

3 Overzicht van toepassingen van PFAS — 19

- 3.1 Inleiding — 19
- 3.2 Hoofdtoepassingen — 19
 - 3.2.1 Toepassingen van gefluoreerde gassen (Secties A.3.9. en B.9.9. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 21
 - 3.2.2 Textiel, stoffering, leer, kleding en tapijten (Secties A.3.3. en B.9.3. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 22
 - 3.2.3 Medische hulpmiddelen (Secties A.3.10. en B.9.10. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 23
 - 3.2.4 Transport (Secties A.3.11. en B.9.11. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 24
 - 3.2.5 Bouwmaterialen (Secties A.3.14. en B.9.14. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 25
 - 3.2.6 Elektronica en halfgeleiders (Secties A.3.12. en B.9.12. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 25
 - 3.2.7 Smeermiddelen (Secties A.3.15. en B.9.15. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 26
 - 3.2.8 Petroleum en mijnbouw (Secties A.3.16. en B.9.16. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 27
 - 3.2.9 Energiesector (Secties A.3.13. en B.9.13. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 27
 - 3.2.10 Plateren en produceren van metalen voorwerpen (Secties A.3.5. en B.9.5. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 28
 - 3.2.11 Persoonlijke verzorgingsproducten (Secties A.3.7. en B.9.7. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 29
 - 3.2.12 Consumentenmengsels en diverse producten (Secties A.3.6. en B.9.6. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 30
 - 3.2.13 Skiwas (Secties A.3.8. en B.9.8. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 32

3.2.14	Werkzame stof in gewasbeschermingsmiddelen, biociden en geneesmiddelen (Secties A.3.17. en B.9.17. van het uPFAS-restrictievoorstel) — 32
3.2.15	Overige toepassingen buiten de uPFAS-restrictievoorstel — 34
3.3	Samenvatting van toepassingen van PFAS — 37
3.3.1	Prioritering van toepassingen van PFAS — 37
3.3.2	Kennishiaten en onzekerheden — 39
3.3.3	Conclusie — 39
4	Blootstelling aan PFAS in recreatie- en woonomgeving — 41
4.1	Inleiding — 41
4.2	PFAS-blootstelling tijdens recreatieve activiteiten buiten — 41
4.2.1	Buitenlucht — 41
4.2.2	Oppervlaktewater — 42
4.2.3	Zeewater, zeeschuim en sea spray — 42
4.2.4	Bodem — 44
4.3	PFAS-blootstelling in de woonomgeving — 45
4.3.1	Huistof — 45
4.3.2	Binnenlucht — 45
4.4	Kennishiaten en onzekerheden — 46
4.5	Conclusie — 47
5	Discussie, conclusie en vervolgstappen — 49
5.1	Discussie — 49
5.2	Conclusie — 50
5.3	Vervolgstappen — 51
6	Referenties — 53
	Bijlage I Afkortingen van PFAS — 57
	Bijlage II Overzicht van alle besproken toepassingen, inclusief type PFAS, blootstellingsroutes en mate van prioriteit voor vervolgonderzoek — 58

Samenvatting

Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) worden veelvuldig toegepast in alledaagse producten vanwege hun unieke eigenschappen, zoals water-, vet- en vuilafstotendheid en hittebestendigheid. Tegelijkertijd roepen PFAS brede zorgen op vanwege hun persistentie in het milieu en mogelijke schadelijke effecten op de gezondheid. Dit rapport richt zich op het identificeren en prioriteren van blootstellingsbronnen anders dan voedsel en drinkwater. Het rapport maakt deel uit van het PFAS-onderzoeksprogramma en het draagt bij aan een vollediger beeld van PFAS-blootstellingsbronnen in Nederland.

Doel en methodologie

Het hoofddoel van dit onderzoek is het in kaart brengen van PFAS-bronnen voor blootstelling. Daarnaast richt het zich op het prioriteren van de bronnen die het meest bijdragen aan de blootstelling aan PFAS van de algemene populatie. Deze inzichten vormen een basis voor vervolgonderzoek en voor het ontwikkelen van maatregelen om de blootstelling te verminderen.

Het onderzoek is uitgevoerd op basis van een kwalitatieve beoordeling van blootstellingsbronnen. Hiervoor zijn geen kwantitatieve modellen of berekeningen gebruikt. De beoordeling combineert gegevens over het type PFAS, concentraties in bronnen, blootstellingsroutes en de mate en frequentie van blootstelling. Deze gegevens zijn afkomstig uit verschillende bronnen zoals het PFAS-restrictievoorstel (ECHA, 2023) en onderzoeken van het RIVM. Daarnaast is gebruikgemaakt van inzichten van belanghebbenden opgehaald tijdens een bijeenkomst in februari 2024.

Het rapport richt zich uitsluitend op blootstelling via consumentenproducten—zowel gebruiksartikelen zoals kleding en elektronica, als vloeistoffen zoals verf en schoonmaakmiddelen—en op bronnen uit de recreatie- en woonomgeving. De bronnen voedsel, drinkwater, voedselcontactmaterialen, beroepsmatige blootstelling en emissies naar het milieu vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Belangrijkste bevindingen

De kwalitatieve beoordeling identificeert de volgende bronnen als meest relevant voor blootstelling:

1. Textiel en kleding
PFAS worden veel gebruikt in water- en vuilafstotende kleding en andere textielproducten, zoals regen- en skikleding, meubels, tapijten en stoffering. Textiel en kleding zijn geprioriteerd vanwege het frequente en langdurige gebruik, de grote hoeveelheden PFAS die in deze sector wordt gebruikt en de verschillende blootstellingsroutes (zoals huidcontact en inslikken van stofdeeltjes). Vooral bij jonge kinderen is het belangrijk deze blootstelling te onderzoeken, omdat zij bijvoorbeeld op kleding kunnen sabbelen of bijten.

2. Impregneer- en smeermiddelensprays
Mensen kunnen PFAS inademen bij het gebruik van bepaalde sprays, zoals impregneermiddelen of smeermiddelen in spuitbussen. Deze producten zijn geprioriteerd omdat sprays vaak relatief hoge concentraties PFAS bevatten en inhalatoire blootstelling mogelijk maken, vooral bij gebruik zonder bescherming in afgesloten ruimten.
3. Persoonlijke verzorgingsproducten
Een klein deel van de persoonlijke verzorgingsproducten, met name make-up en huidcrèmes, bevat PFAS. Persoonlijke verzorgingsproducten zijn geprioriteerd vanwege het potentieel voor chronische blootstelling bij frequent en langdurig gebruik, en de mogelijkheid van opname via meerdere blootstellingsroutes (zoals huidcontact, inhalatie en inslikken).
4. Huisstof en binnenlucht
PFAS afkomstig van producten zoals tapijten, meubels en gordijnen hopen zich op in huisstof en binnenlucht. Deze bron is vooral relevant omdat kinderen extra gevoelig zijn doordat ze meer huisstof binnenkrijgen via hun gedrag zoals kruipen of hand-mondcontact.

Andere bronnen, zoals elektronica, industriële producten (dat wil zeggen producten die binnen een industriële of professionele omgeving worden gebruikt), buitenlucht en bodem, hebben volgens deze kwalitatieve beoordeling een beperkte bijdrage aan de totale blootstelling aan PFAS van de algemene populatie. Dit komt door beperkt contact, de aanwezigheid van stevig gebonden PFAS-polymeren of de lage PFAS-concentraties in deze bronnen.

Onzekerheden en uitdagingen

De beoordeling wordt bemoeilijkt door verschillende onzekerheden. Allereerst maakt de complexiteit en diversiteit van PFAS het moeilijk om blootstelling aan verschillende PFAS met elkaar te vergelijken. Dit komt doordat de stoffen onderling verschillen in eigenschappen en toxiciteit. Bovendien varieert de kwaliteit en beschikbaarheid van gegevens over concentraties en blootstellingsscenario's sterk per bron. Daarnaast is de beoordeling grotendeels gebaseerd op internationale data, die mogelijk niet representatief is voor de Nederlandse situatie. Tot slot kunnen door initiatieven om PFAS uit te faseren, toepassingen en blootstellingsniveaus veranderen, wat het huidige en toekomstige blootstellingsbeeld onzeker maakt.

Conclusie

Dit rapport biedt een eerste kwalitatieve prioritering van blootstellingsbronnen en dient als basis voor vervolgonderzoek binnen het PFAS-onderzoeksprogramma, waarin de blootstelling via de verschillende bronnen wordt geïntegreerd om te komen tot een schatting van de totale blootstelling aan PFAS. Tijdens dit vervolgonderzoek zal een zoveel mogelijk kwantitatieve beoordeling plaatsvinden, waarmee ook inzicht wordt verkregen in de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen, inclusief voedsel en drinkwater, aan de totale blootstelling.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) zijn chemische stoffen die zorgen baren vanwege hun blijvende aanwezigheid in het milieu en gezondheidsrisico's. Dankzij hun unieke eigenschappen, zoals water-, vet- en vuilafstotendheid en hittebestendigheid, zijn PFAS veelvuldig toegepast in alledaagse producten, zoals voedselverpakkingen, anti-aanbakpannen, waterafstotende kleding en impregneersprays. Het gebruik van PFAS wordt steeds meer beperkt.

Door dit brede gebruik en de wijdverspreide aanwezigheid van PFAS in de leefomgeving worden mensen via verschillende bronnen aan PFAS blootgesteld. Voedsel en drinkwater zijn bekende, belangrijke bronnen van blootstelling, maar dit rapport richt zich op overige bronnen zoals consumentenproducten, huisstof en lucht.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het [PFAS-onderzoeksprogramma](#).

1.2 Doel

Dit rapport geeft inzicht in bronnen van PFAS-blootstelling. Het doel is om de diverse blootstellingsbronnen te identificeren en, op basis van een kwalitatieve beoordeling, te prioriteren welke het meest relevant zijn voor de blootstelling van de algemene populatie in Nederland. Daarbij wordt rekening gehouden met factoren zoals het type PFAS, de concentraties in bronnen, de blootstellingsroutes en de mate en frequentie van blootstelling. De meest relevante bronnen worden aanbevolen voor verder onderzoek, waarbij waar mogelijk een kwantitatieve beoordeling zal worden uitgevoerd. Dit geeft meer inzicht in de relatieve bijdrage van verschillende bronnen ten opzichte van de blootstelling aan PFAS via voedsel en drinkwater. Inzicht in de meest relevante bronnen kan bovendien aanknopingspunten bieden voor het ontwikkelen van gerichte maatregelen om PFAS-blootstelling te verminderen.

1.3 Methode en aanpak

In dit rapport worden PFAS-blootstellingsbronnen kwalitatief beoordeeld. De beoordeling is bedoeld om prioriteiten te stellen op basis van waarschijnlijke relevantie voor de blootstelling van de algemene populatie. Hierbij worden geen kwantitatieve schattingen of berekeningen met blootstellingsmodellen uitgevoerd. Wanneer mogelijk zijn kwantitatieve gegevens, zoals tonnages en concentraties in bronnen, gebruikt als aanvullende ondersteuning voor de kwalitatieve inschatting.

De verschillende bronnen van PFAS-blootstelling zijn geïdentificeerd en geprioriteerd op basis van een systematische analyse van de volgende informatiebronnen:

- Het universeel PFAS-restrictievoorstel (uPFAS-restrictievoorstel) van het Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA) (ECHA, 2023). Dit dossier levert een gedetailleerd overzicht van

PFAS-toepassingen en de daarbij behorende tonnages in Europa en blootstellingsroutes.

- Relevante onderzoeken van het RIVM, met een focus op PFAS-blootstelling in de recreatie- en woonomgeving.
- Inzichten uit een belanghebbendenbijeenkomst met bijdragen van verschillende overheidsorganisaties, brancheverenigingen, adviesbureaus, wetenschappers en niet-gouvernementele organisaties.

De resultaten omvatten:

- Een overzicht van PFAS-bronnen die bijdragen aan de blootstelling van de algemene populatie, anders dan voedsel en drinkwater.
- Een overzicht van typen PFAS, inclusief hun eigenschappen, toxiciteit en hun bijdragen aan de blootstelling van de algemene populatie.
- Per bron, waar informatie beschikbaar is:
 - o Het type PFAS en de gemeten PFAS-concentraties.
 - o De blootstellingsroutes (huidcontact, inademing, orale opname), aangevuld met een kwalitatieve beschrijving van gebruikersgedrag, zoals blootstellingsduur, -frequentie en hoeveelheden.
- Een kwalitatieve beoordeling van de bronnen die, op basis van bovenstaande informatie, het meest bijdragen aan de totale blootstelling.

Bij het opstellen van het overzicht is gestreefd naar een zo volledig mogelijk beeld van de mogelijke PFAS-bronnen. In de prioritering is de mate van detail afhankelijk geweest van de beschikbare gegevens; voor sommige bronnen was meer informatie beschikbaar dan voor andere. Waar nodig is de inschatting van experts gebruikt om te bepalen in hoeverre een bron bijdraagt aan de totale PFAS-blootstelling.

1.4 Afbakening

Dit rapport richt zich op:

- Blootstelling aan PFAS via consumentenproducten, en de recreatie- en woonomgeving. Onder consumentenproducten vallen niet alleen tastbare artikelen zoals kleding en elektronica, maar ook stoffen en mengsels zoals verf, schoonmaakmiddelen en persoonlijke verzorgingsproducten.
- Blootstelling van de algemene populatie.

Uitgesloten zijn:

- Blootstelling via voedsel, drinkwater en voedselcontactmaterialen zoals bakpapier of verpakkingen, omdat de bijdrage van voedselcontactmaterialen wordt meegenomen in de schatting van blootstelling via voedsel en drinkwater.
- Beroepsmatige blootstelling (blootstelling tijdens het werk).
- Emissies naar het milieu die plaatsvinden tijdens productie en slijtage van producten of via afvalverwerking. Hoewel deze emissies de concentraties in het milieu verhogen en leiden tot blootstelling aan de algemene populatie via water, voedsel en lucht worden emissiebronnen niet meegenomen.

1.5 Leeswijzer

Het rapport start in hoofdstuk 2 met een beschrijving van de complexe aard van PFAS als groep van stoffen en de relevantie daarvan voor blootstelling. Hoofdstuk 3 behandelt de belangrijkste toepassingen van PFAS in consumentenproducten en beoordeelt hun relevantie voor de blootstelling van de algemene populatie. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 behandeld hoe de algemene populatie wordt blootgesteld aan PFAS in de recreatie- en woonomgeving, via onder andere lucht, water en huisstof. Tot slot worden in hoofdstuk 5 de inzichten uit de voorgaande hoofdstukken samengebracht en de bronnen beschreven die mogelijk het meest bijdragen aan de totale PFAS-blootstelling van de algemene populatie.

In dit rapport worden verschillende afkortingen gebruikt voor PFAS-verbindingen. Een overzicht van deze afkortingen en de bijbehorende stofnamen is opgenomen in bijlage I.

2 Complexiteit van PFAS als groep van stoffen voor de blootstellingschatting

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de complexiteit van PFAS, een brede groep van duizenden stoffen met uiteenlopende fysisch-chemische eigenschappen. Deze eigenschappen beïnvloeden de blootstellingsroutes, opname, distributie, metabolisme en excretie, evenals de toxiciteit van de stoffen. Van PFAS is bekend dat zij niet of slechts beperkt afbreken. Als er wel sprake is van afbraak, betreft dit meestal de omzetting van precursoren in stabielere, persisterende typen PFAS. Door deze grote variatie in typen PFAS en hun unieke gedrag is het uitdagend om de relevantie en bijdrage van verschillende PFAS-bronnen met elkaar te vergelijken.

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de verschillen in chemische structuur tussen typen PFAS en hoe deze verschillen in structuur de kans op blootstelling kunnen beïnvloeden. Deze kennis is belangrijk om de meest risicovolle stoffen te identificeren voor het in kaart brengen van relevante bronnen van PFAS-blootstelling.

2.2 Chemische structuur, eigenschappen en blootstellingsroutes van PFAS

PFAS omvatten een brede groep stoffen die in verschillende vormen voorkomen, waaronder polymeren, niet-polymeren (zoals perfluoralkylzuren, monomeren, oligomeren en andere kleine mobiele PFAS-verbindingen) en gefluoreerde gassen. De chemische structuur van PFAS bepaalt hun persistentie en mobiliteit in het milieu, maar ook hun relevantie voor blootstelling.

2.2.1 *PFAS-polymeren*

PFAS-polymeren, ook wel fluoropolymeren genoemd, waaronder PTFE en PVDF, worden toegepast in producten variërend van anti-aanbaklagen voor kookgerei tot isolatiemateriaal voor elektrische bekabeling. Een polymeer is een chemische verbinding die uit een lange reeks moleculen bestaat. Door de grote omvang worden deze polymeren niet gemakkelijk door het lichaam opgenomen. Daarnaast zijn deze stoffen stevig in materialen gebonden en thermisch stabiel, waardoor de blootstelling tijdens normaal gebruik laag is.

Hoewel PFAS-polymeren doorgaans stevig gebonden zijn in materialen en daardoor een lagere bijdrage leveren aan blootstelling, geldt dit niet altijd. Bijvoorbeeld in textiel worden PFAS-polymeren vaak in de vorm van dunne coatings gebruikt, waarbij slijtage of gebruik kunnen leiden tot het vrijkomen van deze stoffen. Ook tijdens de afvalverwerking kunnen er kleinere deeltjes vrijkomen die gemakkelijker in het milieu of het lichaam terecht kunnen komen.

2.2.2 *Niet-polymeer PFAS*

Tot de niet-polymeer PFAS behoren alle PFAS die géén polymeer zijn, waaronder perfluoralkylzuren (zoals PFOS, PFOA), monomeren,

oligomeren en andere kleine, mobiele PFAS-verbindingen. Niet-polymeere PFAS zijn mobieler en kunnen gemakkelijker vrijkomen uit producten. Het gaat hierbij onder andere om PFCA's (zoals PFOA), PFSA's (zoals PFOS), FTOH, PAP's, en PFSE. Zij verspreiden zich gemakkelijker in het milieu, waardoor ze relevant zijn voor de blootstelling van de mens. Ze worden onder andere gebruikt in blusschuim, polijstmiddelen, coatings en in behandelingen voor textiel en kleding. Door hun kleine formaat kunnen niet-polymeere PFAS makkelijker in het lichaam worden opgenomen.

2.2.3 *Gefluoreerde gassen*

Gefluoreerde gassen worden voornamelijk gebruikt in gesloten systemen zoals airconditioning en industriële koelsystemen. Hoewel de blootstelling tijdens de gebruiksfase beperkt is, kunnen lekken of onjuiste verwijdering leiden tot PFAS in de lucht en vervolgens tot blootstelling via inademing.

2.3 **Blootstelling aan meerdere PFAS tegelijkertijd**

PFAS komen vaak gelijktijdig voor in producten en het milieu, waarbij elke stof een eigen mate van toxiciteit heeft. Het RIVM adviseert om bij het inschatten van blootstellingsrisico's PFAS gezamenlijk te beoordelen, met daarbij aandacht voor verschillen in toxiciteit ten opzichte van PFOA (RIVM, 2021). Dit gebeurt met behulp van zogenoemde Relatieve Potentiefactoren (RPF's), waarmee de concentraties van afzonderlijke PFAS kunnen worden omgerekend in equivalente concentraties PFOA (PFOA-equivalenten, PEQ). Deze methode is essentieel om een realistisch beeld te krijgen van de totale blootstelling en de bijbehorende gezondheidsrisico's. De uitdaging blijft echter dat RPF's niet voor alle PFAS zijn vastgesteld, waardoor er onzekerheden bestaan in de risicobeoordeling (Bil et al., 2021).

2.4 **Precursoren en hun bijdrage aan PFAS-blootstelling**

Sommige PFAS, zogenaamde precursoren, kunnen in het milieu of in het lichaam afbreken tot persistente PFAS (eventueel via een tussenproduct), zoals perfluoralkylzuren (PFAA's). Tot de PFAA's behoren onder andere PFCA's en PFSA's. Voorbeelden van bekende precursoren zijn niet-polymeren zoals FTOH's en PAP's. FTOH's kunnen worden omgezet tot PFCA's, waaronder PFOA (Titaley, 2024). Ook PAP's kunnen worden afgebroken tot PFCA's, zoals PFOA of PFNA (Ao et al., 2024).

Het omzetten van precursoren naar persistente PFAS draagt bij aan de totale blootstelling. Bij consumentenproducten gaat het dan vooral om directe blootstelling waarbij de precursoren in het menselijk lichaam kunnen worden omgezet tot persistente PFAS. Dit proces kan snel gaan (in uren) of jarenlang duren, afhankelijk van de precursor en de omstandigheden. Het niet meenemen van PFAS-precursoren bij blootstellingsschattingen kan leiden tot een onderschatting van de blootstelling aan PFAS. Door de variatie aan precursoren, de complexe afbraakprocessen en het gebrek aan standaarddetectiemethoden (zie sectie 2.5), is het lastig om hun bijdrage aan de totale PFAS-blootstelling van de mens goed te bepalen.

2.5 Uitdagingen bij het analyseren en meten van PFAS

Een andere belangrijke uitdaging bij het begrijpen van blootstelling aan PFAS is het analyseren en meten van deze stoffen. Hoewel er wereldwijd steeds meer methoden worden ontwikkeld om PFAS in het milieu te detecteren, blijft de aanwezigheid van PFAS in consumentenproducten grotendeels onderbelicht (Yang et al. 2025). Dit is te wijten aan:

- Lage concentraties: PFAS in consumentenproducten komen vaak voor in zeer kleine hoeveelheden, wat vraagt om uiterst gevoelige analysetechnieken zoals vloeistofchromatografie-tandemmassaspectrometrie (LC-MS/MS) en hoge-resolutiemassaspectrometrie (HRMS). Zelfs met deze geavanceerde technieken is het detecteren van sommige PFAS, zoals nieuwere stoffen of precursoren, nog steeds een uitdaging.
- Complexe samenstelling: Producten zoals textiel en cosmetica bevatten vaak complexe chemische samenstellingen, waaronder kleurstoffen, additieven en andere verontreinigingen. Deze stoffen kunnen de detectie van PFAS verstoren, PFAS-signalen maskeren of vals-positieve resultaten genereren.
- Gebrek aan gestandaardiseerde analysemethoden: Er is op dit moment geen universeel geaccepteerde standaardmethode voor het identificeren, extraheren en kwantificeren van PFAS in consumentenproducten. Dit gebrek aan uniformiteit leidt tot resultaten die tussen studies sterk kunnen verschillen, waardoor het lastig is om gegevens te vergelijken en betrouwbare of consistente conclusies te trekken over de aanwezigheid van PFAS en de daaruit voortvloeiende risico's.

Hierdoor is onze huidige kennis over de typen en hoeveelheden van PFAS in consumentenproducten beperkt (Dewapriya et al., 2023). Ook is er zeer weinig bekend over de blootstelling van mensen aan PFAS via consumentenproducten.

2.6 Conclusie

Niet-polymeer PFAS vormen het grootste risico voor blootstelling van de algemene populatie, omdat ze mobiel zijn, makkelijker uit producten vrijkomen en eenvoudiger door het lichaam worden opgenomen. PFAS-polymeren en gefluoreerde gassen dragen daarentegen veel minder bij, doordat ze stevig gebonden zijn in materialen of meestal in gesloten systemen worden toegepast. Deze verschillen in eigenschappen vormen daarom een belangrijk uitgangspunt voor de beoordeling van de relevantie van bronnen in het vervolg van dit rapport.

Tegelijkertijd bestaan er aanzienlijke kennishiaten en onzekerheden. Dit betreft onder andere verschillen in de eigenschappen en toxiciteit van PFAS, de gelijktijdige blootstelling aan verschillende PFAS, de invloed van precursoren en het feit dat meetgegevens vooral beschikbaar zijn voor bekende PFAS in specifieke, vaak bestudeerde producten. Dit bemoeilijkt het beoordelen en vergelijken van blootstelling van mensen aan PFAS.

3 Overzicht van toepassingen van PFAS

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk onderzoekt de diverse toepassingen van PFAS en in hoeverre deze toepassingen bijdragen aan de PFAS-blootstelling van de algemene populatie. Het onderzoek richt zich specifiek op blootstellingsroutes via consumentenproducten en niet op beroepsmatige blootstelling. Vanwege het brede gebruik van PFAS en de uitdagingen om transparante informatie hierover te verkrijgen, gebruiken we het universele PFAS-restrictievoorstel (uPFAS-restrictievoorstel) van het Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA) als voornaamste bron.

Het uPFAS-restrictievoorstel biedt een gestructureerd overzicht van PFAS-toepassingen en de daarbij behorende tonnages op Europees niveau, met focus op gevaar, emissies en blootstelling. Hieruit zijn 14 hoofdtoepassingen en 78 sub-toepassingen van PFAS geïdentificeerd, die de basis vormen van de inventarisatie. Hoewel de informatie niet specifiek gericht is op de Nederlandse markt en mogelijk verouderd is, biedt het een waardevol uitgangspunt voor een overzicht van de belangrijkste toepassingen die bijdragen aan blootstelling van de algemene populatie.

De volgende paragrafen beschrijven per toepassing de geschatte tonnages van PFAS in Europa, het type PFAS dat wordt gebruikt en de relevante blootstellingsroutes. De geschatte tonnages bieden een indicatie van de schaal van gebruik, terwijl blootstellingsroutes helpen om toepassingen te identificeren die kunnen bijdragen aan de blootstelling van de algemene populatie.

Ten slotte gaat dit hoofdstuk over blootstelling aan PFAS via contact met consumentenproducten. Blootstelling via het milieu, zoals emissies bij de productie of afvalverwerking, valt buiten de scope van deze analyse (zie sectie 1.4).

3.2 Hoofdtoepassingen

Deze paragraaf geeft per hoofdtoepassing een samenvatting van het tonnage in Europa en beschrijft hoe de algemene populatie via deze toepassing kan worden blootgesteld aan PFAS. Deze informatie is gebaseerd op het uPFAS-restrictievoorstel (ECHA, 2023).

Tabel 1 (afgeleid van Tabel 4 in het uPFAS-restrictievoorstel) geeft een overzicht van de geschatte tonnages PFAS die in 2020 in Europa zijn toegepast, uitgesplitst per hoofdtoepassing. Hoewel deze tonnages geen directe indicatie geven voor de blootstelling aan de algemene populatie, geven ze wel een beeld van de schaal en rangorde van PFAS-gebruik binnen verschillende toepassingen. Samen met informatie over blootstellingsroutes en het type PFAS helpen deze gegevens bij het bepalen van prioriteiten voor verder onderzoek naar blootstelling.

Tabel 1 Rangschikking van hoofdtoepassingen op basis van PFAS-gebruik in Europa (Sectie 1.3 van het uPFAS-restrictievoorstel)

Hoofdtoepassing	Tonnage range op Europees niveau
Toepassingen van fluorgassen (HVAR)	5
Textiel, stoffering, leer, kleding, tapijten (TULAC)	5
Medische hulpmiddelen	5
PFAS-productie	5
Voedselcontactmaterialen en verpakkingen	5
Transport	5
Bouwmaterialen	4
Elektronica en semiconductors	4
Smeermiddelen	4
Petroleum en mijnbouw	4
Energiesector	4
Plateren en produceren van metalen voorwerpen	3
Persoonlijke verzorgingsproducten	2
Consumentenmengsels	2
Skiwas	1

Tonnage range (ton/jaar)	
5	>10.000
4	1.000-10.000
3	100-1.000
2	10-100
1	0-10

Deze tonnages hebben betrekking op het totale gebruik van PFAS op Europees niveau, en zijn niet direct toepasbaar op de situatie in Nederland. Ze kunnen bovendien niet worden gebruikt om de blootstelling aan PFAS van de algemene populatie te schatten omdat ze een breed scala aan verbindingen omvatten, elk met een verschillende kans op blootstelling. Bovendien omvatten de tonnages industriële -, professionele - en consumententoepassingen, waardoor niet alle hoeveelheden in die producten terechtkomen waarmee de algemene populatie in contact komt. Daarnaast wordt de blootstelling niet alleen bepaald door de aanwezigheid of hoeveelheid van PFAS in producten, maar ook door de mate waarin deze stoffen uit producten vrijkomen en door het lichaam worden opgenomen.

In Tabel 1 worden ook de hoofdtoepassingen 'PFAS-productie' en 'voedselcontactmaterialen en verpakkingen' genoemd. Deze toepassingen vallen buiten de scope van dit rapport, omdat werknemersblootstelling is uitgesloten en voedselcontactmaterialen al zijn meegenomen in het onderzoek naar blootstelling via voeding. Daarom worden deze toepassingen niet verder besproken (zie sectie 1.4).

Hieronder worden de verschillende hoofdtoepassingen in meer detail verder besproken.

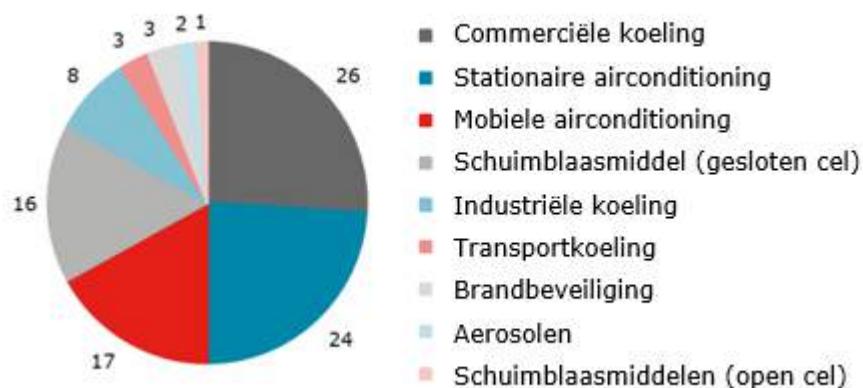
3.2.1 *Toepassingen van gefluoreerde gassen (Secties A.3.9. en B.9.9. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

Gefluoreerde gassen worden in verschillende toepassingen gebruikt, maar hun relevantie als blootstellingsbron voor de algemene populatie is beperkt, gezien de aard van de toepassingen:

- Koelmiddelen: Ze worden veelvuldig gebruikt in warmtepompen, airconditioning en industriële koelsystemen. Deze toepassingen zijn voornamelijk relevant voor commerciële en industriële omgevingen.
- Drijfgassen: In aerosolen met smeermiddelen, reinigingsmiddelen, ontvetters en verven worden ze gebruikt als drijfgassen, dit betreft vooral industriële toepassingen.
- Schuimblaasmiddelen: Deze worden ingezet voor isolatiedoeleinden bij de productie van bouwmaterialen en koelsystemen. Het gaat hierbij vooral om grootschalige en gespecialiseerde toepassingen in professionele en industriële omgevingen, met name in schuim met gesloten cellen waar de lucht niet gemakkelijk uit kan ontsnappen.
- Brandblusmiddelen: Deze toepassing betreft gefluoreerde gasvormige brandblusmiddelen, vooral gebruikt in specifieke industriële en militaire contexten. Het gaat hierbij niet om brandblusschuim op waterbasis (dat is beschreven in sectie 3.2.15).
- Medische hulpmiddelen: Gebruik van gefluoreerde gassen in medische hulpmiddelen wordt in dit rapport apart behandeld (zie sectie 3.2.3).

In Figuur 1 (afgeleid van Figuur A.15. in het uPFAS-restrictievoorstel) laat het aandeel van gefluoreerde gassen per toepassingsgebied in Europa zien. De toepassingen in de figuur zijn verder uitgesplitst ten opzichte van de hoofdtoepassingen zoals hierboven genoemd, zodat sectoren als airconditioning (41%) en koeling (34%) afzonderlijk worden weergegeven. Gezamenlijk vallen deze onder de bredere categorie 'koelmiddelen'. Jaarlijks wordt er 30.671 ton gefluoreerde gassen gebruikt in nieuwe producten. In bestaande apparaten en systemen bevindt zich momenteel een hoeveelheid van 493.173 ton gassen. Bij ontmanteling van dit soort producten wordt jaarlijks 19.724 ton gassen afgevoerd.

Figuur 1 Toepassingsgebieden waarin gefluoreerde gassen worden gebruikt in percentage (%) (Sectie A.3.9. van uPFAS-restrictievoorstel)



Voor de algemene populatie zal de blootstelling aan gefluoreerde gassen in de gebruikersfase laag zijn aangezien deze gassen vooral worden toegepast in gesloten systemen zoals koelkasten, airconditioning en warmtepompen. Er zal alleen blootstelling optreden tijdens lekkage van de gassen. Door deze beperkte relevantie als blootstellingsbron voor het algemene populatie zullen gefluoreerde gassen niet worden meegenomen in de volgende fase waarin blootstelling uit verschillende bronnen worden geïntegreerd.

3.2.2 *Textiel, stoffering, leer, kleding en tapijten (Secties A.3.3. en B.9.3. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden breed toegepast in textiel, stoffering, leer, kleding en tapijten (in het Engelse: TULAC, Textile, Upholstery, Leather, Apparel and Carpets). De belangrijkste toepassingscategorieën zijn:

- Huishoudelijk textiel: Tapijten en vloerkleden, gordijnen en interieurstoffen.
- Consumentenkleding en accessoires: Binnen- en buitenkleding, sportkleding, leer, schoenen en accessoires zoals paraplu's, tassen en portemonnees.
- Beroepskleding: Inclusief persoonlijke beschermingsmiddelen, professionele sportkleding, industriële schoenen, leer en beschermende kleding voor professionele gebruikers.
- Technisch textiel voor buiten: Canvas, luifels, dekzeilen, tenten, touw, zeilen, hoogwaardige membranen voor filtratie (bijv. in de auto-industrie en de medische sector).
- Lederen producten: Tassen, portemonnees, riemen, binnen- en buitenkleding, schoenen.
- Medisch textiel: Kleding en beschermingsmiddelen voor medische omgevingen, zoals matrasbeschermers, bedgordijnen en medische kleding (textiel voor gebruik in of op patiënten valt onder medische hulpmiddelen, zie sectie 3.2.3).

De TULAC-sector is een van de grootste gebruikers van PFAS in Europa, met een geschat jaarlijks gebruik van 41.000–143.000 ton. Daarbij is het belangrijk op te merken dat er weinig gegevens beschikbaar zijn over de PFAS-concentraties in afzonderlijke textielproducten of over het

exacte marktaandeel van PFAS-bevattend textiel op de markt. Meer dan 75% van de toegepaste PFAS binnen de sector bestaat uit PFAS-polymeren, waarvan ongeveer de helft PTFE is. Andere veelgebruikte PFAS-polymeren zijn PVDF, PFPE, FEP en PFA. Deze stoffen worden vaak als een dunne coating op textiel aangebracht, waarbij gefluoreerde zijketens vuil- en waterafstotende eigenschappen geven (EPA DK, 2015). Hoewel PFAS-polymeren in andere toepassingen doorgaans stevig gebonden en inert zijn, kunnen ze bij textiel door slijtage deels vrijkomen en bijdragen aan blootstelling via huidcontact of inhalatie. Een groot deel van het textiel op de Europese markt wordt geïmporteerd van buiten de EU. Het is onduidelijk in hoeverre geïmporteerd textiel PFAS bevat en hoe dit is meegenomen in de huidige schatting van de tonnage, aangezien de sector geen gegevens hierover heeft verstrekt.

Blootstelling aan PFAS via textiel kan op verschillende manieren plaatsvinden, waaronder via huidcontact en via hand-in-mond- of voorwerp-in-mond-contact, wat vooral relevant is bij kinderen. Zo kunnen kinderen PFAS binnenkrijgen door te sabbelen op kleding. Daarnaast kunnen PFAS door verdamping en slijtage van textiel in huisstof en binnenlucht terechtkomen, wat bijdraagt aan de totale blootstelling (zie secties 4.3.1 en 4.3.2).

Vanwege het aanzienlijke totale gebruik van PFAS in deze sector en het verhoogde risico op blootstelling bij jonge kinderen door het sabbelen op textiel, zal deze bron worden meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.3 *Medische hulpmiddelen (Secties A.3.10. en B.9.10. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

Medische hulpmiddelen die PFAS kunnen bevatten zijn onder andere:

- Gefluoreerde gaasjes en wondverbanden,
- Medisch textiel,
- Medische implantaten,
- Slangen en katheters,
- Coatings,
- Technische vloeistoffen voor reiniging en warmteoverdracht,
- Sterilisatiegassen,
- Verpakkingen,
- Elektronische apparatuur,
- Diagnostisch laboratoriumonderzoek,
- Inhalatoren met afgemeten dosis (MDI).

PFAS in medische hulpmiddelen zijn PFAS-polymeren en gefluoreerde gassen. PFAS-polymeren worden gebruikt in producten die in het lichaam worden geplaatst, zoals implantaten, buizen en kleppen, en in producten die buiten het lichaam worden gebruikt, zoals medisch textiel en gaasjes. Gefluoreerde gassen worden toegepast als drijfgas in inhalatoren met afgemeten dosis (MDI) en in systemen zoals medische lasers en warmteoverdrachtsmiddelen.

Het jaarlijkse gebruik van PFAS in medische hulpmiddelen in Europa wordt geschat op 25.000–62.000 ton. Een groot deel hiervan betreft fluorgassen die worden gebruikt in industriële processen die verband houden met medische toepassingen, zoals medische lasers (~44.000

ton per jaar) en inhalatoren (~6 ton per jaar). Er is echter sprake van aanzienlijke onzekerheid over de hoeveelheden PFAS in deze sector, vanwege beperkt beschikbare gegevens.

Medische hulpmiddelen zijn primair bestemd voor specifieke patiëntengroepen en vallen daarmee buiten de focus van dit rapport, dat zich richt op de algemene populatie. Bovendien zijn veel van de toegepaste PFAS in medische hulpmiddelen polymeren of gefluoreerde gassen, die doorgaans sterk gebonden zijn of worden gebruikt in toepassingen waarbij de algemene populatie niet direct aan wordt blootgesteld.

Een uitzondering hierop vormen patiënten die gebruikmaken van MDI-inhalatoren. Voor deze specifieke groep kan de blootstelling wel relevant zijn. Omdat het echter om een specifieke patiëntengroep gaat, valt deze buiten de scope van dit rapport. Daarnaast vereist de beoordeling van blootstelling via medische hulpmiddelen een zorgvuldige afweging tussen het medische belang (zoals gezondheidswinst) en mogelijke risico's. Dit verschilt wezenlijk van consumentenproducten, waarbij geen sprake is van gezondheidswinst waarmee in de beoordeling rekening moet worden gehouden.

Om deze redenen wordt blootstelling vanuit medische hulpmiddelen niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Het is belangrijk te noemen dat de Nederlandse overheid momenteel werkt aan een stappenplan om PFAS in medische toepassingen versneld uit te faseren¹. Hierbij wordt nadrukkelijk gekeken naar alternatieven voor medische producten, terwijl ook de impact op patiënten en de beschikbaarheid van essentiële medische hulpmiddelen en geneesmiddelen zorgvuldig wordt meegewogen.

3.2.4

Transport (Secties A.3.11. en B.9.11. van het uPFAS-restrictievoorstel)

De transportsector omvat vier subsectoren: de automobiel-, maritieme-, luchtvaart- en spoorwegsector. In al deze subsectoren worden PFAS toegepast in een breed scala aan functies en onderdelen, zoals:

- Carrosserie-, romp- en rompconstructie,
- Afdichtingstoepassingen en smeermiddelen,
- Brandstofmotorsystemen,
- Hydraulische vloeistoffen,
- Elektrotechniek en informatietechnologie,
- Coatings en afwerkingen,
- Verwarming, ventilatie en airconditioningsystemen (in het Engels: HVACR, Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Refrigeration),
- Levensreddende en brandbeveiligingssystemen.

Het gebruik van PFAS in de transportsector wordt gedomineerd door PFAS-polymeren, zoals PTFE, PVDF, FEP en fluorelastomeren. In Europa bedraagt het geschatte volume van PFAS-polymeren in de automobiel subsector circa 100.000 ton, met een jaarlijks gebruik van 6.000–14.500 ton. Daarnaast wordt in nieuw geproduceerde HVACR-systemen

¹ [Kamerbrief over uitfasering PFAS in medische producten | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

in voertuigen jaarlijks 12.000 ton PFAS gebruikt, en in nieuwe producten voor transportkoeling 1.000 ton PFAS. Specifieke volumeschattingen voor andere subsectoren, zoals maritieme toepassingen, luchtvaart en spoorwegen, ontbreken in het huidige uPFAS-restrictievoorstel.

Vanwege de thermische en chemische stabiliteit van PFAS-polymeren worden deze in een gebonden vorm gebruikt, wat betekent dat blootstelling aan de algemene populatie tijdens de levensduur van transportmiddelen minimaal is. Gezien de beperkte blootstelling worden toepassingen in de transportsector niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.5 *Bouwmaterialen (Secties A.3.14. en B.9.14. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden gebruikt in verschillende toepassingen in de bouwsector:

- Architecturale membranen (lichtgewicht, gecoate doeken voor daken en overkappingen) en andere dakbedekkingsmaterialen,
- Draden en kabels,
- Constructiemengsels, zoals verven, coatings, impregneermiddelen, kitten en lijmen.

Het jaarlijks gebruik van PFAS in Europa wordt geschat tussen de 5.000 – 13.000 ton, waarvan ongeveer 81% PFAS-polymeren. De belangrijkste gebruikte PFAS-polymeren zijn PTFE, ethyleen-tetrafluorethyleen (ETFE) en PVDF, die samen goed zijn voor 97% van het totale gebruik van PFAS-polymeren. Naast PFAS-polymeren worden ook niet-polymeer PFAS gebruikt, bijvoorbeeld als proceshulpmiddelen of als toevoegingen voor specifieke eigenschappen in constructiemengsels.

De algemene populatie kunnen worden blootgesteld aan PFAS via doe-het-zelfproducten zoals impregneermiddelen, verven en coatings, met name wanneer deze als aerosolsprays worden toegepast (ECHA, 2017). Dit brengt gezondheidsrisico's met zich mee vanwege de aanwezigheid van fijne deeltjes in de lucht. Er zijn gevallen van acute intoxicatie gemeld bij consumenten tijdens het gebruik van deze sprays. Sommige DIY-sprays bevatten 0,5-2% PFAS, veelal PFAS-polymeren met zijketens. Voor producten in vaste vorm, zoals kabels en constructieartikelen, is de kans op blootstelling laag, tenzij de materialen worden bewerkt door bijvoorbeeld slijtage of snijden.

Er zijn momenteel geen specifieke data beschikbaar over volumeschattingen en blootstellingsniveaus. Op basis van gerapporteerde gevallen van acute intoxicatie door impregneersprays is deze bron geprioriteerd voor verdere uitwerking. Daarom zullen deze producten worden meegenomen in de volgende fase waarin blootstelling uit verschillende bronnen wordt geïntegreerd.

3.2.6 *Elektronica en halfgeleiders (Secties A.3.12. en B.9.12. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden veel gebruikt in de elektronica- en halfgeleiderindustrie vanwege de vele goede eigenschappen. PFAS worden gebruikt in producten en componenten om hun functionaliteit te verbeteren als in het proces om die producten en componenten te maken.

Het jaarlijks gebruik van PFAS in Europa wordt geschat tussen de 2.500 – 6.300 ton, waarvan 65% PFAS-polymeren zijn (zoals PTFE, PFA, PVDF, ETFE en FEP) en 35% niet-polymeer PFAS. Niet-polymeer PFAS (zoals perfluorbutaansulfonaat, PFBS) worden voornamelijk gebruikt als oppervlakte-actieve stoffen, oplosmiddelreinigers en warmteoverdrachtsvloeistoffen. Binnen de sector wordt 55% van de PFAS-polymeren gebruikt door de elektronica-industrie en 45% door de halfgeleiderindustrie. Voor niet-polymeer PFAS geldt dat ongeveer 93% wordt gebruikt in de elektronica-industrie en de resterende 7% in de halfgeleiderindustrie.

Niet-polymeer PFAS worden voornamelijk gebruikt in industriële processen tijdens de productie, zoals in reinigingsmiddelen of als warmteoverdrachtsvloeistoffen. Volgens beschikbare informatie vanuit de industrie worden niet-polymeer PFAS volledig verwijderd tijdens de productieprocessen of zijn ze niet actief aanwezig in eindproducten. Elektronische consumentenapparaten kunnen onderdelen bevatten met PFAS, met name polymeren. Deze worden in gebonden vorm gebruikt, wat betekent dat ze inert zijn. Hierdoor komt PFAS niet of nauwelijks vrij, en blijft de blootstelling van de algemene populatie tijdens gebruik minimaal.

Vanwege de industriële aard van veel toepassingen en de gebonden vorm van PFAS-polymeren in eindproducten wordt verwacht dat de blootstelling van de algemene populatie aan PFAS via deze sector zeer beperkt is. Daarom wordt deze bron niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.7 *Smeermiddelen (Secties A.3.15. en B.9.15. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

Smeermiddelen kunnen in vijf categorieën verdeeld worden:

- Smeermiddelen met een lage viscositeit,
- Motoroliën,
- Vetten,
- Vaste/droge films,
- Losmiddelen en anti-aanhechtingsmiddelen.

Het gebruik van PFAS in smeermiddelen in Europa wordt geschat op 1.200–2.200 ton per jaar, waarvan ongeveer een derde wordt gebruikt als PFAS-polymeren in basisoliën (zoals PFPE en perchloortrifluorethyleen (PCTFE) en twee derde als PFAS-polymeren in micropoederadditieven (bijv. PTFE). In zeer lage volumes worden ook niet-polymeer PFAS toegepast, bijvoorbeeld als disperseermiddelen of oplosmiddelen.

Voor consumentengebruik wordt het gebruik van PFAS-smeermiddelen als beperkt beschouwd, voornamelijk vanwege de hoge kosten van deze producten. Een uitzondering vormt het gebruik in niches, zoals speciale smeermiddelen voor fietskettingen en multifunctionele smeermiddelen. Echter, er is geen bewijs dat deze smeermiddelen wijdverbreid door de algemene populatie wordt gebruikt. De industrie beschouwt PFAS-bevattende smeermiddelen voor consumentengebruik niet als cruciaal of essentieel.

Voor brede consumententoepassingen, zoals smeermiddelen in auto's, huishoudelijke apparaten en elektrisch gereedschap, wordt gebruikgemaakt van levenslange smering, wat betekent dat smeermiddelen tijdens de gebruiksduur niet hoeven te worden vervangen of aangevuld. Hierdoor komt er volgens stakeholders vrijwel geen PFAS vrij tijdens gebruik.

Hoewel blootstelling van de algemene populatie aan PFAS via smeermiddelen door de industrie als zeer beperkt wordt beschouwd, blijft er onzekerheid over de omvang van het gebruik in niches zoals fietssmeermiddelen of multifunctionele smeermiddelen. Er zijn onvoldoende gegevens om goed te begrijpen hoe de algemene populatie deze producten gebruikt en om de kans op blootstelling te schatten. Om deze onzekerheid uit te zoeken, worden deze niches wel meegenomen in de volgende fase waarin blootstelling uit verschillende bronnen wordt geïntegreerd.

3.2.8 *Petroleum en mijnbouw (Secties A.3.16. en B.9.16. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

De aardolie- en mijnbouwsector maken gebruik van PFAS in een breed scala aan toepassingen, waaronder:

- Exploratie en productie van aardolie: PFAS worden gebruikt in boorvloeistoffen, stimulatiechemicaliën en als water- en gastracers.
- Apparatuur en infrastructuur: PFAS zijn verwerkt in componenten zoals leidingen, kabels en andere apparatuur die worden ingezet bij de winning, het transport en de opslag van aardolie.
- Mijnbouwactiviteiten: PFAS vinden toepassing in de winning van erts en mineralen en worden gebruikt in verschillende materialen en apparatuur, zoals leidingen, kabels, slangen en membranen.

In de petroleum- en mijnbouwsector worden zowel polymeer- als niet-polymeer PFAS gebruikt, waarbij PFAS-polymeren een grotere rol spelen vanwege hun brede toepassing, bijvoorbeeld in corrosiebescherming en afdichtingen. Niet-polymeer PFAS hebben een beperktere specifieke toepassing zoals oppervlakte-actieve stoffen en tracers. De totale verkoop van PFAS-polymeren in Europa voor de aardolie- en mijnbouwsector werd in 2020 geschat op 3.500 – 7.500 ton per jaar.

Vanwege de industriële aard van de toepassingen is kans op blootstelling van de algemene populatie zeer beperkt. Daarom wordt deze blootstellingsbron niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.9 *Energiesector (Secties A.3.13. en B.9.13. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden breed toegepast in de energiesector vanwege hun gunstige eigenschappen, zoals thermische bestendigheid en hoge weersbestendigheid. De belangrijkste toepassingen zijn:

- Batterijen:
 - o Lithium-ion batterijen bevatten fluormaterialen zoals PTFE en PVDF in bindmiddelen, separatoren en elektrolytvloeistoffen.

- o Andere batterijtypen, zoals alkaline-, flow- en vanadiumredox-batterijen, maken gebruik van PFAS in bindmiddelen, ionenuitwisselingsmembranen en afdichtingen.
- Zonne-energie: PVDF en ETFE worden gebruikt als coatings en films voor zonnepanelen.
- Windenergie: PFAS-polymeren worden gebruikt in coatings voor windturbines.
- Brandbeveiliging en koeling: PFAS-vloeistoffen worden toegepast in elektrische systemen, transformatoren en voor gespecialiseerde brandpreventie.
- Overige infrastructuur: PFAS worden gebruikt in coatings en afdichtingen voor warmtewisselaars, powertransformatoren en andere elektromechanische infrastructuur.

In Europa wordt het jaarlijks gebruik van PFAS in de energiesector geschat op 2.900 – 3.200 ton, waarvan ongeveer 84% polymeren zijn. Lithium-ion batterijen vertegenwoordigen een aanzienlijk deel van dit gebruik, met een geschat jaarlijks volume van 1.600 ton PFAS in bindmiddelen, separatoren, en elektrolytadditieven.

Vanwege de stevige, gebonden toepassingen van PFAS in materialen (bijv. fluorpolymeren en elastomeren) en de stabiliteit van deze verbindingen tot 300°C, is de kans op vrijkomen tijdens normaal gebruik zeer beperkt. Ook tijdens het gebruik van lithium-ion batterijen komen geen PFAS vrij. Directe contact van de algemene populatie aan PFAS via toepassingen in de energiesector wordt daarom niet verwacht. Aangezien de kans op blootstelling via deze bron minimaal is, wordt de energiesector niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.10 *Plateren en produceren van metalen voorwerpen (Secties A.3.5. en B.9.5. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden gebruikt in diverse processen en toepassingen binnen het plateren, oftewel het bedekken van een metaal met een ander metaal (metaalbekleding), en de productie van metalen voorwerpen. De belangrijkste functies van PFAS in deze sector zijn:

- Mistonderdrukkers: PFAS worden gebruikt om aerosolemissies te verminderen, bijvoorbeeld tijdens processen zoals hard verchromen.
- Coating en oppervlaktebehandeling: PFAS-polymeren worden toegepast in coatings om oppervlakken te beschermen tegen corrosie en extreme temperaturen.
- Reinigingsmiddelen en elektrische isolatie: PFAS worden toegepast in reinigingsmiddelen voor metaalonderdelen en als elektrische isolatoren bij specifieke toepassingen.
- Corrosieremmers: PFAS worden toegepast om metalen onderdelen te beschermen tegen corrosie, vooral in omstandigheden met agressieve chemicaliën of zware belasting.

Het jaarlijkse gebruik van PFAS in deze sector in Europa wordt geschat op ongeveer 960 ton, voornamelijk bestaande uit PFAS-polymeren.

Belanghebbenden geven aan dat PFAS geen functie heeft in het uiteindelijke metalen product (bijvoorbeeld verchromde artikelen) en

dat deze stoffen daarom niet aanwezig zijn in het eindproduct. Dit betekent dat de algemene populatie niet in contact komt met PFAS via het gebruik van metalen voorwerpen.

Vanwege het ontbreken van PFAS in eindproducten en de industriële aard van de toepassingen is de kans op blootstelling van de algemene populatie aan PFAS vanuit deze bron laag tot verwaarloosbaar. Daarom zal deze bron niet worden meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.11 *Persoonlijke verzorgingsproducten (Secties A.3.7. en B.9.7. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

PFAS worden in persoonlijke verzorgingsproducten toegepast vanwege hun specifieke functionele eigenschappen, zoals emulsie van ingrediënten, antistatische werking, stabilisatie, filmvorming, huidconditionering en viscositeitsregeling.

In de voorbereiding van de uPFAS-restrictie zijn vier verschillende databases (CosIng, CosmEthics, Kemiluppen en ToxFox) geraadpleegd om een overzicht te krijgen van de identiteit en frequentie van voorkomen van PFAS in persoonlijke verzorgingsproducten. Uit deze analyse zijn ongeveer 170 unieke PFAS-ingrediënten geïdentificeerd, waarvan 42 daadwerkelijk aanwezig waren in producten in Europa. Veelgebruikte PFAS-ingrediënten in deze producten zijn onder andere PTFE (een PFAS-polymeer) en C9-15-fluoralcoholfosfaat (een niet-polymeer PFAS). Het is belangrijk op te merken dat PFAS die als vervuiling of onzuiverheid in persoonlijke verzorgingsproducten voorkomen, niet in de ingrediëntenlijsten worden vermeld en daarom mogelijk niet zijn opgenomen in deze databases (KEMI, 2021).

Volgens analyse van een grote database van persoonlijke verzorgingsproducten (CosmEthics) bevat 1,1–1,4% van de geregistreerde producten PFAS (Tabel 2, afgeleid van Tabel A.30 uit uPFAS-restrictievoorstel). Het hoogste percentage komt voor bij decoratieve cosmetica (make-up) (4%), gevolgd door huidverzorgingsproducten (0,8%), haarverzorgingsproducten (0,7%) en toiletartikelen (0,3%). In parfums is het gebruik van PFAS zeer klein (0,03%).

Tabel 2 Percentage persoonlijke verzorgingsproducten per categorie dat PFAS bevat (Sectie A.3.7. uit uPFAS-restrictievoorstel)

Product categorie (Cosmetics Europe)	Totaal aantal producten	Totaal aantal producten welke PFAS bevatten	Percentage producten welke PFAS bevatten (%)
Decoratieve cosmetica	29118	1068	3,76
Haarverzorging	21938	142	0,65
Parfums	3637	1	0,03
Huidverzorging	40103	314	0,78
Toiletartikelen	17844	49	0,27
Totaal	112639	1574	1,40

De jaarlijkse hoeveelheid PFAS in persoonlijke verzorgingsproducten binnen de Europese Economische Ruimte wordt geschat tussen 0,028 ton en 64,2 ton per jaar. Hiervan wordt het grootste deel gebruikt in huidverzorgingsproducten (0,014-49,9 ton per jaar), gevolgd door decoratieve cosmetica (0,01-7,1 ton per jaar), haarverzorging (0,003-4,6 ton per jaar) en toiletartikelen (0,002-2,5 ton per jaar).

Blootstelling aan PFAS via persoonlijke verzorgingsproducten kan plaatsvinden via verschillende routes, waaronder huidcontact, inhalatie en via de mond. Blootstelling via inhalatie kan voorkomen bij producten zoals sprays of aerosols (bijvoorbeeld haarlak of parfums), waarbij de gebruiker dampen of deeltjes kan inademen. Orale blootstelling is vooral denkbaar bij lipproducten (bijvoorbeeld lippenstift of lipgloss) of tandpasta, die direct contact met de mond hebben. Deze inhalatoire en orale blootstellingsroutes worden echter niet verder besproken in het uPFAS-restrictievoorstel.

Dermale blootstelling aan PFAS via persoonlijke verzorgingsproducten werden in eerdere studies als verwaarloosbaar beschouwd (Winkens et al., 2017b zoals geciteerd in uPFAS-restrictievoorstel). Toch vormt deze blootstelling mogelijk een relevante route, gezien het grote huidoppervlak ($\sim 22 \text{ m}^2$; Godin en Touitou, 2007 zoals geciteerd in uPFAS-restrictievoorstel) en de regelmatige toepassing van persoonlijke verzorgingsproducten op de huid. Er is echter aanzienlijke onzekerheid over de hoeveelheid PFAS die via de huid wordt opgenomen, mede door een gebrek aan gegevens en variatie in de gebruikte analytische methoden.

Persoonlijke verzorgingsproducten bevatten relatief kleine hoeveelheden PFAS en worden in slechts een klein deel van de markt aangetroffen (1,1–1,4%). Hoewel het gebruik in specifieke categorieën, zoals decoratieve cosmetica en huidverzorging, hoger is dan in andere groepen, lijkt dermale blootstelling via de huid in pH-neutrale producten beperkt te zijn.

Merk-trouw kan echter een bijkomende blootstellingsfactor zijn. Consumenten die langdurig dezelfde producten blijven gebruiken waarin PFAS aanwezig is, kunnen hogere chronische blootstellingsniveaus hebben door herhaald en frequent gebruik. Hierdoor kan deze bron van PFAS mogelijk relevant zijn voor bepaalde (sub)populaties. Vanwege dit potentiële risico wordt deze bron meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.12 *Consumentenmengsels en diverse producten (Secties A.3.6. en B.9.6. van het uPFAS-restrictievoorstel)*

Onder consumentenmengsels verstaan we producten die bestaan uit meerdere stoffen en bedoeld zijn voor consumentengebruik. PFAS worden veelvuldig toegepast in allerlei producten vanwege hun unieke eigenschappen, zoals water- en vuilafstotendheid, en als oppervlakte-actieve stoffen of bevochtigingsmiddelen. Voorbeelden van dergelijke producten zijn:

- Schoonmaakmiddelen: Glas-, metaal-, keramiek-, tapijt-, en interieurstoffenschoonmaakmiddelen.

- Polijst- en wasmiddelen: Voor meubels, vloeren en auto's, vloerpolijstverwijderaars.
- Stomerijproducten.
- Keukenmiddelen: Afwasmiddelen en glasspoelmiddelen.
- Autoproducten: Ruitenbehandelingen, ruitenwisservloeistoffen en autoverzorgingsproducten.
- Smeermiddelen: PTFE-sprays voor deuren, sloten, fietskettingen, motorfietsen en waterproofritsen (zie ook sectie 3.2.7).
- Anticondensmiddelen.
- Muziekinstrumenten: Smeermiddelen, gitaarsnaren, pianotoetsen.

De jaarlijkse hoeveelheid PFAS in consumentenmengsels wordt geschat op 21–30 ton per jaar, waarvan ongeveer 20 ton wordt gebruikt in reinigingsmiddelen, polijst- en wasmiddelen. Voor muziekinstrumenten wordt een jaarlijkse schatting van 1 tot 10 ton PFAS genoemd. Deze schattingen zijn onzeker, omdat ze zijn gebaseerd op gegevens uit Scandinavische landen. Daarnaast is er beperkte informatie beschikbaar over producten in andere EU-landen. Ook is de informatie over muziekinstrumenten afkomstig van een enkele stakeholder, wat het zeer onzeker maakt.

Consumentenmengsels bevatten een variëteit aan PFAS, waaronder niet-polymeer PFAS (zoals FTOH, PFCA's en perfluoralkylethers) en PFAS-polymeren (zoals PTFE). Niet-polymeer PFAS, zoals PFCA's worden gebruikt in reinigingsmiddelen en FTOH in anticondensmiddelen, terwijl PFAS-polymeren, zoals PTFE, voornamelijk worden toegepast in coatings op gitaren (snaarcoating) smeermiddelen.

De concentratie PFAS in schoonmaak-, polijst- en wasmiddelen varieert doorgaans tussen 10 mg/kg (0,001%) en 1.000 mg/kg (0,1%), waarbij concentraties van 200 mg/kg (0,02%) of minder meestal gebruikelijk zijn (Chemours, 2017 zoals geciteerd in uPFAS-restrictievoorstel). Voor smeermiddelen of coatings voor muziekinstrumenten zijn geen concentratiegegevens beschikbaar. Uitzonderlijk hoge concentraties, zoals 12% PTFE in een autopoetsmiddel, zijn gerapporteerd, maar het blijft onduidelijk of deze representatief zijn voor vergelijkbare producten.

De algemene populatie kan tijdens het gebruik van deze mengsels en producten met PFAS in contact komen via verschillende routes, waaronder huidcontact, inademing en hand-mondcontact. In het bijzonder kunnen sprayproducten, zoals PTFE-sprays en ruitenbehandelingen (Anti Condens Spray), leiden tot inhalatoire blootstelling, vooral in slecht geventileerde ruimtes. Daarnaast kunnen PFAS uit deze producten zich ophopen in huisstof, wat een aanvullende blootstellingsroute vormt (zie sectie 4.3.1).

Voor vervolgonderzoek lijken smeermiddelen in spuitbussen, zoals PTFE-spray, de meest relevante categorie. Dit komt door de combinatie van hun veelvoorkomende gebruiksvriendelijke toedieningsvorm (spuitbus), die inhalatoire blootstelling mogelijk maakt, en hun veelzijdige toepassingen, zoals op fietskettingen, sloten en deuren, waardoor ze breed relevant zijn voor de algemene populatie. Deze producten zullen

worden meegenomen in de volgende fase, waarin blootstelling uit verschillende bronnen wordt geïntegreerd.

Schoonmaak-, polijst-, en wasmiddelen zijn vanwege hun doorgaans lage PFAS-concentraties (meestal <200 mg/kg) minder interessant voor vervolgonderzoek. Toepassingen van PFAS in coatings en smeermiddelen voor muziekinstrumenten lijken daarnaast voornamelijk een nichetoepassing te zijn. Door beperkte gegevens (afkomstig van slechts één bron) en de geringe relevantie voor de algemene populatie, vallen deze producten buiten de scope voor verder onderzoek.

- 3.2.13 *Skiwas (Secties A.3.8. en B.9.8. van het uPFAS-restrictievoorstel)*
PFAS worden gebruikt in skiwas vanwege hun unieke eigenschappen, zoals hoge waterafstotendheid en het creëren van een lage oppervlaktetensie. Deze eigenschappen verminderen de wrijving tussen ski's en sneeuw (droog, nat en elektrostatisch) en verbeteren zo de glijprestaties. Naast skiwas worden PFAS soms ook verwerkt in de zolen van ski's en andere skiuitrusting.

In Europa wordt jaarlijks ongeveer 72 ton skiwas geproduceerd, waarvan circa 30% (21 ton) PFAS-bevattend is. Het PFAS-gehalte van deze skiwas wordt geschat op 7,6% w/w, wat neerkomt op circa 1,6 ton PFAS per jaar in skiwasformuleringen binnen de EU. In skiwas wordt voornamelijk gebruikgemaakt van niet-polymeer PFAS. Sinds eind jaren 2010 is het gebruik van PFAS-gebaseerde skiwas echter afgenomen door beleidsmaatregelen en toenemende publieke bezorgdheid over de milieueffecten. Fluorvrije alternatieven worden steeds breder ingezet, vooral onder toeristische skiërs.

Het aanbrengen van skiwas kan tot blootstelling aan PFAS leiden via inademing van dampen en stofdeeltjes of via huidcontact. Studies hebben aangetoond dat langdurige blootstelling aan PFAS-bevattende skiwas kan bijdragen aan verhoogde niveaus van perfluoralkylverbindingen (zoals PFCA's) in het bloed bij personen die frequent met deze producten werken, zoals servicetechnici of skiwaxspecialisten. Deze producten worden voornamelijk gebruikt door professionele skiërs tijdens wedstrijden. Toeristische skiërs gebruiken doorgaans fluorvrije alternatieven.

Vanwege het beperkte gebruik van PFAS-gebaseerde skiwas onder de algemene populatie en de krimpende markt voor deze producten, is de eventuele blootstelling van de algemene populatie relatief laag. Daarom zal deze bron niet worden meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

- 3.2.14 *Werkzame stof in gewasbeschermingsmiddelen, biociden en geneesmiddelen (Secties A.3.17. en B.9.17. van het uPFAS-restrictievoorstel)*
PFAS worden toegepast als werkzame stoffen (die het eigenlijke effect veroorzaken) en formuleringshulpstoffen (toegevoegd om het product beter te laten werken) in gewasbeschermingsmiddelen, biociden en geneesmiddelen voor mens en dier. De toepassingen vallen onder sectorspecifieke EU-wetgeving, zoals de Plant Protection Products Regulation (Regulation (EC) No 1107/2009), de Biocidal Products

Regulation (Regulation (EU) No 528/2012), en richtlijnen voor geneesmiddelen (Directive 2001/83/EC en Regulation (EC) No 726/2004). Deze wetgeving stelt eisen aan de veiligheid en het gebruik van deze stoffen, inclusief beoordeling van de blootstelling voor gebruikers en omstanders.

Europees overzicht (sectie A.3.17. van het uPFAS restrictievoorstel):

- Gewasbeschermingsmiddelen: In Europa zijn minstens 48 werkzame stoffen in gewasbeschermingsmiddelen geïdentificeerd als PFAS. Een deel hiervan wordt ook gebruikt in biociden. Het geschatte jaarlijkse gebruik van PFAS als werkzame stof in gewasbeschermingsmiddelen bedraagt 5.500 ton.
- Biociden: Voor biociden zijn negen werkzame stoffen als PFAS aangemerkt. Deze stoffen worden gebruikt in verschillende productcategorieën, waaronder insecticiden, houtconserveermiddelen en rodenticiden. Gegevens over het gebruiksvolume van PFAS in biociden zijn niet beschikbaar.
- Geneesmiddelen: In geneesmiddelen voor mens en dier zijn 65 werkzame stoffen geïdentificeerd als PFAS. Voor humane geneesmiddelen wordt jaarlijks meer dan 500 ton PFAS gebruikt. Specifieke gegevens over het gebruik in diergeneesmiddelen ontbreken.

Nederland:

In Ctgb-toelatingendatabank zijn 27 als PFAS-werkzame stoffen in biociden en gewasbeschermingsmiddelen geregisterd (Komen en Wezenbeek, 2022):

- Twee stoffen (fipronil en flocoumafen) worden uitsluitend in biociden toegepast.
- Drie stoffen (lambda-cyhalothrin, fludioxonil en indoxacarb) worden gebruikt in zowel biociden als gewasbeschermingsmiddelen.
- 22 stoffen worden exclusief in gewasbeschermingsmiddelen toegepast.

De databank bevatte 133 producten met PFAS als werkzame stof, waarvan 13 biociden en 120 gewasbeschermingsmiddelen (Komen en Wezenbeek, 2022). Voor de formuleringshulpstoffen kon dit niet worden uitgezocht in de Ctgb-toelatingendatabank.

Bij geneesmiddelen betreft het gebruik van als PFAS-geïdentificeerde werkzame stoffen 734 verschillende producten. Daarnaast worden twee PFAS-geïdentificeerde formuleringshulpstoffen gebruikt als drijfgas in 144 inhalatiemedicijnen, die zijn bedoeld voor de behandeling van luchtwegaandoeningen (Tweede Kamer, vergaderjaar 2023–2024, 35 334, nr. 294).

PFAS-houdende gewasbeschermingsmiddelen worden toegepast op consumptie- en sierplanten, zowel in de landbouw als bij particulier gebruik. Direct contact met deze middelen door de algemene populatie is relatief beperkt en komt vooral voor bij gebruik in moestuinen. Voor deze groep is de blootstelling via voedsel echter doorgaans belangrijker zijn dan via direct contact met het middel zelf. Omwonenden van akkers kunnen PFAS binnenkrijgen door het inademen van spuitdrift, maar deze

route wordt voor gewasbeschermingsmiddelen doorgaans meegenomen in de risicobeoordeling, ten minste voor werkzame stoffen. Door een gebrek aan concrete gegevens is het lastig om de bijdrage van biociden aan de blootstelling van de algemene populatie te beoordelen. Daarnaast betreft een groot deel van het gebruik professionele toepassingen, waarbij blootstelling van werknemers plaatsvindt. Beroepsmatige blootstelling valt buiten de scope van dit rapport. Omdat voor beide productgroepen sectorspecifieke, wettelijk verplichte veiligheidsbeoordelingen gelden, worden ze in dit rapport niet verder geprioriteerd. De bijdrage van hulpstoffen aan de totale PFAS-blootstelling van de algemene populatie kan bovendien niet goed worden beoordeeld, omdat de samenstelling van deze producten is onvoldoende bekend.

Voor geneesmiddelen geldt dat de blootstelling via specifieke producten, zoals inhalatiemedicatie, relevant kan zijn voor bepaalde patiëntengroepen. In deze gevallen wordt een zorgvuldige afweging gemaakt tussen de gezondheidswinst en de mogelijke risico's. Dit onderscheidt geneesmiddelen duidelijk van andere consumentenproducten.

Gezien de sectorspecifieke regelgeving, de focus van dit rapport op blootstelling aan de algemene populatie (en niet op beroepsmatige blootstelling), het beperkte directe contact van de algemene populatie met deze middelen, en het ontbreken van voldoende gegevens over hulpstoffen, wordt blootstelling via werkzame stoffen in gewasbeschermingsmiddelen, biociden en geneesmiddelen niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Het is daarbij goed om te vermelden dat de Nederlandse overheid momenteel werkt aan een stappenplan om het gebruik van PFAS in geneesmiddelen versneld uit te faseren².

3.2.15 *Overige toepassingen buiten de uPFAS-restrictievoorstel*

3.2.15.1 *Brandblusschuim*

Brandblusschuim valt niet onder de uPFAS-restrictievoorstel, maar wordt geregeld via een aparte restrictie³. Deze restrictie is goedgekeurd door het Comité voor Risicobeoordeling (RAC) en het Comité voor Sociaaleconomische Analyse (SEAC) en is nu in behandeling bij de Europese Commissie. De Commissie zal bepalen of de restrictie noodzakelijk is.

PFAS worden in brandblusschuimen gebruikt vanwege hun oppervlakte-actieve eigenschappen. Ze helpen bij het vormen van een stabiele film op brandende vloeistoffen, waardoor de zuurstoftoevoer wordt beperkt en herontbranding wordt voorkomen. Deze eigenschappen maken PFAS-gebaseerde brandblusschuimen bijzonder geschikt voor het bestrijden van branden met ontvlambare vloeistoffen, zoals olie en chemicaliën.

Binnen de EU wordt jaarlijks naar schatting 30.000 ton brandblusschuim gebruikt, waarvan circa 60% (18.000 ton) PFAS bevat. De olie-, en chemische industrie zijn de grootste afnemers van PFAS-gebaseerd

² [Kamerbrief over uitfasering PFAS in medische producten | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

³ [Registry of restriction intentions until outcome - ECHA](#)

schuim vanwege de aard en het risico van de materialen waarmee zij werken. De precieze identiteit van de PFAS die in brandblusschuimen worden gebruikt, is vaak onbekend vanwege de vertrouwelijkheid van fabrikanten. Volgens de industrie gaat het voornamelijk om niet-polymeer PFAS met een korte C6-keten.

De directe blootstelling van de algemene populatie aan PFAS via brandblusschuim is laag tot verwaarloosbaar, omdat het gebruik ervan meestal beperkt is tot industriële omgevingen. Brandblusmiddelen worden daarom niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.2.15.2 *Toiletpapier, speelgoed, mest- en compoststoffen en persoonlijke hygiëneproducten*

Bij de belanghebbendenbijeenkomst van het PFAS-onderzoeksprogramma op 28 februari 2024 werden toiletpapier, speelgoed en mest- en compoststoffen genoemd als mogelijk bronnen van PFAS-blootstelling voor de consument.

Toiletpapier

Toiletpapier wordt in de uPFAS-restrictievoorstel niet als aparte sector benoemd, maar het is bekend dat PFAS tijdens de productie van papierproducten kunnen worden gebruikt, bijvoorbeeld in smeerprocessen bij pulpbehandeling en in smeermiddelen voor machines. Omdat PFAS tijdens het recyclingproces niet worden verwijderd, kunnen deze stoffen aanwezig blijven in gerecyclede materialen, zoals papier, indien de oorspronkelijke bron PFAS bevat. Uit onderzoek blijkt dat toiletpapier, gemaakt van papierpulp, PFAS kan bevatten. De meest gemeten PFAS in toiletpapier is fluorotelomeerfosfaatdiester (6:2 diPAP) (Thompson et al., 2023).

Hoewel er geen informatie is over hoeveel PFAS vrijkomt uit toiletpapier tijdens het gebruik, wordt de kans op blootstelling voor de algemene populatie als gering ingeschat. Dit komt doordat toiletpapier slechts kortdurend in contact komt met de huid. Vanwege dit beperkte kans op blootstelling wordt toiletpapier niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

Speelgoed

Speelgoed wordt in de uPFAS-restrictievoorstel niet als een aparte sector genoemd, maar PFAS kan als (verontreiniging) voorkomen in materialen zoals textiel, plastic en polyurethaanschuim, die worden gebruikt bij de productie van speelgoed. Direct onderzoek naar de aanwezigheid van PFAS in speelgoed is echter relatief beperkt in vergelijking met andere consumentenproducten. Een zoekopdracht met de zoektermen *PFAS and toys* in PubMed, Scopus, of Web of Science leverde bovendien geen relevante wetenschappelijke publicaties op.

Binnen Europa wordt de speelgoedverordening momenteel herzien. PFAS worden (intentioneel) verboden in speelgoed zodra de nieuwe verordening ingaat. Volgens het politiek akkoord over deze verordening zal het intentionele gebruik van PFAS in speelgoed worden verboden zodra de nieuwe regelgeving van kracht wordt. Daarnaast vallen PFAS die geclassificeerd zijn als bijvoorbeeld (vermoedelijk)

kankerverwekkend of hormoonverstorend automatisch onder de bestaande en toekomstige beperkingen voor gevaarlijke stoffen in speelgoed. De formele goedkeuring van de verordening door Raad en Parlement wordt in de zomer of het najaar van 2025 verwacht, waarna officiële publicatie en inwerkingtreding volgen⁴.

Vanwege het gebrek aan specifieke gegevens over de aanwezigheid en blootstelling aan PFAS in speelgoed, zal speelgoed niet worden meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

Mest- en compoststoffen

Mest- en compoststoffen worden in de uPFAS-restrictievoorstel niet als een aparte sector genoemd. Het onderzoek naar de aanwezigheid van PFAS in mest- en compoststoffen is relatief beperkt. Er zijn echter duidelijke aanwijzingen dat PFAS aanwezig kan zijn in mest en compost als deze afkomstig zijn van materialen die al met PFAS zijn verontreinigd, zoals gft-afval, andere organische afvalstromen of zuiveringsslib dat wordt toegepast als meststof op landbouwgrond. Aangezien de focus van deze prioritering ligt op direct contact met PFAS door de algemene populatie, en de meeste mensen weinig tot geen direct contact hebben met mest- en compoststoffen in het dagelijks leven, wordt deze bron niet verder meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

Persoonlijke hygiëneproducten

Persoonlijke hygiëneproducten, zoals maandverband, inlegkruisjes, tampons, luiers, menstruatiecups, mondkapjes en tandflos, worden niet expliciet vermeld in de uPFAS-restrictievoorstel. Onderzoek toont echter aan dat deze producten in sommige gevallen PFAS kunnen bevatten. Zo werden in een studie uit China gekeken naar 21 verschillende PFAS in diverse persoonlijke hygiëneproducten. De gemiddelde concentraties van de som van 21 PFAS varieert: maandverband (5,46 ng/g), inlegkruisjes (0,39 ng/g), tampons (onder de detectielimiet), luiers (4,72 ng/g) en menstruatiecups (14,95 ng/g) (Zhou et al., 2023). Niet-polymeer PFCA bleek de meest voorkomende PFAS te zijn, met een aandeel van meer dan 85% in de totale PFAS-concentraties. Voor maandverband, inlegkruisjes, tampons en papieren luiers lijkt het aannemelijk dat de gemeten PFAS het gevolg zijn van onbedoelde vervuiling tijdens de productie, bijvoorbeeld door vervuilde grondstoffen zoals katoen, het gebruik van PFAS-houdende hulpmiddelen of verontreiniging elders in de toeleveringsketen.

Bij mondkapjes die in de Verenigde Staten zijn onderzocht, varieerden de PFAS-concentraties van 15 tot 2900 µg/m² (Muensterman et al., 2022). Met name niet-polymeer PFAS werden aangetroffen, waarbij PFCA het meest voorkwam, gevolgd door FTOH. De studie stelt dat sommige PFAS mogelijk opzettelijk zijn toegevoegd, bijvoorbeeld in de vorm van fluorpolymeer-gebaseerde coatings voor water- en vuilafstotende eigenschappen. Tegelijkertijd konden niet alle gedetecteerde PFAS worden toegeschreven aan deze coatings. Dit wijst op andere potentiële bronnen van contaminatie, zoals het gebruik van

⁴ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754600/EPRS_BRI\(2023\)754600_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754600/EPRS_BRI(2023)754600_EN.pdf)

PFAS-vervuild water tijdens de productie, PFAS-bevattende materialen in de productieomgeving of onbedoelde blootstelling via machines.

Hoewel één publicatie een associatie laat zien tussen het gebruik van PFAS-houdende tandflos en verhoogde PFAS-waarden in het lichaam, is een causaal verband hierin onvoldoende aangetoond. De studie kent diverse beperkingen, waaronder mogelijke confounding factoren, het feit dat gedrag en bloedafname niet gelijktijdig zijn gemeten en het niet onderscheiden van verschillende typen floss in de vragenlijst (Boronow et al., 2019). De auteurs geven zelf aan dat aanvullend onderzoek nodig is om te bevestigen dat PFAS uit tandflos daadwerkelijk bijdraagt aan de blootstelling van gebruikers, bijvoorbeeld door te onderzoeken of PFAS daadwerkelijk overgaat naar speeksel of handen. PFAS lijken in tandflos bewust te zijn toegevoegd vanwege hun functionele eigenschappen, zoals het gladder en waterafstotend maken van het flossdraad. Daarnaast is de gebruiksduur van tandflos doorgaans kort, wat de kans op substantiële blootstelling verder beperkt. Op basis van de huidige kennis is de bijdrage van tandflos aan de totale PFAS-blootstelling van de algemene populatie daarom waarschijnlijk gering.

Op dit moment is er beperkte kennis over hoeveel PFAS werkelijk vrijkomt uit persoonlijke hygiëneproducten en in hoeverre deze via de huid of slijmvlies door het lichaam wordt opgenomen. De verwachting is dat de blootstelling aan PFAS via deze producten gering is, omdat PFAS vaak niet opzettelijk is toegepast. Bij producten waar dit wel het geval is, zoals tandflos, is de gebruiksduur doorgaans kort. Om deze reden worden deze bronnen niet verder meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.3 Samenvatting van toepassingen van PFAS

In dit hoofdstuk is een overzicht gepresenteerd van toepassingen van PFAS en hun potentiële bijdrage aan de blootstelling van de algemene populatie. De analyse is gebaseerd op het universele PFAS-restrictievoorstel (uPFAS-restrictievoorstel). Per toepassing is beoordeeld in hoeverre deze relevant is voor de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Daarbij is specifiek gekeken naar het type PFAS, mogelijke blootstellingsroutes, kans op blootstelling en mate van prioriteit voor vervolgonderzoek. Een overzicht van alle toepassingen, samen met deze factoren en de prioriteit voor vervolgonderzoek, is opgenomen in Bijlage II.

3.3.1 Prioritering van toepassingen van PFAS

Op basis van de beschikbare informatie zijn de volgende toepassingen geprioriteerd voor de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling:

- **Textiel, stoffering, leer, kleding en tapijten (TULAC):**
Deze toepassingen gebruiken grote volumes PFAS, waarvan meer dan 75% polymeren zijn, zoals PTFE en PVDF. Hoewel PFAS-polymeren in veel toepassingen stevig gebonden zijn in het materiaal en doorgaans weinig bijdragen aan de blootstelling, geldt dat niet altijd bij textiel. Hier worden polymeren vaak aangebracht als dunne coatings met gefluoreerde zijketens die vuil- en waterafstotende eigenschappen bieden. Deze coatings

kunnen bij slijtage of tijdens gebruik deels vrijkomen, wat textiel tot een relevante bron van blootstelling maakt, via huidcontact, inslikken van stofdeeltjes of inademing van vluchtige verbindingen. Vooral bij jonge kinderen is deze blootstellingsroute van belang, omdat zij vaker in direct contact komen met textiel, bijvoorbeeld door sabbelen of bijten op kleding. Aanvullend worden in textielproducten soms ook niet-polymeer PFAS gebruikt als proceshulpmiddel tijdens de productie. Dit maakt de TULAC-sector zowel door de grote hoeveelheden PFAS-gebruik als door meerdere blootstellingsroutes, zeer relevant.

- Doe-het-zelf bouwmaterialen (zoals impregneersprays):
Hoewel bouwmaterialen meestal stevig gebonden PFAS-polymeren bevatten, vormen doe-het-zelfproducten zoals impregneersprays een belangrijke uitzondering. Impregneersprays bevatten vaak niet-polymeer PFAS, zoals FTOH en PFCA's, die tijdens gebruik gemakkelijk vrijkomen in de lucht. Hierdoor kan inhalatoire blootstelling optreden, vooral in slecht geventileerde ruimtes. Eerder gemelde acute intoxicaties bij gebruikers onderstrepen de relevantie om deze categorie verder te onderzoeken.
- Consumentenmengsels en specifieke smeermiddelen (bijvoorbeeld PTFE-sprays):
De algemene populatie kan in contact komen met PFAS via mengsels zoals schoonmaakmiddelen of specifieke smeermiddelen in spuitbussen. PTFE-sprays, die breed worden gebruikt in huishoudelijke toepassingen (bijv. voor fietskettingen en deurscharnieren), bevatten PFAS-polymeren zoals PTFE. Hoewel PTFE vaak stevig gebonden is, kunnen fijne deeltjes van PTFE-sprays vrijkomen tijdens gebruik, wat kan leiden tot inhalatoire blootstelling, vooral in slecht geventileerde ruimtes.
- Persoonlijke verzorgingsproducten:
Hoewel PFAS slechts in een klein percentage van persoonlijke verzorgingsproducten wordt aangetroffen (1-4%), met name in decoratieve cosmetica en huidverzorgingsproducten, kan regelmatige toepassing van deze producten leiden tot een verhoogde kans op chronische blootstelling. Dit geldt vooral bij merk-trouw en door meerdere blootstellingsroutes (huidcontact, inhalatie bij sprays en inslikken van lipproducten). Deze producten bevatten zowel PFAS-polymeren (zoals PTFE) als niet-polymeer PFAS (zoals fluoralcoholfosfaten of PFCA's).

Andere toepassingen, zoals in elektronica (bijvoorbeeld kabelisolatie), producten in de transportsector (zoals onderdelen met PFAS-coatings), of medische hulpmiddelen, zijn minder relevant voor de blootstelling van de algemene populatie. Dit komt doordat deze producten vaak stevig gebonden PFAS bevatten en daardoor nauwelijks vrijkomen, of omdat er geen direct contact is met de algemene populatie. Dit geldt ook voor smeermiddelen en andere industriële toepassingen. Voor sommige toepassingen, zoals speelgoed, is er bovendien onvoldoende informatie beschikbaar om hun bijdrage goed te beoordelen. Al deze toepassingen worden daarom niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

3.3.2 *Kennishiaten en onzekerheden*

Hoewel dit hoofdstuk inzicht biedt in een breed scala aan toepassingen, zijn er aanzienlijke kennishiaten die de robuustheid van de conclusies beperken:

- Gebrek aan gegevens over minder vaak onderzochte toepassingen:
Traditioneel onderzoek richt zich op bekende toepassingen, zoals textiel en voedselcontactmaterialen, terwijl andere mogelijke toepassingen (bijv. speelgoed en toiletpapier) vaak onderbelicht blijven (Dewapriya et al., 2023; Kotthoff et al., 2015). Dit kan het risico op onderschatting van relevante toepassingen vergroten.
- Onbekende of opkomende PFAS:
Veel onderzoek richt zich op bekende PFAS, zoals PFOA en PFOS, waarbij opkomende verbindingen en hun mogelijke toxiciteit vaak buiten beschouwing blijven (Glüge et al., 2020). Dit leidt mogelijk tot onderschatting van de blootstelling aan minder onderzochte verbindingen.
- Onbedoelde contaminatie in producten:
PFAS kunnen via de productie- en toeleveringsketen als onbedoelde verontreiniging in producten terechtkomen. Dit wordt vaak niet geïdentificeerd in marktstudies, waardoor de blootstellingsanalyse onvolledig blijft.
- Beperkte Nederlandse representativiteit:
Het uPFAS-restrictievoorstel richt zich hoofdzakelijk op de EU, maar specifieke gegevens voor Nederland ontbreken. Importproducten en nationale marktgegevens zijn niet altijd vertegenwoordigd in de analyses, wat onzekerheden geeft over toepassing en blootstelling.

Door de genoemde lacunes is het moeilijk om een volledig overzicht te geven voor PFAS in consumentenproducten op de Nederlandse markt.

3.3.3 *Conclusie*

Samenvattend biedt dit hoofdstuk een eerste prioriteitenlijst van PFAS-toepassingen die relevant zijn voor de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Textiel, impregneer- of smeermiddelsprays, en persoonlijke verzorgingsproducten worden geprioriteerd als de meest relevante bronnen voor verdere analyse. Tegelijkertijd beperken kennishiaten en onzekerheden, zoals representativiteit en een focus op bekende PFAS, het complete blootstellingsbeeld.

4 Blootstelling aan PFAS in recreatie- en woonomgeving

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de algemene populatie wordt blootgesteld aan PFAS in recreatie- en woonomgeving, zoals lucht, zeewater en huisstof. Terwijl het vorige hoofdstuk zich richtte op de toepassingen van PFAS in producten, gaat dit hoofdstuk over de aanwezigheid van PFAS in onze leefomgeving en hoe mensen eraan worden blootgesteld.

Voor de analyse gebruiken we gegevens uit onderzoeken van het RIVM en het uPFAS-restrictievoorstel (ECHA, 2023). RIVM heeft hotspots voor PFAS-verontreiniging onderzocht, zoals zwemlocaties bij chemische fabrieken (bijvoorbeeld in Dordrecht), zeewater en zeeschuim. Het uPFAS-restrictievoorstel biedt aanvullende gegevens en analyses over de aanwezigheid van PFAS in lucht, binnenmilieu en huisstof. Specifiek is informatie gebruikt uit:

- sectie B.9.21.3 voor blootstelling via buitenlucht.
- sectie B.9.21.4 voor blootstelling via binnenmilieu.
- sectie B.9.6.3 voor huisstof.

Het beperkte aantal metingen van PFAS-concentraties en de variatie tussen locaties bemoeilijken het krijgen van een algemeen beeld van de blootstelling. Daarbij richten metingen zich vooral op niet-polymeer PFAS, zoals PFCA's en PFSA's, vanwege hun mobiliteit en resistentie tegen afbraak.

Dit hoofdstuk behandelt geen bronnen van emissies naar het milieu, maar richt zich op hoe de algemene populatie in recreatie- en woonomgeving wordt blootgesteld.

4.2 PFAS-blootstelling tijdens recreatieve activiteiten buiten

4.2.1 *Buitenlucht*

Buitenlucht wordt niet beschouwd als een belangrijke blootstellingsroute aan PFAS (Egeghy en Lorber, 2011 zoals geciteerd in uPFAS-restrictievoorstel). Gerapporteerde PFAS-concentraties in buitenlucht variëren van niet-detecteerbare tot honderden pg/m³ (De Silva et al., 2021). Verder brengen mensen meer tijd binnenshuis door waar PFAS-concentraties vaak 1 tot 2 ordes van grootte hoger zijn dan in de buitenlucht (De Silva et al., 2021) (sectie 4.3.2).

Hotspots zoals chemische fabrieken vormen een mogelijke uitzondering op deze algemene observatie (Zeilmaker et al., 2016). Ook in kustgebieden kan de buitenlucht een potentiële route zijn. PFAS in zeeschuim en sea spray kunnen door de wind naar de lucht worden verspreid (zie sectie 4.2.3). Voor bewoners in de buurt van deze hotspots kan buitenlucht dus wel een belangrijke bron van blootstelling zijn.

Concluderend wordt buitenlucht niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling, omdat het voor de algemene populatie een verwaarloosbare bron is. De worst-case

blootstelling kan beter worden geschat via binnenlucht, die doorgaans hogere PFAS-concentraties bevat en waarschijnlijk representatiever is voor dagelijkse blootstelling (sectie 4.3.2).

4.2.2 *Oppervlaktewater*

Deze paragraaf behandelt uitsluitend direct contact van mensen met PFAS in oppervlaktewater. Blootstelling aan PFAS door drinkwaterwinning uit oppervlaktewater valt buiten de scope van dit rapport (zie sectie 1.4).

Oppervlaktewater, zoals rivieren en meren, kan een belangrijke bron van PFAS-blootstelling zijn voor mensen die recreëren in of nabij deze wateren. Blootstelling vindt voornamelijk plaats via het inslikken van water tijdens activiteiten zoals zwemmen. Lokale verontreiniging door PFAS kan leiden tot hogere concentraties in specifieke wateren, waardoor de blootstelling lokaal kan toenemen.

Het RIVM heeft onderzoek gedaan naar de veiligheid van het zwemwater waarin PFAS zijn aangetroffen in de regio Dordrecht en Helmond en in de Westerschelde (RIVM, 2023, Geraets, 2022, Geraets, 2021). De resultaten laten zien dat zwemmen in recreatieplas Merwelanden bij Dordrecht kan bijdragen aan de totale PFAS-blootstelling voor kinderen als zij hier regelmatig in zouden zwemmen en voor volwassenen als zij hier dagelijks in zouden zwemmen (RIVM, 2023; Woutersen, 2023). Voor 12 andere zwemlocaties in de omgeving van Chemours in Dordrecht, recreatieplas Berkendonk in Helmond en de Westerschelde bij Schaar van Ouden Doel concludeerde het RIVM dat zwemmen veilig is (RIVM, 2023, RIVM, 2022, Geraets, 2021). Voor het zwemmen bij locatie Waarde in de Westerschelde was een nadere risicoanalyse nodig om tot een conclusie te komen (RIVM, 2022).

Overheden zoals provincies, gemeenten of waterschappen kunnen de concentratie PFAS in zwemwater meten en vergelijken met een advieswaarde (Geraets en Bokkers, 2024). Ligger de concentraties boven deze waarde, dan kan een negatief zwemadvies worden afgegeven. Frequent zwemmen in water waarin PFAS-concentraties hoger zijn dan de advieswaarde kan bijdragen aan de totale blootstelling, vooral voor kinderen en frequente zwemmers.

Voor de algemene populatie is recreatief zwemmen in verontreinigd oppervlaktewater een minder frequente activiteit, waardoor de bijdrage aan de totale blootstelling beperkt zal zijn. Specifieke subgroepen, zoals kinderen en frequente zwemmers, kunnen lokaal wel een hoger risico lopen indien sprake is van verhoogde concentraties. Omdat overheden (zoals provincies, gemeenten en waterschappen) de concentratie van PFAS in zwemwater monitoren, en indien nodig, een negatief zwemadvies kunnen uitgeven wanneer de advieswaarden worden overschreden, wordt deze bron niet verder meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

4.2.3 *Zeewater, zeeschuim en sea spray*

Recreanten aan de kust, zoals zwemmers en surfers, kunnen worden blootgesteld aan PFAS via direct contact met zeewater, zeeschuim en

sea spray. Dit kan plaatsvinden door huidcontact, het inslikken van zeewater of schuim, of door het inademen van sea spray.

Sea spray ontstaat wanneer kleine druppeltjes zeewater door de wind worden meegevoerd en op het land terechtkomen. PFAS, vanwege hun oppervlakte-actieve (zeepachtige) eigenschappen, hopen zich op aan grensvlakken zoals die van water en lucht. Hierdoor concentreren PFAS zich in zowel zeeschuim als sea spray. Wind verspreidt deze, wat lokaal kan leiden tot verhoogde PFAS-concentraties.

De blootstelling van kustbewoners via de buitenlucht kan een potentiële route zijn, met name door inhalatie van sea spray (zie sectie 4.2.1). Specifieke blootstelling aan PFAS via direct contact met zeewater, zeeschuim en sea spray speelt vooral bij actief recreëren een rol en niet zozeer bij mensen die slechts wonen aan de kust.

Onderzoek in Denemarken (Madsen et al., 2025) toonde aan dat surfers meetbare PFAS-concentraties in hun bloedserum hebben. Echter, er werd geen verband gevonden tussen de hoogte van de PFAS-concentraties in het bloed en de mate van blootstelling via zeewater en zeeschuim. Dit gold zowel voor het aantal jaarlijkse surfuren (meer of minder dan 113 uur per jaar) als voor de nabijheid van de woning tot de kust. Deze bevinding suggereert dat blootstelling via zeewater en zeeschuim geen duidelijke invloed heeft op de PFAS-concentraties in het bloed.

De Provincies Zeeland en Noord- en Zuid-Holland hebben PFAS-concentraties in zeewater en zeeschuim laten meten op een aantal Nederlandse kustlocaties (WUR, 2023). De concentraties PFAS in zeewater lagen vaak onder de detectielimiet ($<0,0004 \mu\text{g/kg}$ tot $<0,004 \mu\text{g/kg}$), met enkele meetbare concentraties (variërend van $0,01$ - $0,03 \mu\text{g/kg}$) (Bokkers et al., 2023). In zeeschuim waren de PFAS-concentraties hoger, tussen enkele $\mu\text{g/kg}$ (bijvoorbeeld $2,2 \mu\text{g/kg}$ voor PFNA) tot tientallen $\mu\text{g/kg}$ (zoals $68 \mu\text{g/kg}$ voor PFOA of $79 \mu\text{g/kg}$ voor PFOS). De lage concentraties in zeewater ten opzichte van zeeschuim werden ook in Vlaanderen en Denemarken aangetroffen (VITO, 2023; Madsen et al., 2025). Verder toonde de Vlaamse data van Knokke aan dat PFAS-concentraties in zeeschuim sterk kunnen variëren afhankelijk van het seizoen en het tijdstip aangezien van deze locatie meerdere meetmomenten beschikbaar zijn (VITO, 2023). De oorzaak van deze variatie is niet bekend. Hiermee rekening houdend, is het door beperkte metingen (1-2 per locatie) niet mogelijk te bepalen of de resultaten voor Nederland representatief zijn.

Concluderend is blootstelling aan PFAS via zeewater, zeeschuim en sea spray voornamelijk relevant voor specifieke groepen, zoals surfers en zwemmers. Voor de algemene populatie is deze route waarschijnlijk minder belangrijk door beperkte interactie met deze media. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens over hoe lang mensen gemiddeld recreëren aan de kust en hoeveel zeewater of schuim zij binnenkrijgen tijdens activiteiten, beperkte meetresultaten en het ontbreken van een aantoonbaar verband tussen activiteiten en PFAS-bloedwaarden, wordt deze bron niet meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Nieuw onderzoek naar

PFAS in sea spray langs de Nederlandse kust kan in de toekomst meer inzicht opleveren in het belang van deze blootstellingsroutes.

4.2.4 *Bodem*

Deze paragraaf richt zich uitsluitend op het directe contact van mensen met PFAS in bodem. Blootstelling aan PFAS via de bodem door consumptie van voedsel en drinkwater valt buiten de scope van dit rapport (zie sectie 1.4).

Mensen kunnen op diverse manieren in contact komen met PFAS in de bodem, vooral tijdens recreatieve activiteiten. Naast het incidenteel inslikken van gronddeeltjes (grondingestie), kunnen mensen worden blootgesteld door het inademen van stofdeeltjes die PFAS bevatten. Deze deeltjes kunnen door wind of menselijke activiteiten, zoals landbouw en bouw, in de lucht terechtkomen. Mensen kunnen ook in contact met PFAS uit de bodem komen tijdens activiteiten zoals tuinieren, kamperen of spelen in de buitenlucht, wat kan leiden tot huidcontact of het inslikken van bodemdeeltjes, vooral bij kinderen. Bovendien kunnen stofdeeltjes die PFAS bevatten van buiten naar binnen worden gebracht via schoenen of kleding, waardoor ze bijdragen aan de PFAS-concentraties in huisstof. Dit kan een extra blootstellingsroute vormen, vooral voor kleine kinderen die vaak in contact komen met huisstof (zie sectie 4.3.1).

Het RIVM heeft onderzocht wat de PFAS-concentraties zijn in de bodem van landbouw-, natuur- en bebouwde gebieden op onverdachte plekken verspreid over Nederland (Wintersen et al., 2020). Met onverdachte plekken worden gebieden bedoeld waar geen verhoogde PFAS-concentraties worden verwacht vanwege de afwezigheid van nabijgelegen puntbronnen. De belasting van de bodem met PFAS blijkt in bebouwde gebieden (industrieel en stedelijk) enigszins hoger te zijn dan in landbouw- en natuurgebieden. In bebouwde gebieden zijn de mediane concentraties van PFOS en PFOA in de toplaag (0-20 cm onder het maaiveld) gelijk aan respectievelijk 0,53 en 0,47 µg/kg droge stof. Andere PFAS zijn slechts sporadisch aangetroffen. Over het algemeen zijn de PFAS-concentraties in bodem het hoogst in West-Nederland, hoewel op sommige plaatsen elders in Nederland ook verhoogde concentraties kunnen voorkomen.

Voor de algemene populatie is blootstelling aan PFAS door contact met de bodem beperkt, omdat dergelijk contact meestal slechts incidenteel plaatsvindt. Verder liggen de concentraties van PFAS die doorgaans in bodem worden aangetroffen, lager dan de niveaus waarvan bekend is dat ze een risico vormen voor de gezondheid (de zogenaamde risicogrenzen) (Wintersen & Otte, 2020).

Concluderend vormt contact met PFAS in de bodem voor de algemene populatie een beperkte blootstellingsroute. Dit komt doordat contact incidenteel is en de gemeten bodemconcentraties onder de risicogrenzen liggen, waarbij ook gevoelige groepen zoals kinderen zijn meegewogen. Daarom wordt deze bron niet verder meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

4.3 PFAS-blootstelling in de woonomgeving

4.3.1 Huisstof

Huisstof is een bekende bron van PFAS-blootstelling in Europese huishoudens en kantoren. PFAS in huisstof kunnen afkomstig zijn van verdamping, slijtage of migratie uit geïmpregneerde producten zoals vloeren, meubels en tapijten (Beesoon et al., 2012; Knobeloch et al., 2012; Kubwabo et al., 2005; Zhou et al., 2022, zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel). PFAS-concentraties in huisstof vertonen aanzienlijke variaties tussen huishoudens en geografische locaties. De in huisstof gemeten concentraties van stoffen, zoals PFOS, PFHxS en PFOA, hebben een brede range, variërend van <LOD tot respectievelijk 7.400 ng/g, 34.000 ng/g en 2.570 ng/g in uitzonderlijke gevallen (Table B.112 in het uPFAS-restrictievoorstel). Naast perfluorsulfonzuren en -carbonsuren dragen ook fluorooctanesulfonylethanol en dialkyl polyfluoroalkyl fosfaten bij aan de totale PFAS-belasting in huisstof, met waargenomen waardes tot respectievelijk 13.000 ng/g en 1.830 ng/g in specifieke regio's. De concentraties worden beïnvloed door factoren zoals het type interieur, schoonmaakgedrag en het gebruik van producten die PFAS bevatten.

Huisstof levert een relatief kleine bijdrage aan de totale PFAS-blootstelling bij volwassenen. Uit een systematische review van DeLuca et al. (2022) blijkt dat PFHxS, PFOA, PFNA en PFOS in huisstof verantwoordelijk zijn voor ongeveer 2,5-10% van de PFAS-concentraties in serum bij volwassenen. Voor kleine kinderen is de bijdrage van huisstof aan de totale PFAS-blootstelling groter. Dit komt doordat zij meer huisstof binnenkrijgen vanwege hun gedrag en hogere inname van huisstof via hand-mondcontact (Haug et al., 2011a; Kim et al., 2019a; Poonthong et al., 2020; Wu et al., 2015 Zheng et al. 2020 zoals geciteerd in uPFAS-restrictievoorstel). DeLuca et al. (2022) berekende dat 3-41% van de PFAS-concentraties in serum van kinderen kan worden toegeschreven aan blootstelling via huisstof. Vooral PFHxS werd in aanzienlijk hogere concentraties aangetroffen in serum bij kinderen en ook in serum van volwassenen die in huishoudens met kinderen wonen. Dit wijst volgens de auteurs op extra blootstelling via kind-specifieke producten, zoals speelgoed of meubels die PFAS bevatten. In België onderzocht een studie de PFAS-concentraties in serum van 303 jongeren en in huisstof uit hun huishoudens, nabij de 3M-fabriek (Consortium UAntwerpen et al., 2023). Hieruit bleek dat PFAS in huisstof weinig bijdroeg aan de PFAS-concentraties in serum bij jongeren.

Concluderend draagt huisstof bij aan de totale blootstelling aan PFAS bij zowel volwassenen als kinderen, maar de bijdrage is voor kinderen aanzienlijker. Daarom wordt huisstof meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling.

4.3.2 Binnenlucht

Binnenlucht is een bekende bron van PFAS-blootstelling, vooral door de aanwezigheid van vluchtige verbindingen zoals FTOH en andere niet-polymeere PFAS (Yao et al., 2018, zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel). In woningen zijn concentraties van 6:2FTOH, 8:2FTOH en 10:2FTOH gemeten variërend van respectievelijk 2 - 101.000 pg/m³, 7,5 - 446.000 pg/m³ en <0,6 - 255.000 pg/m³ (Table

B.111 in het uPFAS-restrictievoorstel). Overige PFAS variëren van niet-detecteerbaar tot enkele honderden pg/m³. Deze stoffen komen in de lucht door verdamping vanuit geïmpregneerde producten zoals kleding, meubels, tapijten en gordijnen. FTOH hebben een hoge dampspanning en lage wateroplosbaarheid, wat hun verspreiding via lucht bevordert (Jian et al., 2017; Winkens et al., 2018, zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel). Binnenlucht draagt daarom bij aan de totale blootstelling aan PFAS, hoewel de mate van blootstelling sterk afhankelijk is van omgevingsfactoren.

Bij de algemene populatie en kinderen wordt geschat dat blootstelling via binnenlucht slechts een kleine bijdrage levert aan het totale PFAS-gehalte in serum. Volgens een review van DeLuca et al. (2022, zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel) wordt binnenlucht verantwoordelijk geacht voor 2-4% van de PFAS-serumconcentraties. Echter, in specifieke binnenomgevingen zoals winkels voor outdoor-kleding en -uitrusting, waar hoge concentraties van FTOH gemeten zijn (Langer et al., 2010; Schlummer et al., 2013 zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel), kan de blootstelling aanzienlijk toenemen. Dit geldt met name voor winkelpersoneel dat langdurig in dergelijke ruimtes verblijft. Deze situatie wordt als beroepsmatige blootstelling beschouwd en valt daarom buiten de scope van dit rapport (zie sectie 1.4).

Omdat FTOH's kunnen worden opgenomen via inademing en vervolgens worden omgezet in bioaccumulerende PFAA's (EFSA, 2020; Nilsson et al., 2013a, zoals geciteerd in het uPFAS-restrictievoorstel), kan langdurige blootstelling via binnenlucht leiden tot verhoogde gezondheidsrisico's. Dit geldt vooral voor bepaalde omgevingen met veel geïmpregneerde textielproducten en slechte ventilatie.

Concluderend levert binnenlucht in de meeste gevallen een kleine bijdrage aan de totale PFAS-blootstelling, maar specifieke binnenomgevingen met veel geïmpregneerd textiel kunnen een verhoogd risico vormen. Binnenlucht wordt meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling omdat mensen continu worden blootgesteld aan zowel binnen- als buitenlucht. Bovendien bevat binnenlucht doorgaans hogere PFAS-concentraties dan buitenlucht en vormt daarmee een representatief worst-case scenario voor blootstelling via lucht.

4.4 Kennishiaten en onzekerheden

Net als bij de toepassingen van PFAS, zijn er kennishiaten en onzekerheden in de beoordeling van blootstelling aan PFAS via de recreatie- en woonomgeving:

- Blootstellingsscenario's:
Er ontbreekt gedetailleerde informatie over hoe en in welke mate mensen worden blootgesteld aan PFAS via specifieke bronnen, zoals zeewater en zeeschuim. Gebrek aan gebruikersonderzoeken maakt het moeilijk om blootstellingsscenario's uit te werken.
- Beschikbaarheid van meetgegevens en representativiteit:
De beschikbare meetgegevens zijn beperkt en laten voor sommige media aanzienlijke geografische en contextuele

variaties zien. Dit geldt vooral voor regio's zoals industriële gebieden of kustgebieden waar PFAS-concentraties mogelijk hoger zijn. Ook voor woningen, waar de concentraties van PFAS in huisstof en binnenlucht sterk kunnen variëren afhankelijk van factoren zoals type inrichting, ventilatie en de aanwezigheid van PFAS-bevattende producten, is de representativiteit van de gegevens beperkt. Het is daardoor moeilijk om representatieve blootstellingsconcentraties voor Nederland vast te stellen.

Door deze kennishiaten en onzekerheden is het moeilijk om de belangrijkste blootstellingsbronnen voor de algemene populatie te prioriteren. Desondanks is er op basis van de huidige inzichten, een prioritering gemaakt.

4.5 Conclusie

Huisstof en binnenlucht zijn geïdentificeerd als de meest relevante bronnen voor blootstelling aan PFAS in de recreatie- en woonomgeving. Deze zullen worden meegenomen in de volgende fase van de geïntegreerde blootstellingsbeoordeling. Buitenlucht, zeeschuim, oppervlaktewater en bodem lijken een kleinere bijdrage te hebben en worden niet verder geanalyseerd.

Tegelijkertijd bestaan er aanzienlijke kennishiaten en onzekerheden. Dit betreft onder andere het beperkte aantal meetresultaten, variaties in meetresultaten, beperkte geografische representativiteit en beperkte gegevens over blootstellingsscenario's. Hierdoor wordt het beoordelen en vergelijken van de blootstelling aan PFAS uit verschillende bronnen binnen de recreatie- en woonomgeving bemoeilijkt.

5 Discussie, conclusie en vervolgstappen

5.1 Discussie

Dit rapport biedt een overzicht en kwalitatieve beoordeling van verschillende bronnen van PFAS-blootstelling voor de algemene populatie in Nederland. Blootstelling via voedsel, drinkwater, voedselcontactmaterialen en beroepsmatige blootstelling vallen buiten de scope. De aandacht ligt op consumentenproducten—zowel gebruiksartikelen zoals kleding en elektronica als vloeistoffen zoals verf en schoonmaakmiddelen—en op bronnen uit de recreatie- en woonomgeving. Er zijn geen kwantitatieve analyses of modelleringen uitgevoerd. De beoordeling is gebaseerd op het type PFAS, de concentraties in bronnen, de blootstellingsroutes en de mate en frequentie van blootstelling. Hieruit zijn als meest relevante bronnen geïdentificeerd: textiel, impregneer- of smeermiddelsprays, persoonlijke verzorgingsproducten, huisstof en binnenlucht.

Aan deze prioritering zijn aanzienlijke kennishiaten en onzekerheden verbonden:

- Complexiteit van PFAS als stofgroep: PFAS zijn een diverse groep stoffen met uiteenlopende chemische eigenschappen, toepassingen en toxicologische profielen. Deze variaties maken het lastig om blootstelling via verschillende bronnen te vergelijken en te prioriteren.
- Onzekerheden door heterogene datasets: Beschikbare gegevens over PFAS-concentraties in producten, lucht, huisstof en andere media verschillen sterk in kwaliteit, nauwkeurigheid en volledigheid. Dit beperkt de mogelijkheid om datasets te vergelijken en leidt tot onzekerheid over de relatieve bijdrage van verschillende bronnen.
- Onderbelichte toepassingen en opkomende PFAS: Veel aandacht is gericht op bekende toepassingen zoals textiel en tapijten en op veelgebruikte en bekende PFAS (zoals PFOA en PFOS). Andere bronnen, zoals speelgoed en toiletpapier, en minder bekende PFAS blijven onderbelicht. Dit kan leiden tot een onderschatting van de totale blootstelling aan PFAS. Aangezien PFAS in een breed scala aan producten worden toegepast, is het uitdagend om een compleet beeld te krijgen van alle producten waarin deze stoffen aanwezig zijn.
- Gebrek aan nationale representativiteit: De huidige analyses maken voornamelijk gebruik van EU-brede of internationale gegevens die niet specifiek zijn voor Nederlandse situatie. Dit betekent dat producten of praktijken die mogelijk specifiek zijn voor de Nederlandse markt, niet (volledig) zijn meegenomen.
- Marktverschuivingen: Lopende initiatieven om PFAS uit te faseren leiden tot verschuivingen in het gebruik en mogelijk in blootstellingsniveaus. PFAS blijven vanwege hun hardnekkige eigenschappen echter voorlopig aanwezig, zowel in bestaande productvoorraden als in gerecyclede producten. Deze dynamiek maakt het huidige en toekomstige blootstellingsbeeld onzeker.

- Onvoldoende blootstellingsscenario's: Voor sommige bronnen, zoals zeewater, zeeschuim of specifieke toepassingen, ontbreken gegevens over gebruikersgedrag, zoals blootstellingsduur, -frequentie en hoeveelheden. Dit maakt het lastig om realistische blootstellingsscenario's op te stellen en om de blootstelling via deze bronnen te beoordelen.

Deze kennishiaten en onzekerheden maken het moeilijk om een volledig overzicht te geven van alle consumentenproducten met PFAS op de Nederlandse markt en om de blootstelling aan PFAS uit verschillende bronnen te vergelijken. Het aanpakken van deze kennishiaten, zoals het verzamelen van meer nationale data, het onderzoeken van onderbelichte toepassingen en het nauwkeuriger in kaart brengen van blootstellingsscenario's, zal bijdragen aan een vollediger begrip van PFAS-blootstelling. Door de dynamiek in de markt en het PFAS-gebruik zijn de resultaten een momentopname en kan, bij het beschikbaar komen van nieuwe gegevens, een herziening van deze rapportage nodig zijn.

5.2 Conclusie

Voedsel, drinkwater en voedselcontactmaterialen zijn als bronnen van PFAS-blootstelling reeds onderzocht (Schepens et al., 2023). Dit rapport richt zich daarom op aanvullende bronnen, met de focus op consumentenproducten die door de algemene populatie worden gebruikt. Op basis van een kwalitatieve beoordeling zijn de volgende bronnen geselecteerd voor vervolgonderzoek:

1. Textiel en kleding:
PFAS worden veel gebruikt in water- en vuilafstotende kleding en andere textielproducten, zoals regen- en skikleding, meubels, tapijten en stoffering. Textiel bevat voornamelijk PFAS-polymeren die als coatings zijn aangebracht; deze kunnen bij slijtage of gebruik deels vrijkomen. Textiel is geselecteerd vanwege het frequente en langdurige gebruik, de grote hoeveelheden PFAS die binnen deze sector worden gebruikt en de verschillende blootstellingsroutes (zoals huidcontact en inslikken van stofdeeltjes). Vooral bij jonge kinderen is deze blootstellingsroute van belang, omdat zij bijvoorbeeld op kleding kunnen sabbelen of bijten.
2. Impregneer- en smeermiddelensprays:
Mensen kunnen PFAS inademen bij het gebruik van bepaalde sprays, zoals impregneermiddelen of smeermiddelen in spuitbussen. Deze sprays bevatten vaak niet-polymeer PFAS, die tijdens gebruik gemakkelijk vrijkomen en worden ingeademd, vooral bij gebruik zonder bescherming in afgesloten ruimten. Deze categorie is geselecteerd vanwege de relatief hoge concentraties PFAS in sprays en het risico op inhalatoire blootstelling.
3. Persoonlijke verzorgingsproducten:
Een klein deel van de persoonlijke verzorgingsproducten, met name make-up en huidcrèmes, bevat PFAS. In deze producten zijn zowel PFAS-polymeren als niet-polymeer PFAS aanwezig. Persoonlijke verzorgingsproducten zijn geselecteerd vanwege het potentieel voor chronische blootstelling bij frequent en langdurig

gebruik, en de mogelijkheid van opname via meerdere blootstellingsroutes (zoals huidcontact, inhalatie en inslikken).

4. Huisstof en binnenlucht:
Huisstof is vooral relevant voor kinderen, die door hun gedrag en hand-mondcontact een grotere inname van huisstof hebben. Binnenlucht is met name in ruimtes met veel geïmpregneerde producten, zoals meubels en textiel, van belang.
5. Overige bronnen met lage relevantie:
Andere bronnen, zoals elektronica en industriële toepassingen, zijn minder tot niet relevant voor de algemene populatie. Dit komt doordat deze producten vaak geen direct contact met de algemene populatie hebben of PFAS-polymeren bevatten die stevig gebonden zijn in het materiaal. Evenzo worden buitenlucht, zeewater, oppervlaktewater en bodem als minder relevant geprioriteerd vanwege lage PFAS-concentraties of beperkt direct contact van mensen met deze media.

Deze prioritering vormt het uitgangspunt voor vervolgonderzoek, met het doel de blootstelling via deze bronnen te vergelijken met die via voedsel en drinkwater. Daarnaast biedt het aanknopingspunten voor gerichte maatregelen om de blootstelling van de algemene populatie aan PFAS te minimaliseren.

5.3 Vervolgstappen

Voor een volledig en geïntegreerd beeld van PFAS-blootstelling zijn verdere stappen vereist. De belangrijkste beperking tot nu toe is het ontbreken van kwantitatieve blootstellingsschattingen, waardoor de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen (zoals huisstof versus impregneersprays) niet kan worden vergeleken.

Het vervolgonderzoek zal bestaan uit:

- Gericht literatuuronderzoek:
Het verzamelen van aanvullende gegevens over concentraties, blootstellingsduur, frequentie en hoeveelheden bij de geselecteerde bronnen (textiel, impregneer- en smeermiddelsprays, persoonlijke verzorgingsproducten, huisstof, binnenlucht).
- Kwantitatieve blootstellingsschattingen:
Op basis van deze gegevens worden schattingen gemaakt van de blootstelling via de geselecteerde bronnen, voor zover beschikbare gegevens en modellen daarvoor toereikend zijn.
- Integratie:
De blootstellingsschattingen per bron worden geïntegreerd om een vollediger beeld te krijgen van de totale blootstelling aan PFAS. Dit omvat ook een inschatting van de relatieve bijdrage per bron voor verschillende leeftijdsgroepen.

In het PFAS-onderzoeksprogramma wordt ook gekeken naar hoeveel PFAS er in het bloed van mensen zit (Bil et al., 2025). Dat geeft een beeld van hoeveel PFAS er uiteindelijk in het lichaam terechtkomt. De bedoeling is om deze gegevens te vergelijken met de geschatte blootstelling via verschillende bronnen. Om die vergelijking te kunnen maken, moet worden omgerekend welk deel van de geschatte

blootstelling uiteindelijk in het bloed terechtkomt. Dit gebeurt met behulp van fysiologisch gebaseerde kinetische (PBK-)modellen. Omdat hiervoor allerlei aannames en onzekerheden meespelen, zal zo'n vergelijking een indicatie geven van de relatie tussen de hoeveelheid PFAS die mensen via verschillende bronnen binnenkrijgen, en de hoeveelheid die uiteindelijk in het bloed terug te vinden is.

6 Referenties

Ao J, Tang W, Liu X, Ao Y, Zhang Q, Zhang J. Polyfluoroalkyl phosphate esters (PAPs) as PFAS substitutes and precursors: an overview. *J Hazard Mater.* 2024;464:133018.

Bil W, McKeon HP, Chen G, Sam MLSP, Grift ID, van der Klis FRM, Vos ERA, Schipper M, de Wit-Bos L, Mengelers M, Bokkers BGH, Nederlof R. PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking. RIVM Briefrapport 2025-0094. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2025. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/publicaties/pfas-in-bloed-van-nederlandse-bevolking>

Bil W, Zeilmaker M, Fragki S, Lijzen J, Verbruggen E, Bokkers B. Risk assessment of per- and polyfluoroalkyl substance mixtures: a relative potency factor approach. *Environ Toxicol Chem.* 2021;40(3):859–870.

Bokkers B, Pronk M, Herremans J. PFAS in zeeschuim in Nederland. KU-2023-0018. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2023. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/publicaties/pfas-in-zeeschuim-in-nederland>

Boronow KE, Brody JG, Schaidler LA, Peaslee GF, Havas L, Cohn BA. Serum concentrations of PFASs and exposure-related behaviors in African American and non-Hispanic white women. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2019 Mar;29(2):206–217.

Consortium Uantwerpen, VITO, PIH, U Hasselt, VUB. Jongerenstudie HBM – omgeving 3M – Resultatenrapport. In opdracht van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving. 2023. Beschikbaar via: <https://www.hbm-pfas.be/>

De Silva AO, Armitage JM, Bruton TA, Dassuncao C, Heiger-Bernays W, Hu XC, et al. PFAS Exposure Pathways for Humans and Wildlife: A Synthesis of Current Knowledge and Key Gaps in Understanding. *Environ Toxicol Chem.* 2021;40(3):631–657.

DeLuca NM, Minucci JM, Mullikin A, Slover R, Cohen Hubal EA. Human exposure pathways to poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from indoor media: A systematic review. *Environ Int.* 2022;162:107149.

ECHA. Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on (3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctyl)silanetriol and any of its mono-, di- or tri-O-(alkyl) derivatives. ECHA/RAC/RES-O-0000001412-86-142/F/ECHA/SEAC/ RES-O-0000001412-86-150/F. European Chemicals Agency; 2017. Beschikbaar via: <https://echa.europa.eu/documents/10162/429fb5c5-ed20-2631-999a-04d32b0fba5a>

ECHA. Annex XV Restriction report – Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Version 2. Helsinki: European Chemicals Agency; 2023.

Beschikbaar via: <https://echa.europa.eu/nl/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/72301/term>

Geraets L. Risicoschatting PFAS in recreatieplas Berkendonk in Helmond. RIVM-Briefrapport 2021-0073. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2021.

Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0073.pdf>

Geraets L. PFAS en zwemmen in de Westerschelde – locaties Schaar van Ouden Doel en RWZI-Bath effluent-lozingspunt bij Waarde. RIVM-VSP advies 15156A00. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2022. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/documenten/pfas-en-zwemmen-in-westerschelde>

Geraets L, Bokkers BGH. Advieswaarden PFAS in zwemwater. RIVM report 2024-0006. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2024. Beschikbaar via: <http://dx.doi.org/10.21945/RIVM-2024-0006>

Glüge J, Scheringer M, Cousins IT, DeWitt JC, Goldenman G, Herzke D, Lohmann R, et al. An Overview of the Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). Environ Sci Process Impacts. 2020;22(12):2345–2373.

Jian J-M, Guo Y, Zeng L, Liang-Ying L, Lu X, Wang F, Zeng EY. Global distribution of perfluorochemicals (PFCs) in potential human exposure source – A review. Environ Int. 2017;108:51–62.

KEMI. PFASs in Cosmetics. PM 9/21. The Swedish Chemicals Agency. 2021. Beschikbaar via: <https://www.kemi.se/download/18.59a654e17be6ec4276756/1638973419683/PM-9-21-PFASs%20in%20cosmetics.pdf>.

Komen CMD, Wezenbeek JM. Inventarisatie Zeer Zorgwekkende Stoffen in bestrijdingsmiddelen. RIVM rapport 2022-0027. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2022. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0027.pdf>

Kotthoff M, Müller J, Jürling H, Schlummer M, Fiedler D. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. Environ Sci Pollut Res Int. 2015;22(19):14546–59.

Madsen MH, Møller JJ, Ebbenhøj NE, Nielsen F, Severinsen MT, Jensen JF et al. PFAS concentrations in the blood of Danish surfers. Int J Hyg Environ Health. 2025;264:114522.

Muensterman, DJ, Cahuas L, Titaley IA, Schmokel C, De C, Florentino B, Barlaz MA, Carignan CC, Peaslee GF, Field JA. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in facemasks: Potential source of human exposure to PFAS with implications for disposal to landfills. Environ Sci Technol Lett. 2022;9:320–326.

Poothong S, Papadopoulou E, Padilla-Sánchez JA, Thomsen C, Haug LS. Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood. *Environ Int.* 2020;134:105244.

RIVM. Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS RIVM – Finaal 7 april 2021. RIVM, Bilthoven, Utrecht. 2021. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas>

RIVM. PFAS en zwemmen in de Westerschelde. RIVM-VSP advies 15156A00. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2022. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/documenten/pfas-en-zwemmen-in-westerschelde>

RIVM. Duiding van PFAS in zwemwater rondom Chemours, Dordrecht. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2023. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/documenten/duiding-van-pfas-in-zwemwater-rondom-chemours-dordrecht>

Schepens MAA, te Biesebeek JD, Hartmann J, van der Aa NGFM, Zijlstra R, Boon PE. Risk assessment of exposure to PFAS through food and drinking water in the Netherlands. RIVM report 2023-0011. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2023. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0011.pdf>

Thompson J, Chen B, Bowden J, Townsend T (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Toilet Paper and the Impact on Wastewater Systems. *Environ Sci Technol Lett.* 2023;10(3):234–239.

Titaley I. Chemical transformation, exposure assessment, and policy implications of fluorotelomer alcohol partitioning from consumer products to the indoor and outdoor environment—from production to end-of-life. *Environ Sci Adv.* 2024;3:1337.

VITO. PFAS in zeewater en zeeschuim EINDRAPPORT. Referentie: 2022/SCT/R/2837. VITO, Mol, België. 2023.

Wintersen A, Otte P. Achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing Maximale Waarden PFAS voor toepassen van grond en baggerspecie. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2021. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/documenten/achtergrondwaarden-en-risicogrenzen-ten-behoeve-van-onderbouwing-maximale-waarden-pfas-0>

Wintersen A, Spijker J, van Breemen P, van Wijnen H. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. RIVM rapport 2020-0100. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2020. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/publicaties/achtergrondwaarden-perfluoralkylstoffen-pfas-in-nederlandse-landbodem>

Woutersen M. Risicoschatting van PFAS in recreatieplas Merwelanden in Dordrecht. Kennisupdate KU-2023-0013. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2023. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/publicaties/risicoschatting-van-pfas-in-recreatieplas-merwelanden-in-dordrecht>

WUR. Zeeschuim opzet. WUR, Wageningen Marine Research, IJmuiden, Nederland. 2023

Yang Y, Wang J, Tang S, Qiu J, Luo Y, Yang C, Lai X, Wang Q, Cao H. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Consumer Products: An Overview of the Occurrence, Migration, and Exposure Assessment. *Molecules*. 2025;30(5):994.

Zeilmaker MJ, Janssen P, Versteegh A, Van Pul A, De Vries W, Bokkers B, Wuijts S, Oomen A, Herremans J. Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden : Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland. RIVM rapport 2016-0049. RIVM, Bilthoven, Nederland. 2016. Beschikbaar via: <https://www.rivm.nl/publicaties/risicoschatting-emissie-pfoa-voor-omwonenden-locatie-dupontchemours-dordrecht-nederland>

Zheng G, Boor BE, Schreder E, Salamova A. Indoor exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the childcare environment. *Environ Pollut*. 2020;258:113714..

Zhou Y, Lin X, Xing Y, Zhang X, Lee HK, Huang Z. Per- and polyfluoroalkyl substances in personal hygiene products: The implications for human exposure and emission to the environment. *Environ Sci Technol*. 2023;57:10489.

Bijlage I Afkortingen van PFAS

PFAS afkorting	Toelichting
6:2 diPAP	Fluorotelomeerfosfaatdiester
ETFE	Ethyleen-tetrafluorethyleen
FEP	Gefluoreerd ethyleenpropyleen
FTOH	Fluorotelomeralcohol
PAP	Polyfluoroalkylfosfaateester
PCTFE	Perchloortrifluorethyleen
PEQ	PFOA-equivalenten
PTFE	Polytetrafluoroethyleen
PFA	Perfluoralkoxyalkanen
PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
PFAA	Perfluoralkylzuur
PFBS	Perfluorbutaansulfonaat
PFCA	Perfluoralkylcarbonzuur
PFNA	Perfluorononaanzuur
PFOA	perfluorooctaanzuur
PFOS	Perfluorooctaansulfonaat
PFPE	Perfluoropolyether
PFSA	Perfluoralkaansulfonzuur
PFSE	Perfluorsulfonamido-ethanol
PVDF	Polyvinylidene fluoride

Bijlage II Overzicht van besproken toepassingen, inclusief type PFAS, blootstellingsroutes en mate van prioriteit voor vervolgonderzoek

Toepassing	Type PFAS	Geschatte tonnage op Europees niveau (ton/jaar)	Relevante blootstellingsroutes	Kans op blootstelling	Meenemen in vervolgonderzoek?
Textiel, stoffering, etc.	Polymeer (>75%)	41.000–143.000	Huidcontact, inhalatie	Hoog	Ja
Bouwmaterialen (DIY)	Polymeer (81%), niet-polymeer (19%)	5.000–13.000	Inhalatie via sprays, huidcontact	Matig	Ja
Persoonlijke verzorgingsproducten	Polymeer, niet-polymeer	0,028–64,2	Huidcontact, inhalatie, inslikken	Matig	Ja
Consumentenmengsels (PTFE-sprays)	Polymeer, niet-polymeer	21–30	Inhalatie, huidcontact	Matig	Ja
Smeermiddelen (niches)	Polymeer	1.200–2.200	Inhalatie (bijv. sprays)	Laag	Ja
Gefluoreerde gassen	Gassen	30.671 (nieuw), 493.173 (totaal aanwezig)	Geen significant contact	Laag	Nee
Transportsector	Polymeer	6.000–14.500 (nieuw), 100.000 (bestaand)	Gebonden toepassingen	Laag	Nee
Elektronica en halfgeleiders	Polymeer (65%), niet-polymeer (35%)	2.500–6.300	Gebonden toepassingen	Laag	Nee
Skiwas	Niet-polymeer	~21	Inhalatie, huidcontact	Laag	Nee
Medische hulpmiddelen	Polymeer, gassen	25.000–62.000	Specifiek voor patiënten	Afhankelijk van gebruik	Nee
Petroleum/mijnbouw	Polymeer, niet-polymeer	3.500–7.500	Industrieel gebruik	Laag	Nee
Brandblusschuim	Niet-polymeer	18.000	Industrieel gebruik, geen direct contact	Laag	Nee

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

oktober 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag