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

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

FRONT OFFICE VOEDSEL- EN PRODUCTVEILIGHEID

Beoordeling over de overdracht en kinetiek van PFOS in lam en schaap

Beoordeling aangevraagd door:	Office for Risk Assessment & Research (BuRO)
Beoordeling opgesteld door:	RIVM en WFSR
Datum aanvraag:	30-06-2025
Datum beoordeling:	20-08-2025 (concept) 05-09-2025 (definitief)
Projectnummer:	V/093130

Onderwerp

Dieren die voor begrazing hebben gelopen in het Verdronken Land van Saeftinghe hebben dergelijk hoge PFAS-gehalten in het lichaam dat deze gehalten in vlees en eetbare organen waarschijnlijk de wettelijke maximumgehalten overschrijden. Deze dieren zijn daarom niet per definitie geschikt voor menselijke consumptie. Er zal voorafgaand aan de slacht eerst aannemelijk gemaakt moeten worden dat de PFAS-gehalten in het vlees onder de maximumgehalten liggen, hetgeen momenteel gebeurt door de bepaling van PFAS-gehalten in bloedplasma.

Met behulp van overdrachtsmodellen kan een schatting worden gemaakt van de PFAS-gehalten in de nakomelingen van schapen die in het Verdronken Land van Saeftinghe hebben gelopen. Deze geschatte gehalten kunnen vervolgens worden vergeleken met de geldende maximumgehalten.

Vraagstelling

Bureau Risicobeoordeling & Onderzoek (BuRO) heeft het Front Office Voedsel- en Productveiligheid (FO) de volgende vraag gesteld:

Onderbouw op basis van de momenteel beschikbare data of PFAS-gehalten in vlees en organen van de nakomelingen van schapen die in het Verdronken Land van Saeftinghe hebben gelopen aan de geldende maximumgehalten kunnen voldoen in de periode dat de nakomelingen geslacht worden.

BuRO vraagt hierbij om berekening van geschatte PFAS-gehalten in bloed, vlees en organen van nakomelingen van schapen uit het Verdronken Land van Saeftinghe. Graag een uitwerking van deze berekening en de bijbehorende onzekerheden en indien mogelijk voorwaarden schetsen (bijv. leeftijd lam) waaraan de moederdieren en lammeren moeten voldoen waarbij de uitkomsten uit de berekening gelden.

Conclusies

Met uitzondering van de PFOS-gehalten, lagen de concentraties van andere PFAS'en in de bemonsterde weefsels van lammeren doorgaans onder de detectielimiet. Daarom is de verwachting dat deze PFAS'en niet tot nauwelijks bij zullen dragen aan het wel of niet voldoen aan de geldende maximumgehalten, en dus geen invloed hebben op de totale PFAS-blootstelling in het in het Verdronken Land van Saeftinghe (VLS).

Op basis van de gemeten PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van lammeren van ooien die in de zomer van het voorgaande jaar in het VLS hebben gelopen kan worden geconcludeerd dat de PFOS gehalten in de slachtperiode (leeftijd > 3 maanden) aan de geldende maximumgehalten voor vlees, lever en nieren voldoen, mits de lammeren eind april/begin mei worden geboren en de ooien slechts 4 maanden in het VLS grazen. Het verfijnde overdrachtsmodel voor PFOS is in staat om deze data met een lichte onderschatting van de piekgehalten te beschrijven.

Voor lammeren die eind januari/begin februari worden geboren, is de verwachting dat deze in de slachtperiode (leeftijd > 3 maanden) ook aan de geldende maximumgehalten voor PFOS voldoen. Hierbij geldt wel dat de PFOS-gehalten in vlees en organen van deze lammeren waarschijnlijk hoger zijn dan de PFOS-gehalten in de lammeren die eind april/begin mei zijn geboren. PFOS-gehalten in vlees en nieren worden voorspeld te allen tijde onder de ML te blijven. Voor de lever is de verwachting dat op een leeftijd van 1,8 maanden de gehalten onder de ML zakken. Belangrijk om te vermelden is dat dit modelscenario geen onderbouwing heeft van gemeten data, waardoor deze modelvoorspellingen onzeker zijn. Daarom kan niet met zekerheid worden uitgesloten dat PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van deze lammeren boven de ML zitten in de slachtperiode.

Op basis van de twee modelscenario's die zijn doorgerekend in deze beoordeling, is de aanbeveling om ooien maximaal 4 maanden in het VLS te laten lopen in de periode juli-oktober. Bovendien is het wenselijk om de dieren te laten dekken in januari/februari zodat de lammeren geboren worden in de periode april/mei. Onder deze voorwaarden kan met redelijke zekerheid worden geconcludeerd dat PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van de lammeren onder de geldende maximale limieten blijven.

1. Inleiding

Perfluoroctaansulfonzuur (Perfluorooctane sulfonic acid; PFOS), behoort tot de poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS'en). PFAS'en zijn door de mens gemaakte chemicaliën. Deze verbindingen zijn verwerkt in veel producten of worden gebruikt in verschillende industriële toepassingen en processen vanwege gunstige chemische eigenschappen, zoals water-, vet- en vuilafstotende eigenschappen. Uitstoot naar het milieu vindt plaats door productie en het gebruik van deze producten. Door hun chemische eigenschappen zijn PFAS'en zeer slecht biologisch afbreekbaar en worden daardoor vaak aangetroffen in grond, grondwater, oppervlaktewater, drinkwater en voedsel, maar ook in biologische matrices.

In 2020 heeft de European Food Safety Authority (EFSA) een wekelijkse toelaatbare blootstelling van 4,4 nanogram per kilogram lichaamsgewicht per week van de som van vier PFAS'en vastgesteld voor de mens, namelijk Perfluoroctaanzuur (Perfluorooctanoic acid; PFOA), Perfluoroctaansulfonzuur (Perfluorooctane sulfonic acid; PFOS), Perfluornonaanzuur (Perfluoronanoic acid; PFNA) en Perfluorhexaansulfonzuur (Perfluorohexane sulfonic acid; PFHxS) (EFSA, 2020). Daarnaast heeft de Europese Commissie in 2023 vastgesteld welke gehalten voor PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS en de som van deze vier PFAS'en maximaal zijn toegestaan in verschillende eetbare dierlijke producten, waaronder vlees en eetbaar slachtafval van schapen. Dit worden ook wel de maximumgehalten (maximumlevels, ML's) genoemd (EU 2023/915).

In het Verdronken land van Saeftinghe (VLS) worden schapen en runderen gehouden voor natuurbegrazing. Het Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen (FAVV) heeft te hoge gehalten PFOS in het vlees gevonden van een Belgisch rund dat gegraasd zou hebben in het VLS. Ook zijn hoge gehalten PFOS gevonden in bloed van een aantal runderen uit dit gebied. In het VLS grazen ook dieren van drie Nederlandse houders; fokschapen (ooien), vleesrunderen en waterbuffels. PFOS blijkt de belangrijkste PFAS en gehalten van andere PFAS'en in bemonsterde weefsels liggen doorgaans onder de detectielimiet. Voor PFOS in schapen gelden ML's van 1,0 µg/kg voor vlees en 6,0 µg/kg voor eetbaar slachtafval zoals lever en nieren.

In 2024 is een Front Office advies gepubliceerd (RIVM en WFSR, 2024) waarin PFOS-gehalten zijn geschat in vlees, lever en plasma van ooien, lammeren en runderen die in het VLS hebben gestaan. Omdat in 2025 aanvullende metingen zijn verricht naar PFOS-gehalten in weefsels van schapen en lammeren, ligt de focus in het huidige advies op het verbeteren van de schatting van PFOS-gehalten in weefsel van lammeren die zelf niet in het VLS hebben gegraasd, maar waarvan de moeders dat wel hebben gedaan. Deze lammeren kunnen alsnog blootgesteld worden aan PFOS tijdens de zwangerschap via de baarmoeder en na de bevalling via de moedermelk. Hiervoor is het destijds ontwikkelde overdrachtsmodel voor lammeren verder verfijnd aan de hand van aanvullende analyses in plasma, vlees, lever en nieren van ooien die in het VLS hebben gestaan en hun lammeren.

De lammeren staan op de boerderij en hebben weidegang in een schoner gebied, buiten het VLS. In de periode dat de lammeren melk krijgen, consumeren ze ook krachtvoer, kuilgras, hooi, stro en gras uit de relatief schone weide.

2. Methode

De schapen die de schapenhouder op het VLS heeft lopen zijn van het ras 'Swifter'[1]. Dit is een relatief nieuw schapenras ontwikkeld op de Wageningen Universiteit waarin een aantal gunstige eigenschappen is samengebracht vanuit twee andere schapenrassen. Dit leidde ertoe dat Swifters onder andere een hoge melkgift en vruchtbaarheid hebben, gemiddeld 2 tot 3 lammeren per worp hebben, en ook van goede slachtkwaliteit zijn. Dit laatste heeft onder andere te maken met dat lammeren van Swifters over het algemeen snel groeien in vergelijking met andere schapenrassen (J. de Boer, 1988).

Op basis van de informatie die door de schapenhouder is verschaft, zijn er doorgaans twee verschillende momenten waarop ooien gedekt worden. Na de eerste dekking in het VLS bevallen ooien eind januari en zogen de dieren in februari en maart. In de periode dat deze ooien zogen verblijven ze op een schoner, binnendijks gebied rond de boerderij. Daarna gaan ze weer het VLS in tot half oktober. Ooien die niet zijn gedekt in het VLS, worden 3 maanden later alsnog gedekt op de boerderij. Bij deze tweede dekking bevallen ooien eind april en zogen ze in mei en juni. Na het zogen gaan ook deze ooien terug naar het VLS, waar ze verblijven tot half oktober. De lammeren die in het jaar van geboorte worden geslacht gaan niet naar het VLS, maar verblijven op het gebied rond de boerderij. De ooien die half oktober terug gaan naar het gebied rond de boerderij, zullen eind januari weer naar het VLS gaan voor de eerste dekking.

De ooien die in 2024 in het VLS stonden, zijn dit keer allemaal in de tweede ronde gedekt, maar dit is een uitzonderlijke situatie. Dit wil zeggen dat de nieuwe lichting lammeren in 2025 allemaal zijn geboren rond eind april en gezoogd in mei en juni.

Om te bepalen of lammeren van ooien die in het VLS hebben gelopen aan de geldende maximumgehalten voldoen, is eerst het eerder ontwikkelde overdrachtsmodel verfijnd. Hiervoor zijn recente bemonsteringsgegevens gebruikt. Daarnaast is rekening gehouden met twee blootstellingscenario's: 1) lammeren die eind januari geboren worden en 2) lammeren die eind april geboren worden.

2.1 Beschikbare bemonsteringsgegevens

Op 24 september 2024 is bij 4 ooien bloed afgenomen. Hierbij is in het plasma met name PFOS aangetroffen met gehalten van 26, 22, 23 en 25 µg/L. Dit betrof twee ooien van 1,5 jaar oud en twee ooien van meer dan 8 jaar oud, die allen in mei 2024 het VLS in zijn gegaan nadat ze hun lammeren hadden gezoogd. Deze vier ooien stonden dus ongeveer 4 maanden in het VLS op het moment van bemonstering. Naast PFOS, zijn ook PFOA, PFNA en PFHxS gemeten, maar de gehalten waren laag in vergelijking met gehalten van PFOS. De gehalten van PFOA waren zelfs onder de detectielimiet en de gehalten voor PFNA en PFHxS waren minstens een factor 36 tot 33 keer lager. Daarom ligt de focus in deze beoordeling op PFOS, en zijn PFOA, PFNA en PFHxS verder niet meegenomen.

In de periode na september 2024 tot aan juli 2025 zijn meer data vergaard van dieren die in het VLS hebben gestaan en de lammeren die zij hebben gekregen in april/mei van 2025. Deze data bestaan uit PFOS-gehalten gemeten in plasma, vlees, lever, nieren en melk. Er is onderscheid gemaakt tussen de verschillende dieren door ze te categoriseren:

1. Lammeren waarvan de moeder in 2024 in het VLS heeft gelopen.
2. Lammeren waarvan de moeder volgens de houder niet in 2024 in het VLS heeft gelopen.
3. Ooien die in 2024 in het VLS hebben gelopen.

[1] https://swifter.nl/

4. Ooien die zelf niet in het VLS hebben gelopen, maar waarvan de moeder wel in het VLS heeft gestaan.
5. Ooien zonder enige connectie met het VLS.
6. Lammeren waarvan niet bekend is of de moeder in het VLS heeft gelopen.

In de tekst hieronder wordt naar bovenstaande dieren verwezen als 'categorie 1', 'categorie 2', etc.

Plasmamonsters van volwassen dieren zijn verzameld voor zowel mannelijke als vrouwelijke dieren. Omdat het model specifiek voor moeder en lam geldt, is er besloten om alleen in te gaan op de plasmadata van de vrouwelijke dieren voor het moedergedeelte van het model. De weefseldata van de volwassen dieren zijn wel uitsluitend afkomstig van vrouwelijke dieren. Voor de lammeren is er geen onderscheid gemaakt tussen mannelijke en vrouwelijke dieren.

Hieronder volgt het gedetailleerde tijdspad van de bemonstering.

Op 15 oktober 2024 zijn er 6 lammeren ter sectie aangeboden bij de Gezondheidsdienst voor Dieren (GD) voor onderzoek van PFOS-gehalten in vlees door WFSR. Deze 6 lammeren waren allen in de periode eind april - begin mei 2024 geboren. Hierbij zijn twee categorieën dieren meegenomen: categorie 1 (n=1) en categorie 2 (n=5).

Op 20 november 2024 is er bloed bemonsterd van 53 lammeren uit een groep van 279 dieren. Dit waren allemaal lammeren die in april 2024 waren geboren. Daarbij zijn categorie 1 (n=34), categorie 2 (n=7) en categorie 6 (n=12) meegenomen.

Op 13 maart en 14 april 2025 zijn van in totaal 94 ooien bloedmonsters genomen. De volgende onderverdeling van de ooien is gehanteerd: categorie 3 (n=23), categorie 4 (n=23) en categorie 5 (n=48).

Tijdens de monstername van 14 april 2025 zijn tevens bloed- en melkmonsters van zes ooien met lammeren afgenomen die in 2024 in het VLS hebben gelopen (categorie 3).

Op 11 juni 2025 zijn er zes ooien ter slacht aangeboden, welke een waarde PFOS in het plasma hadden tot 3,3 µg/L (bemonsterd in maart of april 2025). Hierbij zijn categorie 3 (n=2) en categorie 5 (n=4) meegenomen.

Op 10 juli 2025 zijn er zes lammeren afkomstig van ooien die in 2024 in het VLS hebben gelopen ter sectie aangeboden bij de GD voor onderzoek van PFOS-gehalten in plasma, vlees, lever en nieren. Deze 6 lammeren waren allen in de periode eind april - begin mei 2025 geboren.

Van de zes schapen waarvan op 14 april melkmonsters zijn genomen, zijn er nog vier in leven. Deze zijn op 10 juli 2025 opnieuw bemonsterd voor melk en bloed.

N.B. van de verzamelde bloedmonsters wordt uitsluitend het bloedplasma geanalyseerd en zal er vanaf nu ook alleen maar naar plasma gerefereerd worden.

De resultaten van de bemonsteringen zijn weergegeven als bijlage bij dit advies en zijn samengevat in Tabel 1.

Tabel 1. Mediane en maximale PFOS-gehalten in plasma, vlees, lever en nieren in ooien en lammeren die bemonsterd zijn met betrekking tot het VLS.

			Gehalten PFOS							
Dieren (aantal)	**Cate-gorie**	**Datum mon-stername**	**Plasma (µg/L)**		**Spiervlees (µg/kg)**		**Lever (µg/kg)**		**Nieren (µg/kg)**	
			Medi-aan	Max	Medi-aan	Max	Medi-aan	Max	Medi-aan	Max
Ooi (4)	3	24-09-2024	24	26						
Lam (1)	1	15-10-2024			0,03	0,03				
Lam (5)	2	15-10-2024			<0,025	0,05				
Lam (34)	1	20-11-2024	0,77	1,1						
Lam (7)	2	20-11-2024	0,60	0,91						
Lam (12)	6	20-11-2024	0,69	0,95						
Ooi (15)	3	13-03-2025	4,4	6,6						
Ooi (23)	4	13-03-2025	2,2	2,9						
Ooi (27)	5	13-03-2025	2,8	6,0						
Ooi (8)	3	14-04-2025	4,2	6,4						
Ooi (21)	5	14-04-2025	2,7	5,4						
Ooi (2)	3	11-06-2025	2,0	2,1	0,16	0,16	6,8	7,1	1,1	1,2
Ooi (4)	5	11-06-2025	3,4	4,0	0,18	0,30	8,0	12	2,3	3,3
Lam (6)	1	10-07-2025	2,2	4,2	0,13	0,27	3,8	5,2	1,1	2,2

Naast bemonstering van de dieren zijn PFOS-gehalten gemeten in 11 grasmonsters van het VLS en omgeving door het geaccrediteerde laboratorium Eurofins ECCA. Van de 11 monsters kwam er 1 grasmonster van het VLS waarin een gehalte van 2,0 µg/kg PFOS was gevonden. De overige monsters bleven onder de kwantificatielimiet van 0,1 µg/kg PFOS.

2.2 Verdeling PFOS over weefsels en organen van schapen en lammeren

Op basis van PFOS-gehalten en gewichten van plasma, weefsels en organen kan de verdeling over het lichaam bepaald worden. Li et al. (2021) beschreven in een review de relatieve gewichten van weefsels en organen voor schapen ten opzichte van het lichaamsgewicht. De details hiervan zijn te vinden in Annex I.

Om meer informatie te vinden over de verdeling van PFOS over weefsels en organen, is eerst de openbare literatuur geraadpleegd. Hierin is een pilotstudie van Kowalczyk et al. (2012) gevonden waarin twee ooien gedurende 3 weken voer hebben gekregen wat gecontamineerd was met PFOS. De resulterende weefsel:plasma partitiecoëfficiënten zijn te vinden in Tabel 2. Hieruit komt naar voren dat PFOS-gehalten in lever een factor 5 hoger liggen dan in plasma terwijl deze in vlees een factor 6 lager liggen. PFOS-gehalten in nier zijn vergelijkbaar met gehalten in plasma en voor melk geldt een factor 17 lager ten opzichte van plasma. De uitgebreide dataset onder deze getallen is terug te vinden in het proefschrift van Susan Ehlers (2012).

Tabel 2. Partitiecoëfficiënten PFOS zoals gerapporteerd in Kowalczyk et al. 2012.

Weefsel	**Schaap 1**	**Schaap 2**	**Gemiddeld**
Plasma	1,0	1,0	1,0
Vlees	0,15	0,15	0,15
Lever	5,3	4,9	5,1
Nier	1,0	1,2	1,1
Melk	0,058	0,062	0,06

Naast de gegevens vanuit de studie van Kowalczyk et al. (2012), zijn ook gegevens afgeleid op basis van de plasmamonsters die eind september 2024 zijn genomen bij 4 ooien voor PFAS-onderzoek. Hieruit volgden PFOS-gehalten van ongeveer 25 µg/L. Van deze 4 ooien zijn er 3 ooien in leven gebleven en zijn er in 2025 opnieuw plasmamonsters genomen, bij 1 dier op 13 maart en bij 2 dieren op 14 april. De gemeten gehalten waren 3,6, 6,1 en 4,6 µg/L PFOS, respectievelijk. Dit komt uit op een gemiddelde van 4,8 µg/L PFOS, dus een factor 5 lager dan in september 2024.

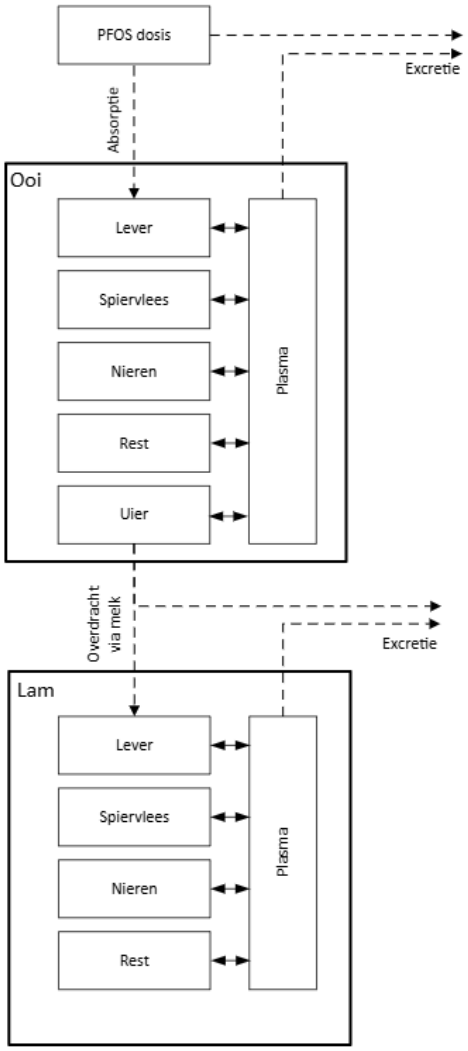
Op basis van deze metingen was het mogelijk om een halfwaardetijd af te leiden voor PFOS in plasma van deze 3 ooien. Deze zijn weergegeven in Tabel 3 waarbij de gemiddelde halfwaardetijd rond de 2,7 maanden zit. Dit indiceert dat de uitscheiding van PFOS sneller gaat dan geanticipeerd was in de vorige beoordeling (RIVM en WFSR, 2024). Daarnaast liggen de PFOS-gehalten in plasma van de ooien in oktober mogelijk hoger dan de gemiddelde 25 µg/L aangezien de ooien na september nog een hele maand op het VLS hebben gestaan voordat ze naar de boerderij gingen. Dit betekent dat de werkelijke halfwaardetijd hoogstwaarschijnlijk korter is dan 2,7 maanden.

Tabel 3. Halfwaardetijden PFOS in 3 ooien.

Levensnummers	**Plasmaconcentratie september 2024 (µg/L)**	**Plasmaconcentratie maart 2025 (µg/L)**	**Plasmaconcentratie april 2025 (µg/L)**	**$t_{1/2}$ in dagen**
NL100121535247	25,2	3,6	-	61
NL100070864184	24,5	-	6,1	102
NL100073274928	26,4	-	4,6	81
Gemiddelde $t_{1/2}$				81 ± 21

2.3 Modellering van PFOS-gehalten in lammeren

Op basis van de karakteristieken van ooien en lammeren en de beschikbare bemonsteringsgegevens is het eerder gepubliceerde overdrachtsmodel voor PFOS in ooien en lammeren verfijnd (RIVM en WFSR, 2024). Met dit model kan het verloop van de PFOS-gehalten in de diverse weefsels en melk worden bekeken. De gehalten in melk, gekoppeld met de melkconsumptie door de lammeren zijn gebruikt om de gehalten in plasma, lever, nieren en spiervlees van de lammeren in te schatten. Het model is verfijnd op basis van PFOS gehalten in vleesmonsters van zes lammeren uit juli 2025. Een schematisch overzicht van het verfijnde model is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Schematische weergave van het model voor PFOS, waarin ooien en lammeren gekoppeld zijn aan de hand van overdracht van PFOS via melk.

In dit model zijn plasma, lever, spiervlees, nieren en een restcompartiment gedefinieerd voor zowel de ooi als het lam, en is daarnaast voor de ooi een uiercompartiment gedefinieerd. De fysiologische parameters (weefselvolumes en weefselbloedstroom) zijn gebruikt uit de publicatie van Li et al. (2021) evenals het hematocriet om het plasmacompartiment mee te definiëren.

Uitwisseling van PFOS tussen compartimenten is gemodelleerd als een perfusie-gelimiteerd proces. Dit betekent dat er partitiecoëfficiënten zijn gebruikt om de verdeling van PFOS in de verschillende compartimenten te modelleren. Hoewel Kowalczyk et al. (2012) eerder partitiecoëfficiënten hebben afgeleid op basis van een pilotstudie met twee ooien (zie Tabel 2), is hier gekozen om zelf partitiecoëfficiënten te bepalen aan de hand van de partitiecoefficiënten die beschikbaar waren in deze beoordeling. De weefsel:plasma partitiecoëfficienten die gebruikt zijn in het geoptimaliseerde model zijn afgeleid uit de huidige verkregen data in plasma, vlees, lever en nier en weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5. Hierbij is aangenomen dat de partitiecoëfficiënten constant zijn en dus niet variëren in de loop van de tijd.

Daarnaast is ook een melk:plasma partitiecoëfficiënt afgeleid op basis van gemeten PFOS-gehalten in melk (Tabel 4). Uit gemeten melkmonsters blijkt echter dat PFOS-gehalten in melk sterk variëren in de loop van de tijd en dus niet constant lijken te zijn. De melk:plasma ratio's die werden afgeleid op basis van de melkgehalten van 10 juli lagen gemiddeld 15 keer (tot een maximum van een factor 20) hoger dan de ratio's die werden afgeleid op basis van PFOS-gehalten in melk van 14 april. Aangezien lammeren tot 7 weken melk krijgen zullen zij eind juni gespeend worden. Dit betekent dat de monsters van 10 juli buiten de lactatieperiode vallen en daarmee niet representatief zijn voor het afleiden van een ratio melk:plasma. Daarom is gekozen om enkel de melkmonsters van 14 april te gebruiken om een melk:plasma partitie af te leiden. Omdat deze partitiecoëfficiënt (0,021) leidde tot een onderschatting van de PFOS-gehalten in weefsels van het lam, is gekozen om ook een melk:plasma partitiecoëfficiënt van 0,06 mee te nemen die is gerapporteerd in Ehlers (2012) en Kowalczyk et al. (2012).

Voor de lammeren is een geschatte groeicurve opgenomen (op basis van gegevens van de schapenhouder; zie Annex I) die de groei van het lam beschrijft. Daarnaast is er een curve gefit op de geschatte melkinname over de eerste 7 weken na de geboorte van het lam, gebaseerd op gegevens van de schapenhouder. Een meer gedetailleerde beschrijving van het overdrachtsmodel is gegeven in Annex I.

Tabel 4. Partitiecoëfficiënten PFOS in ooien (n=6).

Weefsel	**Partitiecoëfficiënt bereik**	**Mediaan**
Vlees[a]	0,038 – 0,11	0,068
Lever[a]	2,2 – 4,4	3,0
Nier[a]	0,44 – 0,96	0,66
Melk[b]	0,011 – 0,032	0,021
Melk[c]	0,14 – 0,41	0,32

a 6 monsters genomen op 11 juni 2025

b 6 monsters genomen op 14 april 2025

c 4 monsters genomen op 10 juli 2025

Tabel 5. Partitiecoëfficiënten PFOS in lammeren (n = 6).

Weefsel	**Partitiecoëfficiënt bereik**	**Mediaan**
Vlees[a]	0,051 – 0,067	0,058
Lever[a]	1,4 – 2,5	1,9
Nier[a]	0,31 – 0,81	0,69

a Monsters genomen op 10 juli 2025

2.4 Modelscenario's
Twee modelscenario's zijn opgesteld en doorgerekend in deze beoordeling. Het eerste scenario betreft lammeren die eind april worden geboren en het tweede scenario betreft lammeren die eind januari worden geboren. De ooien staan gedurende meerdere maanden in het VLS en worden daar blootgesteld aan relatief hoge hoeveelheden PFOS. Echter, ook als de ooien in een schonere weide staan, is er nog sprake van een achtergrondblootstelling. Hieronder wordt eerst besproken hoe de achtergrondblootstelling is geschat, waarna de twee afzonderlijke modelscenario's besproken zullen worden.

Achtergrondblootstelling
Een schatting van de achtergrondblootstelling is gedaan door het model visueel te fitten aan de plasmagehalten van ooien die geen connectie hebben met het VLS (zie Tabel 1, categorie 5). Hierbij is aangenomen dat de dagelijkse blootstelling constant is en niet varieert over de tijd. Het resultaat was een dagelijkse achtergrondblootstelling van 0,33 µg PFOS per dag.

Voor lammeren is vervolgens de achtergrondblootstelling meegenomen via grasinname. Er wordt aangenomen dat de lammeren op een bepaald moment tijdens de melkgift ook gras gaan eten. Over de tijd zal de grasinname stijgen en de melkinname dalen tot er gespeend wordt. De grasinname zal dan overeenkomen met een maximum van 4%[2] van het lichaamsgewicht. Het model gaat uit van blootstelling van de lammeren aan PFOS via grasinname na 1 maand melkgift (dit is na de piekinname van 2 L melk per dag).

De aanname voor blootstelling aan PFOS via gras is dat deze in de periode van april tot en met november lager is dan in de periode van december tot en met maart. Dit heeft te maken met dat de groei van het gras in de zomermaanden hoger is en de dieren vrijwel alleen het gras eten, terwijl in de winter het gras stukken korter is waardoor er gemakkelijkerer inname van grond is. Het is waarschijnlijk dat de gehalten PFOS in grond hoger liggen dan in gras (Simones et al., 2024). In het model is de minimale concentratie in het gras (plus aanhangende grond) gesteld op 0,04 µg/kg en de maximale concentratie op 0,15 µg/kg. Deze liggen 2,5 keer lager en 1,5 keer hoger dan de kwantificatielimiet van Eurofins (zie boven), respectievelijk. Deze cyclus is meegenomen in het model om de achtergrondblootstelling te modelleren in lammeren.

Modelscenario 1 – lammeren geboren eind april
In dit scenario staan ooien 4 maanden van het jaar in het VLS (van begin juli tot eind oktober) waar ze blootgesteld worden aan verhoogde PFOS-gehalten. De ooien in dit scenario worden gedekt als tweede lichting en krijgen eind april/begin mei lammeren. Zoals toegelicht in het begin van de Methode paragraaf, geldt voor 2024/2025 dat alle dieren van de schapenhouder in dit scenario vallen. De dagelijkse PFOS-inname in de periode in het VLS is geschat door het model weer visueel te fitten aan de data van ooien die in het VLS hebben gestaan (Tabel 1; categorie 3). De resulterende dagelijkse PFOS-inname in het VLS was 3,2 µg PFOS per dag. Bij een grasinname van 2,5% van het lichaamsgewicht door ooien (60 kg) ofwel 1,5 kg droge stof (ds) per dag zou dat duiden op een gehalte van 2,0 µg PFOS/kg ds, hetgeen ook is gemeten in één monster gras uit het VLS.

Na de 4 maanden in het VLS, worden ooien verplaatst naar een schonere wei waar de achtergrondblootstelling geldt. Door uitscheiding via de feces neemt het PFOS-gehalte na verplaatsing naar de schone wei af en tijdens de lactatie (7 weken, vanaf 1 mei) versnelt die daling, doordat een deel van de PFOS via de melk naar het lam gaat. Daardoor stijgt het PFOS-gehalte in het lam met een piek in het PFOS-gehalte bij de piekinname van 2 L

[2] Schaap is meest efficiënt in productie eetbaar eiwit uit gras - Nieuwe Oogst

melk per dag. Gelang de lactatieperiode neemt de melkinname af en zal het PFOS-gehalte ook dalen, naast dat er uitscheiding plaatsvindt via feces en verdunning vanwege groei. Na het spenen zullen de PFOS-gehalten niet teruggaan naar nul.

Modelscenario 2 – lammeren geboren eind januari
In dit scenario staan ooien 6 maanden van het jaar in het VLS (van begin mei tot eind oktober) waar ze blootgesteld worden aan verhoogde PFOS-gehalten. De ooien in dit scenario worden gedekt als eerste lichting en krijgen eind januari/begin februari lammeren. Omdat er geen data zijn van dieren die aan dit scenario voldoen, is aangenomen dat de dagelijkse PFOS-inname van deze dieren gelijk is aan die van de dieren in scenario 1, dus 3,2 µg PFOS per dag. Na de 6 maanden in het VLS, worden ooien verplaatst naar een schonere wei waar de (geschatte) achtergrondblootstelling geldt. Ook hier neemt het PFOS-gehalte af door uitscheiding via de feces en lactatie (7 weken, vanaf 1 februari). De gehalten PFOS in het lam zijn op eenzelfde manier beschreven als in modelscenario 1.

3. Resultaten

De twee modelscenario's beschreven in paragraaf 2.4 zijn doorgerekend met het verfijnde overdrachtsmodel. De resultaten worden hieronder uiteengezet.

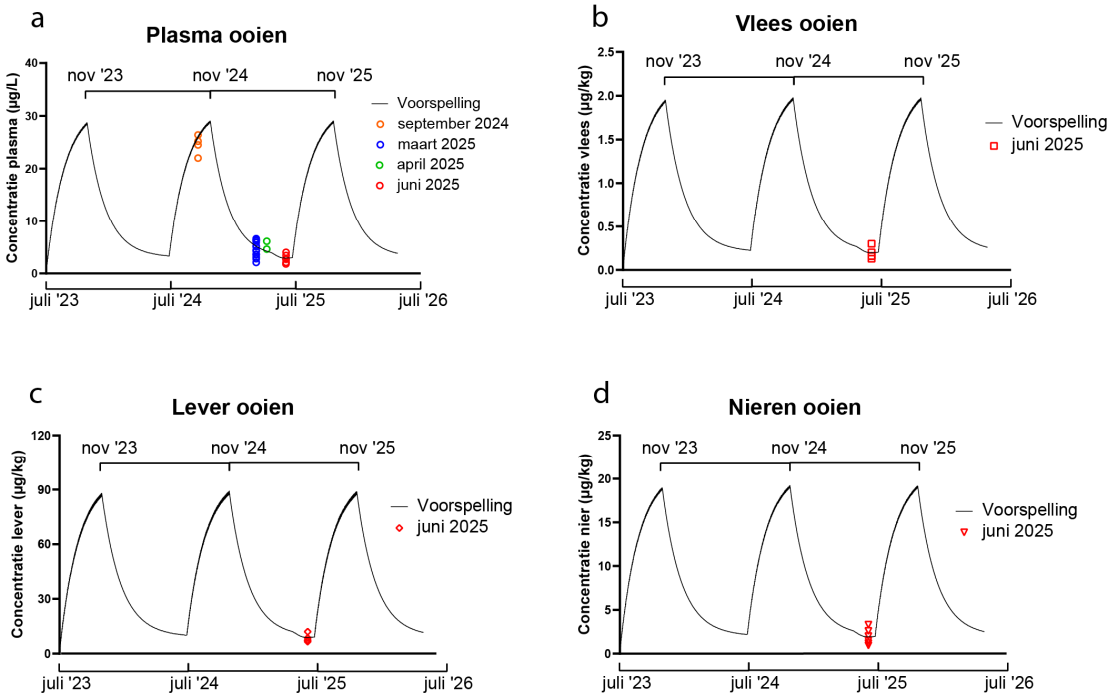
3.1 Modelscenario 1

De modelvoorspellingen voor ooien die horen bij scenario 1 zijn weergegeven in Figuur 2 en die voor de lammeren in Figuur 3. Op basis van een visuele fit op de gemeten PFOS-plasmawaarden (Figuur 2a) is naast de dagelijkse dosis ook de excretie geschat. Op basis van de visuele fit aan de PFOS-gehalten in plasma van de ooien was het model goed in staat om de gemeten PFOS-gehalten in vlees (Figuur 2b), lever (Figuur 2c) en nieren (Figuur 2d) te schatten. Onder deze condities is het model dus in staat om PFOS-gehalten te beschrijven in de weefsels van ooien die in het VLS hebben gestaan.

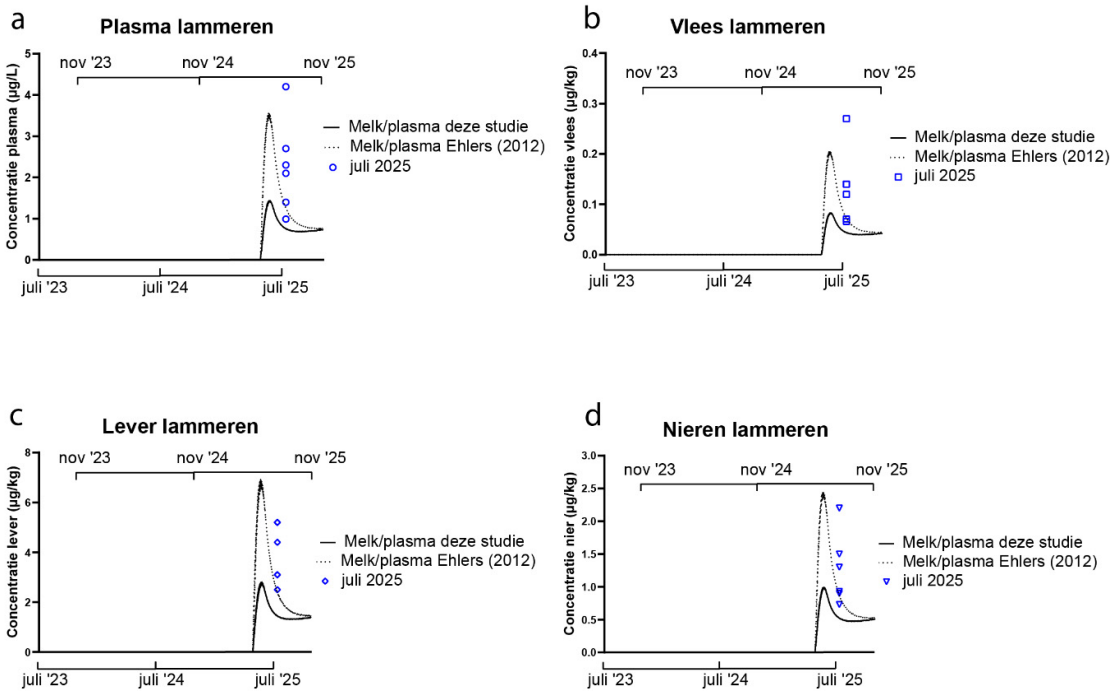
Voor de lammeren beschrijft het model een piekmoment van PFOS in plasma en weefsels tijdens de lactatie. Deze loopt terug naar een achtergrondwaarde in plasma van rond 0,7 µg/L zoals gemeten in de lammeren van november 2024 met een leeftijd van rond de 7 maanden (Figuur 3). Echter, wanneer de voorspellingen van het lam worden vergeleken met de gemeten data in juli 2025, dan valt op dat er sprake is van een onderschatting in plasma en weefsels ten opzichte van de gemeten PFOS-gehalten. Een verklaring voor deze onderschatting kan zitten in de hoeveelheid PFOS die het lam binnenkrijgt via de melk. Daarom is er een tweede voorspelling meegenomen met een melk:plasma ratio van 0,06 gerapporteerd in Ehlers (2012) en Kowalczyk et al. (2012) welke ongeveer een factor 3 hoger ligt dan de gemeten melk:plasma ratio van april van 0,021. Onder deze omstandigheden voorspelt het model de PFOS-gehalten in plasma en weefsels beter. Belangrijk om te benoemen is dat het model met beide ratio's vleesgehalten onder de ML van 1,0 µg/kg voorspelt. Dit geldt ook voor de nieren die onder de ML van 6,0 µg/kg blijven. Voor levergehalten voorspelt het model dat die ook voor lammeren met een leeftijd van 1,2 maanden onder de ML uitkomen.

Het veranderen van de melk:plasma partitiecoëfficiënt heeft ook consequenties voor de modeluitkomsten van de ooien (Figuur 4), omdat de uitscheiding via melk hoger is. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van de melk:plasma ratio van 0,06, dan voorspelt het model voor de ooien lagere PFOS-gehalten in alle weefsels van de ooien in de periode dat de ooien lacteren. Desalniettemin lijkt het model de in juni verkregen PFOS-gehalten in ooien goed te voorspellen. Uit deze resultaten kan dus worden opgemaakt dat een melk:plasma partitiecoëfficiënt van 0,06, die is afgeleid uit Ehlers (2012) en Kowalczyk (2012), PFOS-gehalten in ooien en lammeren beter voorspeld kunnen worden.

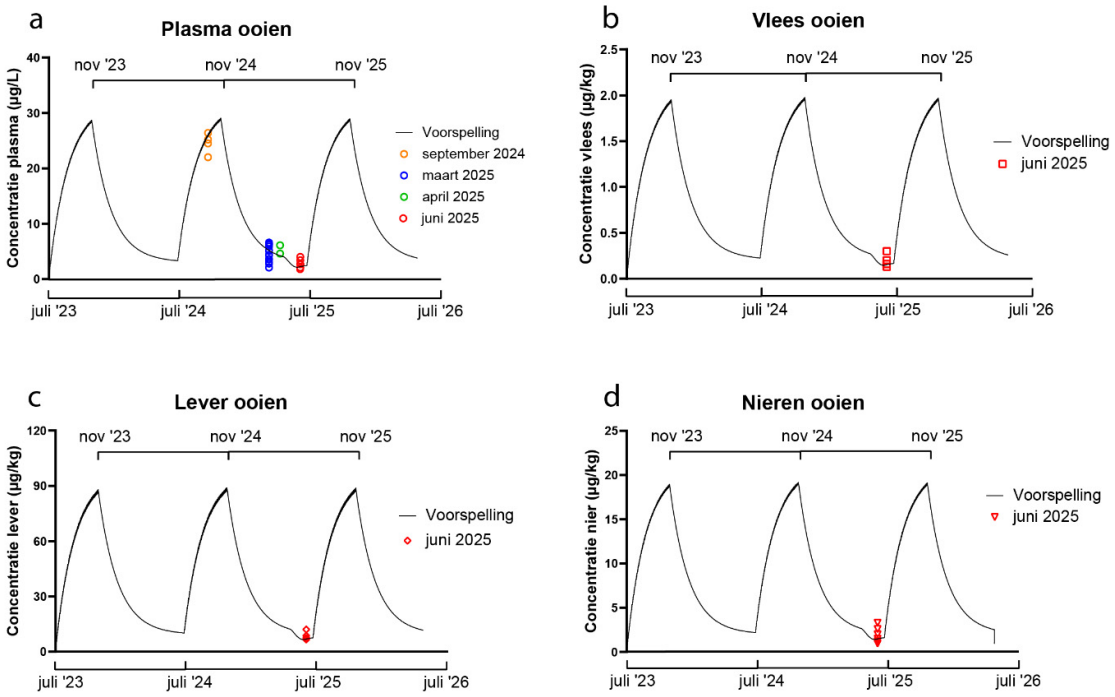
Naast de modelvoorspellingen die zijn gevisualiseerd in Figuur 2, is ook bekeken wat de voorspelde ratio's zijn tussen vlees, lever, nieren van lammeren. Hieruit blijkt dat de voorspelde PFOS-gehalten in lever en nieren van lammeren een factor 33 en 11 hoger liggen dan de PFOS-gehalten in vlees. Op basis van deze gegevens kan dus worden opgemaakt dat als PFOS-gehalten in de lever onder de ML voor orgaanvlees (6,0 µg/kg) uitkomen, dat de PFOS-gehalten in nieren en vlees volgens de voorspelling ook onder de ML's uit zullen komen.



Figuur 2. Voorspelde PFOS-gehalten in plasma en weefsels van ooien volgens scenario 1. In dit scenario gaan de ooien in juli naar het VLS, gaan ze eind oktober terug naar de boerderij en lammeren af in mei. Het model is afgestemd op de gemeten PFOS-gehalten in plasma en de gevonden weefselratio's waarmee (a) PFOS-gehalten in plasma, (b) vlees, (c) lever en (d) nieren voorspeld kunnen worden. In dit model is een gemeten melk:plasma ratio gebruikt van 0,021 op basis van monsters uit april.



Figuur 3. Voorspelde PFOS-gehalten in plasma en weefsels van lammeren. Deze lammeren zijn de lammeren van de ooien uit scenario 1. Zij worden in mei geboren en zijn daarna 7 weken lang blootgesteld aan PFOS via de melk. Hierna blijven zij tot de slacht op de boerderij en gaan dus niet naar het VLS. De voorspellingen vloeien voort uit de modelinstelling voor de ooi die de gemeten data beschrijft in Figuur 2. De modelvoorspellingen beschrijven de PFOS-gehalten in (a) plasma, (b) vlees, (c) lever en (d) nieren tot en met november. In dit model is een gemeten melk:plasma ratio gebruikt van 0,021 op basis van monsters uit april (lijn) en de melk:plasma ratio van 0,06 uit Ehlers (2012) en Kowalczyk et al. (2012) (stippellijn).



Figuur 4. Voorspelde PFOS-gehalten in plasma en weefsels van ooien volgens scenario 1. In dit scenario gaan de ooien in juli naar het VLS, gaan ze eind oktober terug naar de boerderij en lammeren af in mei. De voorspellingen vloeien voort uit de modelinstelling voor de lammeren die de gemeten data beschrijft in Figuur 3. De modelvoorspellingen beschrijven de PFOS-gehalten in (a) plasma, (b) vlees, (c) lever en (d) nieren. In dit model is een gemeten melk:plasma ratio gebruikt van 0,06 op basis van gerapporteerde waarden in Ehlers (2012) en Kowalczyk et al. (2012).

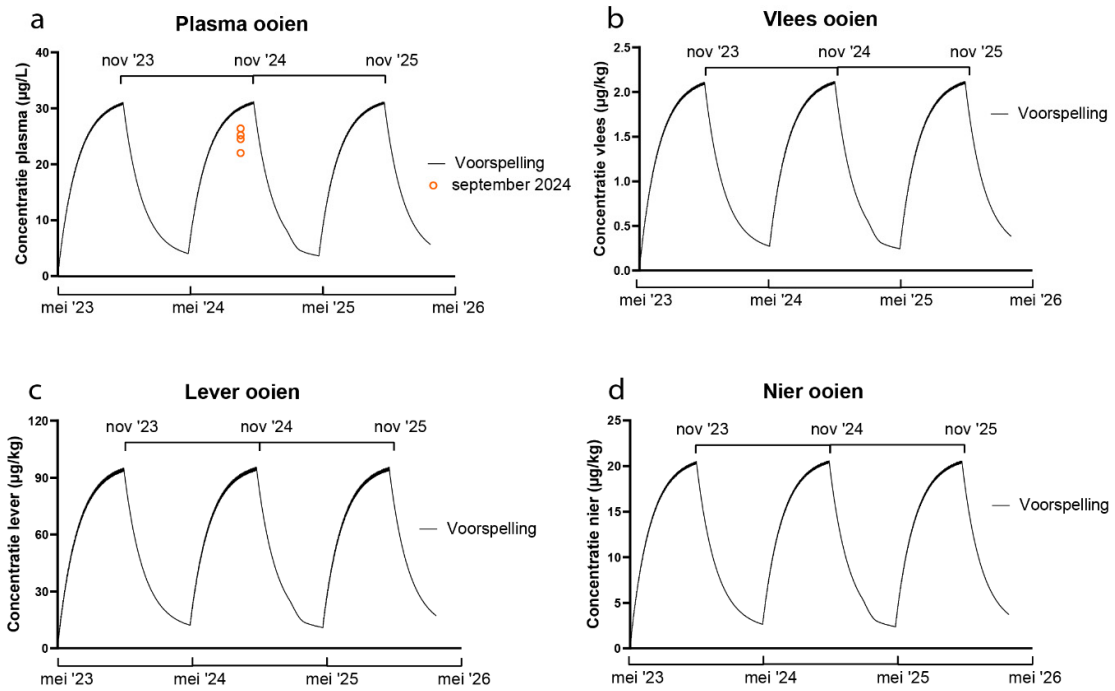
3.2 Modelscenario 2

Voor het tweede modelscenario (lammeren geboren eind januari/begin februari) zijn alle parameters die gefit zijn op basis van het eerste scenario gebruikt om PFOS-gehalten in de weefsels van de ooien te voorspellen (Figuur 5). Voor deze voorspelling is weer de melk:plasma ratio gebruikt op basis van de melk- en plasmamonsters uit april van 0,021. Onder deze modelcondities worden de gemeten data van september 2024 lichtelijk overschat door het model. Daardoor zijn ook de PFOS-gehalten in de overige weefsels hoger vergeleken met de gehalten die zijn voorspeld voor modelscenario 1.

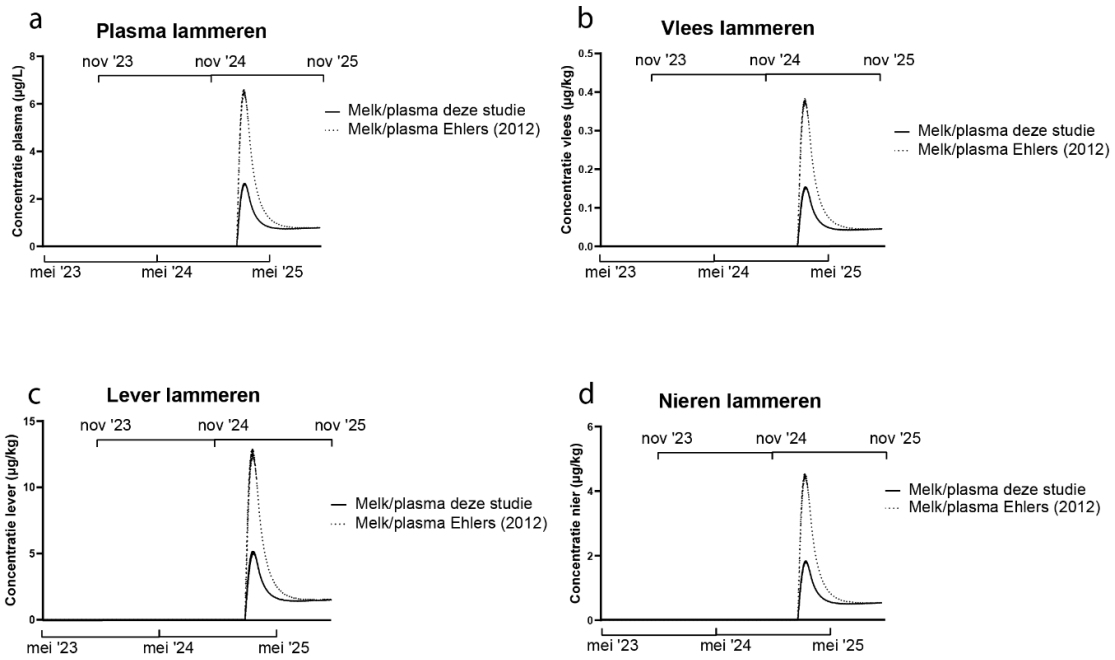
Het tweede modelscenario heeft voor de lammeren als gevolg dat er ook hogere gehalten PFOS worden voorspeld ten opzichte van het eerste modelscenario (Figuur 6). Maar ook onder deze omstandigheden blijven de PFOS-gehalten in alle weefsels onder de ML. Wederom is er rekening gehouden met een achtergrondinname via gras rond de boerderij waardoor PFOS-gehalten in plasma dalen tot ongeveer 0,7 µg/L.

Echter, benadrukt moet worden dat bij de hierboven beschreven simulatie een melk:plasma partitie is gebruikt van 0,021. Omdat we bij modelscenario 1 al zagen dat dit tot een onderschatting van PFOS-gehalten in plasma, vlees, lever en nieren leidde, is hier ook gekozen om een aanvullende simulatie te doen met een melk:plasma partitie van 0,06. De resulterende voorspellingen van PFOS-gehalten in plasma, vlees, lever en nieren van de lammeren zijn ook weergegeven in Figuur 6. Onder deze condities geldt dat de PFOS-gehalten in vlees en nieren onder de ML blijft. Voor de lever geldt dat de lammeren minimaal 1,8 maanden oud moeten zijn om ook onder ML te geraken.

Gezien de onzekerheden rondom de simulaties van dit tweede modelscenario en het feit dat lammeren doorgaans rond een leeftijd van 3 maanden worden geslacht, kan niet worden uitgesloten dat PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van deze lammeren boven de ML zitten in de slachtperiode.



Figuur 5. Voorspelde PFOS-gehalten in plasma en weefsels van ooien volgens scenario 2. In dit scenario gaan de ooien in mei naar het VLS, gaan ze eind oktober terug naar de boerderij en lammeren ze af in februari. De modelvoorspellingen zijn gebaseerd op de gefitte parameters (dagelijkse dosis, achtergronddosis en excretiewaarde) vanuit het model in scenario 1 en beschrijven de PFOS-gehalten in (a) plasma, (b) vlees, (c) lever en (d) nieren. In dit model is een gemeten melk:plasma ratio gebruikt van 0,021 op basis van monsters uit april.



Figuur 6. Voorspelde PFOS-gehalten in plasma en weefsels van lammeren. Deze lammeren zijn de lammeren van de ooien uit scenario 2. Zij worden in februari geboren en worden daarna 7 weken lang blootgesteld aan PFOS via de melk. Hierna zullen zij op de boerderij blijven en niet naar het VLS gaan. De modelvoorspellingen zijn gebaseerd op de gefitte parameters (dagelijkse dosis, achtergronddosis en excretiewaarde) vanuit het model in scenario 1 en beschrijven de PFOS-gehalten in (a) plasma, (b) vlees, (c) lever en (d) nieren. In dit model is een gemeten melk:plasma ratio gebruikt van 0,021 op basis van monsters uit april (lijn) en de melk:plasma ratio van 0,06 uit Ehlers (2012) en Kowalczyk (2012) (stippellijn).

3.3 Onzekerheden
Er zijn verschillende factoren en aannames die een rol spelen omtrent de onzekerheid rondom de antwoorden op de gestelde vragen.

Allereerst is aangenomen dat gemeten waarden van PFOS in weefsels en plasma in steady state zijn, en dus gebruikt kunnen worden om weefsel:plasma partitiecoëfficiënten voor het overdrachtsmodel van ooien en lammeren mee af te leiden. In realiteit zullen deze PFOS-waarden niet helemaal in steady-state zijn, waardoor de afgeleide partitiecoëfficiënten mogelijk anders zijn. De opbouw en depletie van PFOS uit het lichaam van de schapen en lammeren is echter zodanig langzaam dat grote verschillen niet verwacht worden.

In een pilotstudie van Kowalczyk et al. (2012) zijn weefsels en plasma van twee ooien bemonsterd die gedurende 3 weken met PFOS gecontamineerd voer hadden gekregen. De weefsel:plasma partitiecoëfficiënten (Tabel 2) waren voor deze dieren hoger dan voor de dieren die in het VLS hebben gestaan. Voor vlees is dit zeker een factor 2 hoger (0,068 (VLS) en 0,15 (Kowalczyk et al. (2012))). Een mogelijke verklaring hiervoor is de relatief korte blootstellingsduur (3 weken) en depletieduur (3 weken). Door deze korte doorlooptijd is er helemaal geen sprake van een steady-state waardoor de weefsel:plasma partitiecoefficiënten hoger zouden kunnen uitvallen dan in steady-state. Daarnaast zorgt het kleine aantal dieren in deze pilotstudie ook voor een onzekerheid in de weefsel:plasma partitiecoëfficiënten. In de huidige beoordeling zijn de mediane weefsel:plasma partitiecoëfficiënten als uitgangspunt genomen (zie Tabel 4 en 5).

De PFOS-blootstelling van een ooi in het VLS is zeer onzeker. Een inschatting van de PFOS-inname is gemaakt door de gemodelleerde plasma- en weefselwaarden af te stemmen op de gemeten waarden van september 2024 tot en met juni 2025 (ooien vanaf juli in het VLS). Dezelfde dagelijkse PFOS-inname is ook aangenomen voor modelscenario 2 (ooien vanaf mei in het VLS). Deze innameschatting blijft echter onzeker omdat verschillende factoren de plasmagehalten beïnvloeden, zoals de partitiecoëfficiënten en het plasmavolume. Die geschatte inname is ook afhankelijk van het moment waarop de ooien zijn verplaatst naar het VLS. In de modelsimulaties is nu een achtergronddosis meegenomen van 0,33 µg per dag waardoor het model een achtergrondgehalte van gemiddeld 3,0 µg/L in plasma van ooien voorspelt. Om dit te bevestigen zou er een grootschaliger onderzoek gedaan moeten worden naar wat het gemiddelde achtergrondgehalte is van dieren die geen verband houden met het VLS. Daarnaast is aangenomen dat dieren elke dag dezelfde hoeveelheid PFOS binnenkrijgen, terwijl het in praktijk zal variëren per dag. Op dit moment zijn er ook onvoldoende gegevens over de gehalten in gewassen en bodem in het VLS waarmee de inname geschat kan worden. Volgens de schapenhouder zouden de dieren leidingwater krijgen en niet drinken van het zoute water in het VLS.

Op basis van de verkregen data van november 2024 dalen de PFOS-gehalten in het plasma van lammeren (7 tot 9 maanden oud) niet naar nul, maar blijven steken op een gemiddelde van 0,7 µg/L. Met blootstelling aan PFOS via melk alleen, zoals aangenomen in de vorige beoordeling (RIVM en WFSR, 2024), zijn deze data echter niet te verklaren. Dit indiceert dat er achtergrondblootstelling is, mogelijk via gras en grond welke de lammeren al binnenkrijgen vanaf een bepaald moment tijdens de lactatieperiode. Deze achtergrondinname lijkt een grotere rol te spelen bij de blootstelling aan PFOS dan de inname via melk in de eerste 7 weken van het leven van een lam. Daarnaast zou deze inname in de winter hoger kunnen zijn dan in de zomer, hetgeen vooral van belang is voor de ooien die overwinteren op het bedrijf. Om meer inzicht en duidelijkheid te krijgen in dit scenario en ter bevestiging van het model is het zeer aan te raden om voor vervolgonderzoek gras en grondmonsters te nemen van het gebied rond de boerderij waar deze lammeren grazen.

In het ontwikkelde overdrachtsmodel van het lam, wat gekoppeld is aan het overdrachtsmodel van de ooi, is gebruik gemaakt van een geschatte groeicurve en een geschatte innamecurve voor melk. De geschatte groeicurve is gemaakt door een groeimodel (Brody (1945)) te fitten aan lichaamsgewichten van dieren die door de schapenhouder zijn verschaft (zie Annex I). Met deze groeicurve wordt het geboortegewicht geschat op 4,9 kg, het gewicht op moment van spenen op 44 kg (na 9 weken) en na 7 maanden op 62 kg. Hoewel dit model de data vrij goed beschrijft, blijft er sprake van onzekerheid en variabiliteit tussen dieren. Aangezien de geschatte lichaamsgewichten direct gerelateerd zijn aan de gewichten van verschillende weefsels, kan dit ook invloed hebben op de geschatte PFOS-gehalten in de weefsels.

De geschatte melkinname van het lam is geschaald aan de hand van informatie die door de schapenhouder is verstrekt. De geschatte melkinnames waren 0,4 L direct na de geboorte, oplopend naar 2 L na 3 weken en vervolgens geleidelijk afnemend tot 1,5 L na 5 weken en uiteindelijk 0 L na 7 weken. In de praktijk zullen sommige dieren meer melk drinken dan andere en zijn afwijkingen van deze innamecurve te verwachten. Bovendien is het gangbaar dat dieren van dit schapenras 'Swifters' in praktijk twee tot zelfs drie lammeren hebben. Dat betekent dat een variatie in de melkproductie van ooien te verwachten is.

Blootstelling van lammeren voor de geboorte, in de baarmoeder, is buiten beschouwing gelaten omdat daarover geen data beschikbaar waren. EFSA (2020) heeft het effect van die blootstelling bij mensen op basis van de literatuur als relatief klein ingeschat in vergelijking met die via de moedermelk. De aanname is dat de blootstelling via de melk, ook bij schapen, een grotere bijdrage geeft. Op basis van de gemeten gehalten in plasma van lammeren is het daarom aannemelijk dat er een achtergrondblootstelling is via een nog onbekende andere PFOS-bron.

Voor zowel de ooien als de lammeren is aangenomen dat er geen PFOS-eliminatie plaatsvindt via urine, op basis van de bevindingen in Kowalczyk et al. (2012). Er is aangenomen dat eliminatie van PFOS plaatsvindt via de feces. De aanname is dat 1% van de ingenomen PFOS niet wordt opgenomen en direct wordt uitgescheiden via feces. Daarnaast is een algemene klaringssnelheid in het model meegenomen waarmee verschillende klaringsprocessen, zoals de enterohepatische cyclus, worden beschreven. De parameter die deze klaring beschrijft is visueel gefit aan de beschikbare data. Er is aangenomen dat de klaringssnelheid niet verandert over de tijd. De daadwerkelijke klaring is echter onzeker en zal mogelijk ook variëren over de tijd en/of afhankelijk zijn van groei in het geval van het lam. Dit kan tot zowel onder- als overschatting leiden van de PFOS-gehalten in plasma, vlees, nier en lever.

Om de eliminatie van PFOS via melk te kunnen modelleren, zijn melk:plasma ratio's afgeleid op basis van gemeten PFOS-gehalten in plasma en melk. Bij de modellering is aangenomen dat ooien ieder jaar melk geven voor een periode van 7 weken. Daarnaast is in het model aangenomen dat deze melk:plasma ratio's constant zijn en dus niet variëren gedurende de 7 weken. Dit komt ook overeen met de data die gerapporteerd zijn door Ehlers (2012). Uit gemeten melkmonsters in april en juli 2025 lijken PFOS-gehalten in melk echter sterk te variëren in de loop van de tijd (Tabel 3). De melk:plasma ratio's die werden afgeleid op basis van de melkgehalten in juli lagen tot wel een factor 20 hoger dan de ratio's die werden afgeleid op basis van PFOS-gehalten in melk aan het begin van de lactatieperiode. De variatie hier heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met dat 10 juli buiten de lactatieperiode valt wat betekent dat de ooi richting droogstand gaat. Dit betekent dat er weinig melk aanwezig is in de ooi met daardoor verhoogde concentraties PFOS in de melk ten opzichte van PFOS concentraties tijdens de lactatieperiode. Wanneer gebruik wordt gemaakt van de melk:plasma ratio uit Kowalczyk et al. (2012), lijken de gemeten data in lam beter

beschreven met het model wat tot gevolg heeft dat er een lichte onderschatting gemodelleerd wordt bij de ooien tijdens de lactatieperiode. Omdat een eenduidige verklaring ontbreekt voor de variatie in de melk:plasma partitiecoëfficiënt, is gekozen om de variatie in de melk:plasma partitiecoëfficiënt niet als een tijdafhankelijke functie mee te nemen in het model.

Verder is aangenomen dat de relatieve weefselvolumes niet variëren over de tijd. Het is, met name bij lammeren, aannemelijk dat de relatieve lichaamssamenstelling van het dier verandert in de loop van de tijd, bijvoorbeeld door groei. In dit model is hier geen rekening mee gehouden. Door Li et al. (2021) zijn wel verschillen aangegeven voor het percentage bloed, nieren en lever bij jonge en oude dieren die wel zijn meegenomen in het model, maar het percentage vlees is voor de ooien niet vermeld en die is gelijkgesteld aan dat van de jongere dieren. Er is ook geen rekening gehouden met een veranderende lichaamssamenstelling van ooien tijdens de dracht. Tot slot is een verhoogde voedselinname tijdens de dracht ook niet meegenomen. Er is uitgegaan van een constante inname van PFOS gedurende het seizoen. Er is ook geen rekening gehouden met mogelijke variaties in de PFOS-gehalten in het gras of de grond. Dit heeft naar verwachting geen invloed op de ratio's die gebruikt zijn voor de schattingen van de kritische plasmawaardes.

Twee modelscenario’s zijn uitgewerkt in deze beoordeling. In het eerste scenario worden lammeren eind april/begin mei geboren nadat de ooien ongeveer 4 maanden in het VLS hebben doorgebracht, en in het tweede scenario worden lammeren eind januari / begin februari geboren terwijl de ooien ongeveer 6 maanden in het VLS hebben doorgebracht. In realiteit zijn er natuurlijk veel meer scenario’s en combinaties denkbaar. Variaties in geboortedatums of exacte verblijfsduur van ooien in het VLS zijn niet meegenomen in deze beoordeling

Tot slot is het belangrijk om te benadrukken dat het ontwikkelde model in deze exercitie specifiek ontwikkeld en gefit is voor dieren die hebben gelopen in het VLS. Bijkomend, alle data die vergaard zijn van deze dieren zijn gebruikt om het model te fitten. Omdat er geen aanvullende data gebruikt zijn voor modelvalidatie, is er minimaal een tweede dataset nodig ter validatie om zekerder te zijn van de modeluitkomsten. Vanwege een gebrek aan een validatie van het model op een tweede dataset, is het onduidelijk of dit model bruikbaar is om voorspellingen te doen voor andere gebieden, scenario’s of schapenrassen.

4. Conclusies

Met uitzondering van de PFOS-gehalten, lagen de concentraties van andere PFAS'en in de bemonsterde weefsels van lammeren doorgaans onder de detectielimiet. Daarom is de verwachting dat deze PFAS'en niet tot nauwelijks bij zullen dragen aan het wel of niet voldoen aan de geldende maximumgehalten, en dus geen invloed hebben op de totale PFAS-blootstelling in het in het Verdronken Land van Saeftinghe (VLS).

Op basis van de gemeten PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van lammeren van ooien die in de zomer van het voorgaande jaar in het VLS hebben gelopen kan worden geconcludeerd dat de PFOS gehalten in de slachtperiode (leeftijd > 3 maanden) aan de geldende maximumgehalten voor vlees, lever en nieren voldoen, mits de lammeren eind april/begin mei worden geboren en de ooien slechts 4 maanden in het VLS grazen. Het verfijnde overdrachtsmodel voor PFOS is in staat om deze data met een lichte onderschatting van de piekgehalten te beschrijven.

Voor lammeren die eind januari/begin februari worden geboren, is de verwachting dat deze in de slachtperiode (leeftijd > 3 maanden) ook aan de geldende maximumgehalten voor PFOS voldoen. Hierbij geldt wel dat de PFOS-gehalten in vlees en organen van deze lammeren waarschijnlijk hoger zijn dan de PFOS-gehalten in de lammeren die eind april/begin mei zijn geboren. PFOS-gehalten in vlees en nieren worden voorspeld te allen tijde onder de ML te blijven. Voor de lever is de verwachting dat op een leeftijd van 1,8 maanden de gehalten onder de ML zakken. Belangrijk om te vermelden is dat dit modelscenario geen onderbouwing heeft van gemeten data, waardoor deze modelvoorspellingen onzeker zijn. Daarom kan niet met zekerheid worden uitgesloten dat PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van deze lammeren boven de ML zitten in de slachtperiode.

Op basis van de twee modelscenario's die zijn doorgerekend in deze beoordeling, is de aanbeveling om ooien maximaal 4 maanden in het VLS te laten lopen in de periode juli-oktober. Bovendien is het wenselijk om de dieren te laten dekken in januari/februari zodat de lammeren geboren worden in de periode april/mei. Onder deze voorwaarden kan met redelijke zekerheid worden geconcludeerd dat PFOS-gehalten in vlees, lever en nieren van de lammeren onder de geldende maximale limieten blijven.

Referenties

Brody, S., 1945. Bioenergetics and Growth. Rheinhold Pub. Corp., NY.

EU 2023/915. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. Available via: http://data.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj

Ehlers et al., 2012 Analytik von Perfluoralkylsäuren in verschiedenen Matrices zur Klärung der Toxikokinetik in Tierarten, die der Lebensmittelgewinnung dienen. PhD-thesis. Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

EFSA., 2020. Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 18(9):6223, 391 pp.

J. de Boer. De mogelijkheden van Swifter en Flevolander. Praktijkonderzoek / Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Waiboerhoeve 1 (1988) 2 1988.

Kowalczyk J, Ehlers S, Fürst P, Schafft H, Lahrssen-Wiederholt M. Transfer of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from contaminated feed into milk and meat of sheep: pilot study. Arch Environ Contam Toxicol. 2012 Aug;63(2):288-98. doi: 10.1007/s00244-012-9759-2. Epub 2012 Mar 28. PMID: 22453775.

Li M, Wang YS, Elwell-Cuddy T, Baynes RE, Tell LA, Davis JL, Maunsell FP, Riviere JE, Lin Z. Physiological parameter values for physiologically based pharmacokinetic models in food-producing animals. Part III: Sheep and goat. J Vet Pharmacol Ther. 2021 Jul;44(4):456-477. doi: 10.1111/jvp.12938.

RIVM en WFSR, 2024. Beoordeling over de overdracht en kinetiek van PFOS in lam, schaap en rund. Projectnummer: V/093130

Simones T. L., Evans, C., Goossen, C. P., Kersbergen. R., Mallory. E.B., Genualdi, S., Young, S. Smith. A.E. Uptake of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Mixed Forages on Biosolid-Amended Farm Fields. J. Agric. Food Chem., 2024 Oct; 72(42): 23108–23117. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c02078.

Annex I – Modelbeschrijving

Het overdrachtsmodel dat verfijnd is in deze beoordeling bestaat uit twee gekoppelde submodellen, de ooi en het lam. Voor zowel de ooi als het lam zijn, naast plasma, ook een lever-, nier-, spier- en restcompartiment gedefinieerd. Daarnaast is voor de ooi ook een uiercompartiment gedefinieerd.

De differentiaalvergelijkingen die horen van de verandering van de hoeveelheid PFOS in plasma is als volgt:

$$\frac{dA_{plasma}}{dt} = \sum_{i\ in\ compartments} \left(Q_i \times \frac{C_i}{P_i}\right) - Q_{total} \times C_{plasma} - A_{plasma} \times k_{excretion}$$

Hierbij is A_{plasma} de hoeveelheid PFOS in het plasmacompartiment (µg), C_{plasma} is de concentratie PFOS in het plasmacompartiment (µg/L), *compartments* is de set van compartimenten (naast het plasmacompartiment) in het model (lever, nier, spier, rest en uier voor de ooi; lever, nier, spier en rest voor het lam). Q_i is de perfusie van compartiment *i* (L/d), Q_{total} is de totale perfusie in de ooi of lam (L/d), P_i is de partitiecoëfficiënt tussen plasma en compartiment *i,* en $k_{excretion}$ is een excretiesnelheid wat de excretie via faeces voorstelt (d^{-1}). De verandering van PFOS hoeveelheden in de overige compartimenten, behalve het uiercompartiment en het levercompartiment in het lam, wordt beschreven met:

$$\frac{dA_{compartment}}{dt} = Q_{compartment} \times \left(C_{plasma} - \frac{C_{compartment}}{P_{compartment}}\right)$$

Hierbij geldt dat $A_{compartment}$ is de hoeveelheid PFOS in het compartiment (µg), $C_{compartment}$ is de concentratie PFOS in het compartiment (µg/L), $Q_{compartment}$ is de perfusie van het compartiment (L/d) en $P_{compartment}$ is de partitiecoëfficiënt tussen plasma en het compartiment. Het uiercompartiment verschilt van de andere compartimenten omdat er ook excretie via melk plaatsvindt. Dit wordt als volgt beschreven:

$$\frac{dA_{udder}}{dt} = Q_{udder} \times \left(C_{plasma} - \frac{C_{udder}}{P_{udder}}\right) - Q_{milk}(t) \times C_{udder}$$

$A_{compartment}$ is de hoeveelheid PFOS in de uier (µg), C_{udder} is de concentratie PFOS in de uier (µg/L), Q_{udder} is de perfusie van de uier (L/d), P_{udder} is de partitiecoëfficiënt tussen plasma en de uier, en Q_{milk} is de melkproductie op een bepaald moment (L/d).

Aangenomen is dat alle melk die wordt uitgescheiden door de moeder zal worden gedronken door het lam. De PFOS die het lam binnenkomt via de melk komt instantaan terecht in de lever. De differentiaalvergelijking die hoort bij het levercompartiment van het lam is als volgt:

$$\frac{dA_{liver}}{dt} = Q_{liver} \times \left(C_{plasma} - \frac{C_{liver}}{P_{liver}}\right) + Q_{milk}(t) \times C_{udder}$$

A_{liver} is de hoeveelheid PFOS in de lever van het lam (µg), C_{liver} is de concentratie PFOS in de lever (µg/L), Q_{liver} is de perfusie van de lever (L/d), P_{liver} is de partitiecoëfficiënt tussen plasma en de lever.

De hoeveelheid melk die wordt gedronken door het lam is geschat door een kwadratische curve te fitten aan de data die verstrekt door de schapenhouder. De resulterende curve is als volgt:

$$Q_{milk}(t) = 0{,}3792 + 0{,}1429 \times t - 0{,}0032 \times t^2$$

Waarbij geldt dat t de tijd is in dagen, en t=0 bij de geboorte van het lam. Als t<0 d (dus voor de geboorte van het lam) of t>49 d (=7 weken na geboorte lam), dan wordt Q_{milk} op

0 L/d gezet. Daarnaast wordt aangenomen dat de melkinname van het lam de helft is van de melkproductie (piekinname van 2 L per dag).

Op basis van het Li et al. (2021) paper zijn de volgende percentages aan plasma en weefsel gevonden ten opzichte van het lichaamsgewicht voor ooien en lammeren. In lammeren is het percentage bloed gemiddeld 5,29% van het lichaamsgewicht, de lever 1,77%, de nieren 0.31% en de spieren/vlees 24,78%. Van het bloed is 66% plasma. Voor ooien is het 4,86% voor bloed, 1,27% voor lever, 0,23% voor nieren. Het percentage vlees is voor ooien niet vermeld. Daarom is dit gelijkgesteld aan het percentage voor lammeren, namelijk 24,78%. In Li et al. (2021) wordt een gemiddeld lichaamsgewicht genoemd van 62,88 kg voor volwassen schapen. Hiervan uitgaande, kunnen we afleiden dat ooien gemiddeld ongeveer 2,0 kg plasma, 0,8 kg lever, 0,14 kg nieren en 15,4 kg spiervlees hebben. Op basis van de PFOS-gehalten in Kowalczyk et al. (2012), de bovenstaande weefselgewichten, en de geschatte totale PFOS-inname, kan worden afgeleid dat vrijwel alle PFOS zich ophoopt in deze weefsels.

Overige modelaannames en details

- De blootstelling van de ooi aan PFOS is gemodelleerd als een eenmalige bolus per dag. Hierbij wordt een hoeveelheid PFOS, *D,* toegevoegd aan het levercompartiment.
- De dagelijkse PFOS-dosis van de ooien, de achtergrondblootstelling aan PFOS, en de excretiesnelheid, $k_{excretion}$, zijn visueel gefit aan de beschikbare data (zie sectie 2.4).
- Er is aangenomen dat PFOS zich homogeen verdeelt over de compartimenten, en dat de PFOS-concentratie in compartiment *i* berekend kan worden met $C_i = \frac{A_i}{V_i}$. Hierbij is V_i het volume (L) van compartiment *i*.
- Het volume van een compartiment kan worden berekend door de volumefractie, fV_i te vermenigvuldigen met het lichaamsgewicht, BW.
- De groei van lammeren is gefit aan de hand van data die door de schapenhouder zijn verstrekt. De resulterende groeicurve is $BW(t) = 62.9 - 58.0 \times e^{-0.00816 \times t}$, waarbij *t* de tijd is in dagen, en *t=0* samenvalt met de geboorte van het lam.
- Er is van uitgegaan dat 1 maand 730 uur is oftewel 30,3 dagen welke berekend is via: 24 x 365 / 12

Een overzicht van de parameterwaarden die gebruikt zijn in het model, is gegeven in Tabel S1.

Tabel S1. Overzicht met de parameters en de bijbehorende waarden in het overdrachtsmodel.

Parameter	**Beschrijving**	**Waarde**	**Bron**
BWm	Lichaamsgewicht volwassen schaap (kg)	62	Li et al. (2021)
VKmc	Weefselfractie nier ooi	0,0023	Li et al. (2021)
VLmc	Weefselfractie lever ooi	0,0127	Li et al. (2021)
VMumc	Weefselfractie spier ooi	0,2478	Li et al. (2021)
VPlasmamc	Weefselfractie plasma ooi	0,03208	Li et al. (2021)
VUdderc	Weefselfractie uier ooi	0,0057	Li et al. (2021)
Vrestc	Weefselfractie rest compartiment ooi	1 – (VKmc – VLmc – VMumc – VPlasmamc – VUdder)	Berekend
QCmc	Hartminuutvolume ooi (L/h/kg BW)	7,15	Li et al. (2021)
Htcm	Hematocriet ooi	0,34	Li et al. (2021)

QKmc	Fractie cardiac output nier ooi	0,1298	Li et al. (2021)
QLmc	Fractie cardiac output lever ooi	0,012	Li et al. (2021)
QMumc	Fractie cardiac output spier ooi	0,1009	Li et al. (2021)
QUdderc	Fractie cardiac output uier ooi	0,0035	Li et al. (2021)
Qrestmc	Fractie cardiac output rest compartiment ooi	1 – (QKmc – QLmc – QMumc – QUdder)	Berekend
PKm	Nier/plasma partitiecoëfficiënt ooi	0,7	Gemeten
PLm	Lever/plasma partitiecoëfficient ooi	3,1	Gemeten
PMum	Spier(vlees)/plasma partitiecoëfficiënt ooi	0,07	Gemeten
Pudder	Uier/plasma partitiecoëfficiënt ooi	0,021 of 0,06	Gemeten en Kowalczyk et al. (2012)
Prestm	Rest/plasma partitiecoëfficiënt ooi	0,01	Gefit
fam	Absorptiefractie ooi (uur^{-1})	0,99	Geschat
fem	Excretiefractie ooi (dag^{-1})	0,055	Gefit
VKc	Weefselfractie nier lam	0,0031	Li et al. (2021)
VLc	Weefselfractie lever lam	0,0177	Li et al. (2021)
VMuc	Weefselfractie spier lam	0,2478	Li et al. (2021)
VPlasmac	Weefselfractie plasma lam	0,03491	Li et al. (2021)
Vrestc	Weefselfractie rest compartiment lam	1 – (VKc – VLc – VMuc – VPlasmac)	Berekend
QCc	Hartminuutvolume lam (L/h/kg BW)	7,15	Li et al. (2021)
Htc	Hematocriet lam	0,34	Li et al. (2021)
QKc	Fractie cardiac output nier lam	0,1298	Li et al. (2021)
QLc	Fractie cardiac output lever lam	0,012	Li et al. (2021)
QMuc	Fractie cardiac output spier lam	0,059	Li et al. (2021)
Qrestc	Fractie cardiac output rest compartiment lam	1 – (QKc – QLc – QMuc)	Berekend
PK	Nier/plasma partitiecoefficient lam	0,61	Gemeten
PL	Lever/plasma partitiecoefficient lam	1,91	Gemeten
PMu	Spier(vlees)/plasma partitiecoefficient lam	0,059	Gemeten
Prest	Fractie cardiac output rest compartiment lam	0,01	Gefit
fa	Absorptiefractie lam (uur^{-1})	0,99	Geschat
fe	Excretiefractie lam (dag^{-1})	0,055	Gefit

Referenties

Handboek Schapenhouderij. Praktijkonderzoek Schapenhouderij. 2002 Jan. ISSN: 0169-3689

Kowalczyk J, Ehlers S, Fürst P, Schafft H, Lahrssen-Wiederholt M. Transfer of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from contaminated feed into milk and meat of sheep: pilot study. Arch Environ Contam Toxicol. 2012 Aug;63(2):288-98. doi: 10.1007/s00244-012-9759-2. Epub 2012 Mar 28. PMID: 22453775.

Li M, Wang YS, Elwell-Cuddy T, Baynes RE, Tell LA, Davis JL, Maunsell FP, Riviere JE, Lin Z. Physiological parameter values for physiologically based pharmacokinetic models in food-producing animals. Part III: Sheep and goat. J Vet Pharmacol Ther. 2021 Jul;44(4):456-477. doi: 10.1111/jvp.12938.