



Jan van der Winden  
Ecology

research &  
consultancy



## Kokmeeuwen transporteren onbedoeld gifstoffen naar Marker Wadden

Pilotstudie naar de gehalten PFAS en zware metalen in  
het voedsel van kokmeeuwen



Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Nationaal Park Nieuw Land.

J. van der Winden, Y.I. Verkuil, R.E.M. de Vries & J.A. Vonk 2025. Kokmeeuwen transporteren onbedoeld gifstoffen naar Marker Wadden. Pilotstudie naar de gehalten PFAS en zware metalen in het voedsel van kokmeeuwen. Rapport 2025-12, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.

## **LOWLAND ECOLOGY NETWORK**

Bij het Lowland Ecology Network zijn freelancers aangesloten die zich richten op ecologisch onderzoek, advies en communicatie. De nadruk ligt op natuurbescherming van wetlands in binnen- en buitenland. Elke deelnemer heeft een specifieke expertise en kan snel allianties sluiten en daarmee complexe vraagstukken oplossen. Buiten ons netwerk hebben we goede contacten voor overige specialismen, zoals fotografie/film, design en natuurwetgeving.

---

# Kokmeeuwen transporteren onbedoeld gifstoffen naar Marker Wadden

Pilotstudie naar de gehalten PFAS en zware metalen in het voedsel van kokmeeuwen

Jan van der Winden<sup>1</sup>, Yvonne Verkuil<sup>1</sup>, Roos de Vries<sup>1</sup> & Arie Vonk<sup>2</sup>

1. Lowland Ecology Network
2. UvA FNWI IBED, Department of Freshwater and Marine Ecology (FAME)





# Inhoudsopgave

---

<b>1. Inleiding</b>	<b>2</b>
1.1. Kokmeeuwen van Marker Wadden en hun omgeving	2
1.2. Schadelijke stoffen zoals PFAS en zware metalen	3
1.3. Doel van de pilotstudie naar gifstoffen	3
1.4. Dankwoord	4
<b>2. Studiegebied en methoden</b>	<b>5</b>
2.1. Studiegebied en verspreiding van de kokmeeuwen	5
2.2. Dieet van de kokmeeuwen	7
2.3. Braaksel- en poepmonsters van de kuikens	8
<b>3. Resultaten</b>	<b>9</b>
3.1. Dieet van de kokmeeuwenkuikens	9
3.2. Gehaltes PFAS en zware metalen in braaksels en poep	10
<b>4. Wat is de ecologische relevantie?</b>	<b>12</b>
4.1. Voedsel uit stad en platteland	12
4.2. Zit er veel PFAS in het meeuwenvoedsel?	12
4.3. Zitten er veel zware metalen in kokmeeuwenvoedsel?	14
4.4. Normering PFAS en metalen in ons milieu	15
4.5. Impact toevoer van gifstoffen door kokmeeuwen	16
4.6. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	17
<b>5. Samenvatting en conclusies</b>	<b>19</b>
<b>6. Literatuur</b>	<b>20</b>



# 1. Inleiding

---

## 1.1. Kokmeeuwen van Marker Wadden en hun omgeving

Nationaal Park Nieuw Land (NPNL) ligt in Flevoland ([nationaalparknieuwland.nl](http://nationaalparknieuwland.nl)) en is enorm rijk aan vogels (van Eerden *et al.* 2005, Beemster *et al.* 2022, Smeele *et al.* 2024, Dreef *et al.* 2023, van der Winden *et al.* 2023, Kuypers & Cornelissen 2024). Het overgrote deel van het park bestaat uit het open water van het Markermeer en verder liggen er fameuze natuurgebieden zoals de Oostvaardersplassen, Lepelaarplassen, Marker Wadden en Trintelzand. Sinds 2015 heeft het gebied de status van Nationaal Park. Daarin is zowel natuur als recreatief medegebruik een wezenlijk onderdeel van de doelstelling van het park. Het park grenst aan de westzijde aan het Markermeer en de oostzijde aan agrarisch en stedelijk gebied van Flevoland.

Dankzij de aanleg van Marker Wadden kwamen er grote kolonies kokmeeuwen en visdieven in het Nationale Park. Eilanden zijn essentiële elementen in een wetland en dat blijkt ook voor Marker Wadden op te gaan. In recente jaren nestelden er ongeveer 3.000 tot 4.000 paar visdieven en 15.000 paar kokmeeuwen. De visdieven verzamelen hun voedsel vooral op het IJsselmeer en Markermeer (van der Winden *et al.* 2024) en de kokmeeuwen vooral boven land. Vooral die laatste ecologische relatie is intrigerend omdat de kokmeeuwen dan zowel in stedelijk gebied als in agrarisch gebied kunnen foerageren. Zulke cultuurlandschappen hebben in de regel een hogere belasting aan gifstoffen dan natuurgebieden (Pimental & Burgess 2014) en dat kan ongunstig zijn voor vogels die daar hun eten vandaan halen. Ze broeden weliswaar op een veilig eiland, maar staan mogelijk bloot aan gifstoffen in hun voedsel. Bovendien zouden ze zulke stoffen naar een natuurgebied kunnen brengen. Dankzij luchtmetingen weten we dat er veel soorten pesticiden op het eiland aanwezig zijn, die vooral via de lucht naar het eiland komen (van Kampenhout & Nijland 2025). Vogels kunnen additioneel ook onbedoeld een transporteur zijn van gifstoffen (Blais *et al.* 2005).



## 1.2. Schadelijke stoffen zoals PFAS en zware metalen

Er zijn zeer veel schadelijke stoffen in ons milieu zoals pesticiden, PFAS (poly- en perfluoralkylstoffen) en zware metalen. PFOS (Perfluorooctaansulfonaten) zijn onderdeel van PFAS, en weliswaar inmiddels verboden, maar nog wel volop in het milieu aanwezig (Gkika *et al.* 2025). Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) omvatten een diverse groep van meer dan 10.000 synthetische chemicaliën, elk met unieke eigenschappen (Jouanneau *et al.* 2020, Burkhard & Votava 2023). PFAS zijn een groep van problematische stoffen omdat die moeilijk afbreken en kunnen ophopen in levende organismen (Burkhard & Votava 2023, Tartu *et al.* 2014). Vanwege deze eigenschappen zorgen PFAS voor aanzienlijke milieu- en gezondheidsproblemen. PFAS bestaan uit volledig gefluoreerde koolstofketens die zowel hydrofoob als lipofob zijn, waardoor deze verbindingen zich kunnen ophopen in bloed, lever en nieren (Tartu *et al.* 2014). Sinds het begin van de jaren 2000 wijzen talrijke studies op hun wijdverspreide aanwezigheid en de schadelijke effecten op zowel wilde fauna als de menselijke gezondheid, waaronder verstoring van het endocriene systeem en immunotoxiciteit (Jouanneau *et al.* 2020).

Zware metalen hebben vergelijkbare eigenschappen als PFAS. Ze zijn ook giftig, breken niet af en hopen zich op in organismen. Zo tast bijvoorbeeld Lood (Pb) het zenuwstelsel aan en kan groei en voortplanting verstoren. Het hoopt zich op in bodems en water en breekt nauwelijks af. Cadmium (Cd) is zeer giftig voor nieren en botten bij mensen en dieren. In planten kan cadmium de groei remmen. Het stapelt zich ook sterk op in organismen. Kwik (Hg) is vooral in de vorm van methylkwik extreem schadelijk voor het zenuwstelsel. Het bioaccumuleert sterk in vissen en viseters.

Samengevat: PFAS en zware metalen blijven lang in het milieu aanwezig, hopen zich op in organismen en kunnen ernstige gezondheidsschade veroorzaken bij mens, dier en ecosysteem. Dat was voor ons de reden om een pilot te starten naar de aanwezigheid van zulke stoffen in het voedsel van kokmeeuwen.

## 1.3. Doel van de pilotstudie naar gifstoffen

De afgelopen twee jaren hebben we in het kader van KIMA 2.0 prooi-resten van kokmeeuwen verzameld om de aanvoer van nutriënten naar Marker Wadden te bepalen (van Zetten *et al.* 2026). Dit bood ons de mogelijkheid om deze voedsel-



resten ook te laten analyseren op PFAS en zware metalen. Stoffen die persistent zijn en dus in het natuurlijke milieu van een vogelparadijs (zo staat Marker Wadden bekend) zouden kunnen ophopen.

Het Nationaal Park Nieuw Land gaf het Lowland Ecology Network de mogelijkheid om de reeds verzamelde voedselresten van de kokmeeuwen door een laboratorium te laten onderzoeken op PFAS en zware metalen. We verzamelden in 2025 slechts een beperkt aantal voedselmonsters bij de kokmeeuwen. Onderhavige studie is dus een pilot om te zien of er gehaltes van schadelijke stoffen voorkomen die zorgelijk zijn voor vogels en het natuurgebied.

In onderhavig rapport presenteren we de eerste resultaten van de chemische analyse en evalueren we de gehaltes ten opzichte van gepubliceerde concentraties in bodem, water en fauna. De hoofdvragen zijn:

1. Welke prooien/prooitypen voeren kokmeeuwen aan van het vaste land?
2. Voeren de kokmeeuwen PFAS en zware metalen aan naar de kolonies?
3. Zijn de gehaltes die ze aanvoeren ecologisch relevant voor de vogels en de kolonie waar ze heen gaan?
4. Is de pilot aanleiding voor extra aandacht voor het thema gifstoffen?

Deze informatie kan helpen om inzicht te krijgen in knelpunten voor vogels in het vogelparadijs Marker Wadden. We komen zo ook meer te weten over de verspreiding van gifstoffen in Nederland en over de belasting van bodem en water.

#### 1.4. Dankwoord

De coördinatiegroep van Nationaal Park Nieuw Land gaf Lowland Ecology Network de gelegenheid om reeds verzamelde monsters te laten analyseren op gifstoffen. Speciale dank gaat uit naar IJsbrand Zwart, (Staatsbosbeheer), Quirin Smeele, Daan Vreugdenhil (beide Natuurmonumenten). Rijkswaterstaat en Deltares financierden en coördineerden het KIMA 2.0 programma, wat het mogelijk maakte de monsters te verzamelen. Dank daarvoor aan Anne Ton, Ruurd Noordhuis en Joep de Leeuw. Natuurmonumenten gaf toestemming voor het onderzoek aan kokmeeuwen op Marker Wadden en via het Vogeltrekstation kregen we een machtiging voor het ringen van de kuikens. Michiel Kraak (UvA) adviseerde ons over de gehaltes van PFAS en zware metalen in organismen en milieu. Michiel Kraak (UvA) las het concept kritisch door en gaf zeer waardevolle aanvullingen.



## 2. Studiegebied en methoden

---

### 2.1. Studiegebied en verspreiding van de kokmeeuwen

In de loop van 2018-2021 is Marker Wadden in het Markermeer aangelegd. De archipel ligt op ongeveer 7 km van de kust van Flevoland, 12 km van de kust van Noord-Holland en 3 km van de Houtribdijk. De archipel bestaat uit ringdijken waarbinnen slib is opgespoten en ertussen liggen geulen. In het nabije Markermeer liggen enkele diepe putten. Direct na aanleg waren de compartimenten slikkig en onbegroeid en in de loop der jaren raakten ze begroeid met moerasandijvie, ruigtekruiden, lisdodde, riet en wilgenbos. Het ondiepe water raakte steeds meer begroeid met waterplanten. Anno 2025 was er nog steeds zowel variatie aan prille biotopen zoals zandige kale bodems, slikvelden en moerasandijvie, maar ook verder ontwikkelde moerasvegetaties en moerasbos. Dit biedt voedsel- en rustplekken voor vogels. De additionele waarde van de archipel is de positie ver van de kust waardoor grondpredatoren nog ontbreken. Hierdoor zijn er grote kolonies van visdieven, kok- en zwartkopmeeuwen (o.a. Dreef & van der Winden 2023).

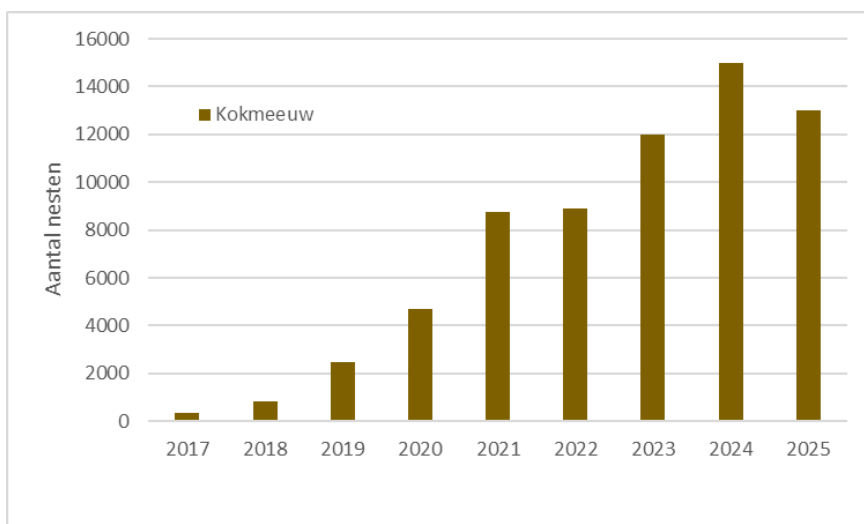
#### **Kokmeeuwen**

Kokmeeuwen zijn vanaf 2017 op de archipel gaan broeden en zeer snel in aantal toegenomen tot een omvang van ongeveer 15.000 paren (figuur 2.1). Inmiddels huisvest Marker Wadden de grootste kokmeeuwpopulatie van Nederland. Ze broeden niet in één grote kolonie, maar verspreid over de archipel in grotere en kleinere subkolonies. Ze nestelen op droge zandige en kleiige bodems, maar een omvangrijk deel van de meeuwen heeft ook nesten in moerasvegetaties in ondiep water. Het broedsucces is goed tot zeer goed dus ze brengen veel jongen groot (van Zetten *et al.* 2026). Kokmeeuwen zijn uitsluitend in grote aantallen in de broedperiode aanwezig. Ze komen in april naar de kolonies en vertrekken eind juni-begin juli weer.

We hebben de afgelopen jaren kwalitatief onderzocht waar de kokmeeuwen van Marker Wadden hun voedsel halen. We keken vanaf de veerboot en de Houtribdijk naar de vliegrichtingen. Ze vlogen naar Flevoland, de Houtribdijk, het IJsselmeer en naar Noord-Holland om te gaan eten. Ze verzamelen daar hun voedsel en brengen dat vervolgens naar de kuikens in de kolonies. Kokmeeuwen zijn alleseters en in de periode april-juni eten de kokmeeuwen van Marker Wadden waarschijnlijk vooral ongewervelden op akkers en graslanden. We zagen ze op gunstige momenten dansmuggen vangen boven het water en de dijken. Op dagen



dat de mieren gaan zwermen, foerageerden de meeuwen met duizenden boven dijken en stedelijk gebied. Wanneer mogelijk pakken ze dode of halfdode vissen achter vissersboten. Een onbekend aandeel van de kokmeeuwen van de Marker Waddenkolonie gaat naar stedelijk gebied om menselijke voedselresten te eten. Zo schooien tientallen kokmeeuwen bij de friet- en vistenten in de havens bij Lelystad.



**Figuur 2.1.** Ontwikkeling van de broedpopulatie van kokmeeuwen op Marker Wadden sinds de oplevering van de eerste compartimenten in 2017. Bron Lowland Ecology Network/Natuurmonumenten.



*Op Marker Wadden broeden ongeveer 15.000 paar kokmeeuwen. Ertussen broeden ook honderden zwartkopmeeuwen die nog verder dan kokmeeuwen, van hun kolonies, voedsel kunnen verzamelen. Foto M. Hotting.*



## 2.2. Dieet van de kokmeeuwen

Sinds 2024 volgen we de groei en overleving van jonge kokmeeuwen van de kolonies op Marker Wadden. Daarvoor plaatsten we enclosures, waar we de nesten genummerd hebben. We merkten de kuikens met metalen ringen en maten en wogen ze daarna wekelijks. Veel kokmeeuwkuikens produceren braaksel en feces tijdens het meten en wegen. Deze braaksel- en fecesmonsters geven informatie over prooisamenstelling.

In 2024 verzamelden we, tussen 25 mei en 22 juni, 14 braakselmonsters van jonge kokmeeuwen. In 2025 verzamelden we, tussen 24 mei en 4 juli, 8 braaksel- en 7 fecesmonsters van 8 jonge kokmeeuwen. Elk braaksel werd uitgespreid op een tray en gefotografeerd. Voedselitems determineerden we op klasse-, orde- of familie-niveau. Sommige prooien determineerden we tot op soortniveau, vaak met behulp van iNaturalist en het Nederlandse Soortenregister 2025 (iNaturalist 2025, NSR 2025). Het relatieve aandeel van de voedselgroepen werd geschat aan de hand van de foto's. De monsters van 2025 werden opgeslagen en gebruikt voor chemische analyses (zie paragraaf 2.3).



*Rondom vijf of zes nesten plaatsen we een scherm, zodat de kuikens niet weg kunnen en we ze wekelijks kunnen meten, wegen en voedselresten verzamelen.*



### 2.3. Braaksel- en poepmonsters van de kuikens

In 2025 verzamelden we van 7 individuele kuikens zowel een braaksel- als fecesmonster voor chemische analyses. We schepten maximaal 50 gram materiaal met een PFAS-vrije houten schepje direct in PFAS-vrije 15 mL buis. Uit de fecesmonsters werd een klein deelmonster van <1 gram verzameld in a 2 mL buis met 96% EtOH, voor toekomstige dieetanalyses met eDNA. De buizen werden binnen twee uur na verzamelen ingevroren.

De gehalten van PFAS en zware metalen in het braaksel en de feces zijn bepaald, door Normec Groen Agro Control in Delfgauw. Voor dit laboratorium wogen de individuele monsters te weinig om te kunnen analyseren. Daarom hebben we de monsters samengevoegd tot drie monsters. “Monster 1” bestond uit drie braakselmonsters met hoofdzakelijk regenwormen; “Monster 2” uit de overige vier braakselmonsters met hoofdzakelijk insecten. “Monster 3&4” bestond uit alle bijbehorende poepmonsters. Van dit laatste monster zijn uitsluitend de gehalten zware metalen bepaald. De waarden zijn door Normec uitgedrukt per kg natgewicht.



*Jonge kokmeeuwen braken soms hun laatst gekregen voedsel uit als we ze ringen. Die resten hebben we verzameld voor de studie aan gifstoffen. Op de foto een braaksel met vooral regenwormen.*

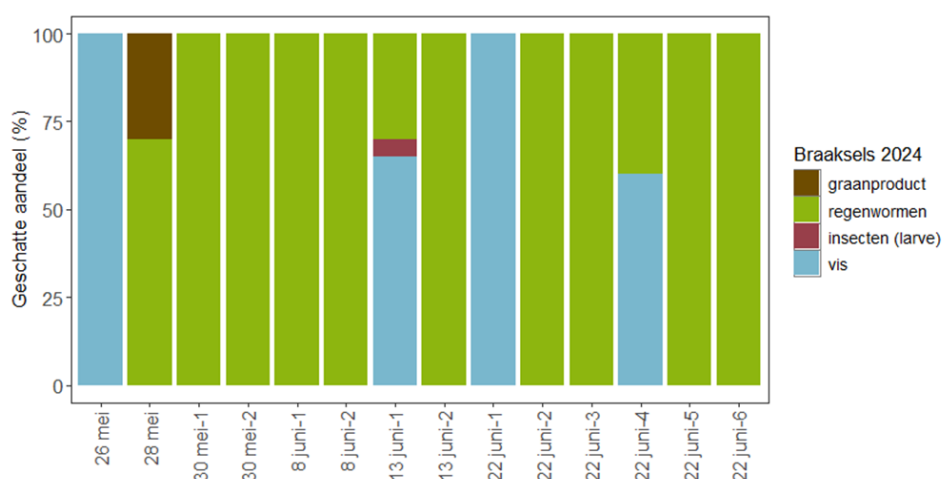


## 3. Resultaten

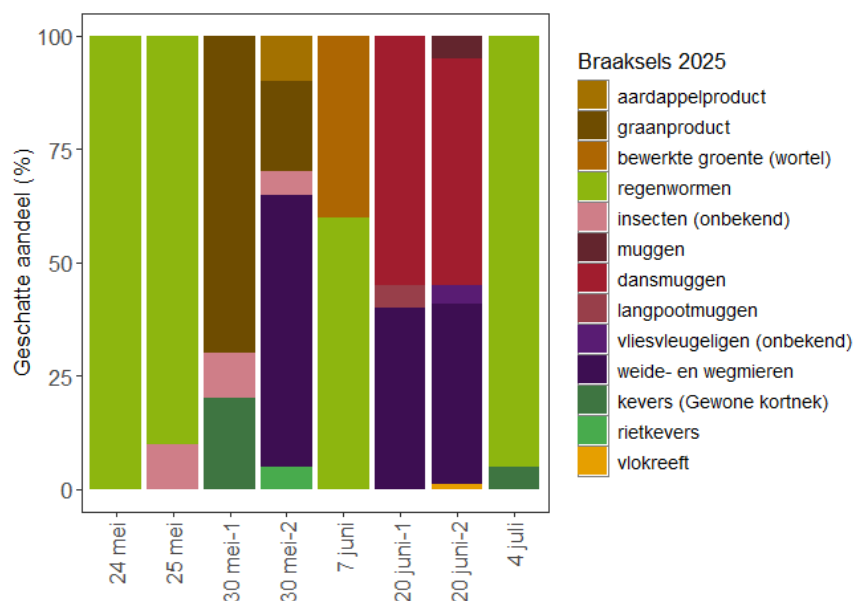
### 3.1. Dieet van de kokmeeuwenkuikens

In 2024 bevatten de braaksels hoofdzakelijk regenwormen (klasse: Clitellata), vissen (klasse: Actinopterygii), en enkele insecten (klasse: Insecta) (figuur 3.1). In 2025 bestond het dierlijke voedsel hoofdzakelijk uit regenwormen en insecten (figuur 3.2). In 2025 troffen we in de braaksels geen vissen aan, maar wel meer plantaardig afval dan in 2024. Dit afval bestond uit onherkenbare aardappel- en graanproducten en peen.

In 2025 bevatten de braaksels een hogere diversiteit aan prooidieren (figuur 3.2). De regenwormen, die konden worden geïdentificeerd, waren van de familie Lumbricidae, waaronder de genera *Aporrectodea* en *Eiseniella*. De insecten waren muggen, mieren en kevers. De muggen (orde: Diptera) waren vooral dansmuggen (familie: Chironomidae) maar ook langpootmuggen (familie: Tipulidae) en een aandeel onbekende muggensoorten. We zagen deels onbekende vliesvleugeligen (orde: Hymenoptera), maar determineerden veel mieren (familie: Formicidae) die leken op het genus *Lasius*. De kevers (orde: Coleoptera) waren rietkevers (*Donaciinae*) en de gewone kortnek (*Nebria brevicollis*). Deze laatste soort is in de IJsselmeerpolders meermalen met duizenden in graslanden en wegbermen aangetroffen (NSR 2025). Eén monster bevatte een vlokreeft (orde: Amphipoda).



**Figuur 3.1.** Het dieet van jonge kokmeeuwen op Marker Wadden in 2024, uitgedrukt als het geschatte aandeel (%) in gefotografeerde braaksels.



**Figuur 3.2.** Het dieet van jonge kokmeeuwen op Marker Wadden in 2025, uitgedrukt als het geschatte aandeel (%) in gefotografeerde braaksels.

### 3.2. Gehaltes PFAS en zware metalen in braaksels en poep

Monster 1 (braaksels met wormen) bevatte voornamelijk metalen (tabel 3.1), en weinig PFAS (alleen PFOS) (tabel 3.2). Monster 2 (braaksels met insecten) bevatte minder metalen, en meer en diverse PFAS. Vooral de waarden voor kwik en nikkel waren in monster 2 erg laag. Sample 3&4 (poep) leek op monster 1 voor de metalen (tabel 3.1). PFOS waren de meest voorkomende stoffen van de PFAS-familie.





**Tabel 3.1.** Gehaltes zware metalen in monsters van kokmeeuwenvoedsel (braaksels kuikens en poep) mei- juni 2025 op Marker Wadden. Eenheden per kg natgewicht.

Metaal	1- braaksel regenwormen mg/kg	2- braaksel insecten mg/kg	3&4- poep insect/worm mg/kg	Opmerkingen
Arseen (As)	2,3	0,045	1,8	meeste in wormen
Cadmium (Cd)	1,3	0,17	0,66	meeste in wormen
Kwik (Hg)	0,12	<0,01	0,05	meeste in wormen
Lood (Pb)	2,6	0,054	2,4	meeste in wormen
Nikkel (Ni)	1,6	<0,05	1,6	meeste in wormen

**Tabel 3.2.** Gehaltes PFAS in monsters van kokmeeuwenvoedsel (braaksels kuikens) mei- juni 2025 op Marker Wadden. Eenheden per kg natgewicht. Gehaltes alleen bepaald in braaksels.

Pfas-typen	1- braaksel regenworm $\mu\text{g} / \text{kg}$	2- braaksel insecten $\mu\text{g} / \text{kg}$	Opmerkingen
Perfluor-1-octaansulfonzuur (PFOS)	0,19	2,3	meeste in insecten
Perfluor-n-octaanzuur (PFOA)	<0,1	0,1	
Perfluor-n-decaanzuur (PFDA)	<0,1	0,18	meeste in insecten
22 andere PFAS-verbindingen	<0,1	<0,01	weinig



## 4. Wat is de ecologische relevantie?

---

### 4.1. Voedsel uit stad en platteland

De hoeveelheid regenwormen en de verscheidenheid aan mieren en kevers in de braaksels, bevestigt dat de kokmeeuwen het voedsel voor hun kuikens vooral op het vasteland vonden in die twee jaren. Op Marker Wadden zijn deze prooien schaars en we zien de meeuwen ook nooit prooien uit de bodem halen. Ook de stukken peen en aardappelen verzamelen ze zeer waarschijnlijk op het vasteland. De grote variatie in gehalten tussen de voedselbronnen, geeft aan dat de kokmeeuwen metalen en PFAS naar Marker Wadden transporteren uit het omliggend landschap, want als ze het lokaal zouden verzamelen zouden de gehalten onderling tussen prooigroepen en monsters immers min of meer hetzelfde zijn.

### 4.2. Zit er veel PFAS in het meeuwenvoedsel?

We kunnen de gehalten die in de kok-meeuwprooien aanwezig zijn, vergelijken met gehalten in fauna, bodem en flora uit andere studies. We zien opvallende overeenkomsten (tabel 4.1). De gehalten van PFAS in het meeuwenvoedsel van Marker Wadden zijn hoger dan in de Nederlandse bodem en komen aardig overeen met gemiddelde gehalten die in regenwormen of andere ongewervelden aanwezig zijn (tabel 4.1). De gehalten zijn gemiddeld lager dan in vissen of zoogdieren. Dat patroon past dus naadloos in het beeld dat PFAS-concentraties toenemen naarmate ze hoger in het voedselweb komen (Castaño Ortiz 2018, Haarr *et al.* 2018). En bij viseters, zoals de grote zaagbek zijn de gehalten 2,5 keer zo hoog als bij wilde eenden (Sinclair *et al.* 2006). Ook vond men dat de gehalten in eieren van hobbykippen hoog zijn en vermoedelijk komt dat weer omdat de kippen regenwormen en insecten eten die weer veel hogere gehalten bevatten dan de bodem waarin ze leven (Arcadis 2024). Overigens zijn de gehalten in eieren vaak hoger dan in het vrouwtje dat een ei legt.

De verschillen in PFAS-gehalten in voedselmonsters op Marker Wadden hangen erg af van het menu dat de kokmeeuwen per seizoen verzamelen. Zo aten ze in 2024 vooral regenwormen en in 2025 vooral insecten, wat invloed kan hebben op de aanvoer van PFAS. De PFAS-gehalten kunnen namelijk verschillen tussen prooidieren



en de herkomstlocaties. Dit kan vervolgens weer invloed hebben op de PFAS-bioaccumulatie in de kokmeeuwen en op de PFAS-doorgifte door de voedselketen.

**Tabel 4.1.** PFAS in kokmeeuwvoedsel ten opzichte van achtergrondwaarden en normeringen en ten opzichte van dierlijk en plantaardige weefsels. Getallen in rood zouden biota-normen kunnen overschrijden. EQS = Environmental Quality Standard vastgesteld door de European Environmental Agency (EEA). \*0,077 µg/kg natgewicht is voorstel 2025; norm 2024 was 9,1 µg/kg natgewicht. Eenheden per kg natgewicht (in zwart); ds = eenheden uitgedrukt in drooggewicht (blauw).

Stof	Maximum gehalte meeuwen	Achtergrond/ biota-waarden	Bron	Normen	Bron
Eenheden PFAS:	µg/kg ng	µg/kg natgewicht of µg/kg ds		µg/kg natgewicht	
Perfluor-1-octaansulfonzuur (PFOS)	2,3	2,3 - 29 (regenwormen)	Arcadis 2024	0,077 - 9,1 (EQS prooidieren)*	EEA 2024
		2,0 - 7,7 (twee-kleppigen) >1358 (zeehonden) Westerschelde	van den Heuvel-Greve <i>et al.</i> 2026		
		Platvissen (Bot) 42,0	Jonker 2024		
		Ongewervelden 1,2 - 8,32	Groffen <i>et al.</i> 2022		
		1,4 (bodem)	RIVM 2020	0,65 ng/L (water)	European Commission. (2013).
				Indicatief niveau ernstige verontreiniging PFOS: 0,20 µg/L PFOA: 0,39 µg/L	RIVM rapport 2020-0085
				EQS voor fauna: 33 ng/g nat gewicht (=33 µg/kg)	EU Kaderrichtlijn Water/(2008/105/EG, 2013/39/EU
Perfluor-n-octaanzuur (PFOA)	0,1	1,2 - 52 (regenwormen)	Arcadis 2024	Niet relevant	
		1,9 (bodem)	RIVM 2020	Niet relevant	
Perfluor-n-decaanzuur (PFDA)	0,18	<0,8 - 7,7 (regenwormen)	Arcadis 2024	Niet relevant	



22 andere PFAS verbindingen	BDL (meestal <0,1)	<0,8 (regenwormen)	Arcadis 2024	Niet relevant	
-----------------------------	--------------------	--------------------	--------------	---------------	--

### 4.3. Zitten er veel zware metalen in kokmeeuwenvoedsel?

De gehalten aan zware metalen zijn enorm gevarieerd in de prooien van kokmeeuwen. Ook aan deze stoffen zijn vele studies gedaan naar gehalten in bodem, water en dierlijk weefsel (tabel 4.2). De gehalten lood, cadmium en arseen zijn relatief hoog in het meeuwenvoedsel. In de Maarsseveense plassen vonden Timmermans *et al.* (1989) in verschillende soorten macrofauna (kreeftachtigen, slakken en mossels) vergelijkbare waarden cadmium en lood (tabel 4.2). Ook metalen kunnen ophopen (afhankelijk wat de meeuwen opnemen of uitscheiden via feces). Het dieet kan ook een rol spelen want braaksels met wormen hadden veel hogere gehalten dan die met insecten.

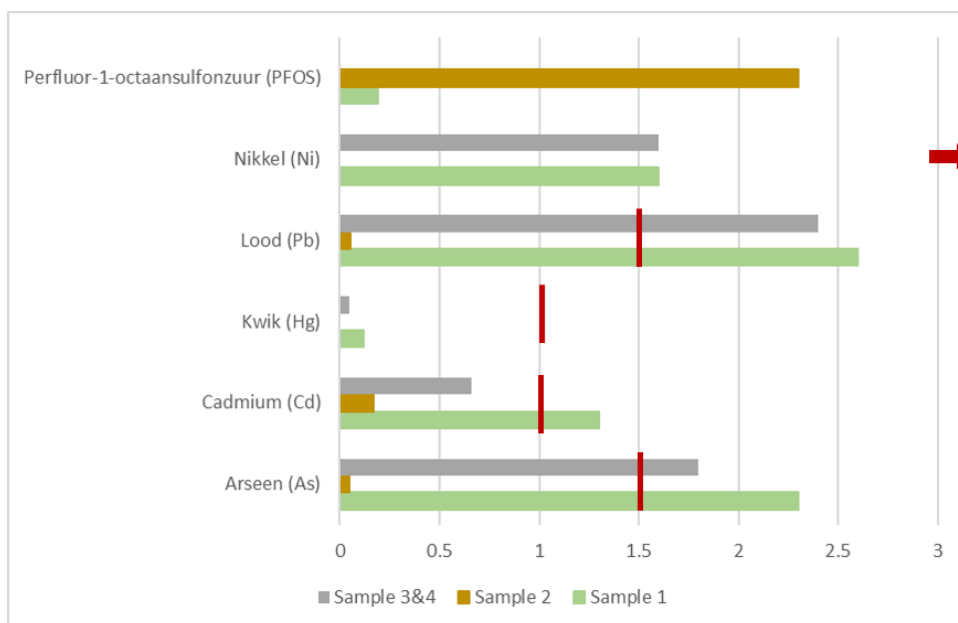
**Tabel 4.2.** Zware metalen in kokmeeuwenvoedsel ten opzichte van achtergrondwaarden en ten opzichte van dierlijk en plantaardige weefsels. Getallen in rood overschrijden normen voor biota. Eenheden per kg natgewicht (in zwart); ds = eenheden uitgedrukt in drooggewicht (blauw).

Stof	Maximum gehalte	Achtergrond/biota-waarden	Bron	Normen	Bron
Eenheden zware metalen :	mg/kg natgewicht	mg/g dw		mg/kg natgewicht	
Arseen (As)	2,3	1 - 40 (bodem)	Timmermans et al. 1989	max 0,005 (koppotigen) tot 1,5 (langoest)	EUR-Lex 2023
Cadmium (Cd)	1,3	0,36 - 0,73 (macrofauna)	Timmermans et al. 1989	max 0,05 (vis) tot 1,0 (schelpdieren)	EUR-Lex 2023
Kwik (Hg)	0,12			max 0,3 tot 1,0 (vis en schelpdieren)	EUR-Lex 2023
Lood (Pb)	2,6	0,13 - 3,42 (macrofauna)	Timmermans et al. 1989	max 0,3 (vis) tot 1,5 (schelpdieren)	EUR-Lex 2023
Nikkel (Ni)	1,6			30 (zeewier)	EUR-Lex 2023



#### 4.4. Normering PFAS en metalen in ons milieu

PFAS en zware metalen komen nog veel voor in natuurlijke systemen. De concentraties van sommige stoffen dalen, anderen nemen toe doordat men nieuwe stoffen ontwikkelt. De maatschappij normeert steeds meer vanwege schadelijke effecten (tabel 4.1 en 4.2). Die normeringen zijn ook aan verandering onderhevig. Van diverse stoffen kunnen de gehalten in kokmeeuwenvoedsel zulke normen voor biota overschrijden (figuur 4.1). Dat geldt voor waarschijnlijk voor **cadmium, lood en arseen en mogelijk voor PFOS** (afhankelijk van de normering, zie tabel 4.1). De waarden voor cadmium, lood en arseen overschreden de EU norm voor biota in alle monsters, behalve lood in monster 2 (figuur 3.3). Ook de gemeten PFOS-waarden overschreden de voorgestelde (2025) EU-norm voor biota van 0,077 µg/kg natgewicht (figuur 4.1). Het gebruik van PFOS is inmiddels verboden, maar het is nog lang niet uit het milieu verdwenen (Gkika *et al.* 2025).



**Figuur 4.1.** Gehaltes aan zwarte metalen (mg/kg natgewicht) en PFAS (µg/kg natgewicht) gemeten in de braaksel- en faecesmonsters van kokmeeuwkuikens verzameld op Marker Wadden in 2025. **Monster 1** zijn alle braaksels met hoofdzakelijk regenwormen (zie figuur 3.2). **Monster 2** zijn braaksels met hoofdzakelijk insecten. **Monster 3&4** zijn de samengevoegde faeces (wormen en insecten). In monster 3&4 is geen PFOS bepaald. De **rode verticale lijnen** geven de normen (per kg natgewicht) in aan voor schelpdieren (zware metalen). Voor PFOS is geen norm opgenomen (zie tabel 4.1). De pijl geeft aan dat de norm buiten de schaal ligt.



#### 4.5. Impact toevoer van gifstoffen door kokmeeuwen

Onze resultaten geven aanleiding genoeg om nadelige effecten van PFAS en zware metalen te verwachten. Er zijn drie verschillende effecten op het natuurlijke systeem van Marker Wadden/Nationaal Park Nieuw Land mogelijk:

1. Belasting natuurgebieden: door de aanvoer van gifstoffen belasten kokmeeuwen onbedoeld het milieu van Marker Wadden, waar geen gifstoffen opzettelijk worden geïntroduceerd.
2. Belasting kokmeeuwen en hun kuikens: de meeuwen staan zelf bloot aan de gifstoffen en dat kan invloed hebben op de volwassen meeuwen, maar ook op de reproductie via eieren en kuikens.
3. Belasting overige vogelsoorten en fauna op Marker Wadden. Via depositie van de gifstoffen kunnen andere vogels en andere diersoorten dat weer opnemen en daar zelf direct of indirect last van krijgen.

Deze drie mogelijke effecten hebben we niet onderzocht, maar dankzij publicaties kunnen we er wel iets over zeggen.

##### **Belasting natuurgebied**

Met de huidige informatie is het niet mogelijk te bepalen hoeveel, van de door kokmeeuwen aangevoerde zware metalen en PFAS, daadwerkelijk in het ecosysteem van de Marker Wadden terechtkomen. Daarvoor moeten we meer weten over voederfrequenties en over het voedergedrag van de meeuwen. Zo zal een aanzienlijk deel van de gifstoffen worden opgenomen en bioaccumuleren in kuikens en oudervogels. PFAS wordt bijvoorbeeld ook uitgescheiden via uitwerpselen en kan vrijkomen door verlies van veren (Szabo *et al.* 2022, Wells *et al.* 2024) en via eieren (Dauwe *et al.* 2007). Daarnaast kunnen zowel jongen als oudervogels op de Marker Wadden sterven of als prooi dienen voor andere dieren, waardoor de gifstoffen verder in het ecosysteem worden verspreid.

Kokmeeuwen leggen het voedsel op de grond als ze de kuikens voeren (Brandl & Nelsen 1988). Hierdoor kan een deel van het voedsel, en dus PFAS, direct in het gebied achterblijven. PFAS verspreidt zich bovendien via lucht, water en bodem (Brusseau *et al.* 2018, Gkika *et al.* 2025). Dit betekent dat ook andere soorten op de Marker Wadden in aanraking komen met deze stoffen, waardoor PFAS zich verder ophoopt en verspreidt in de voedselketen. Het is aannemelijk dat de belasting veruit het hoogst is op de locaties waar de meeuwen hun kolonies hebben. Daar zijn immers de meeste meeuwen aanwezig en zullen de meeste prooiresten en dode



meeuwen terecht komen. De aanwezigheid van PFAS zal echter niet beperkt blijven tot de locaties waar kokmeeuwen zich ophouden, maar zich verspreiden door het gehele ecosysteem. We weten niet wat de PFAS-waarden zijn in de vers aangevoerde bodems of water van Marker Wadden en hoeveel de meeuwen daaraan toevoegen.

### **Invloed van gifstoffen op de meeuwen en andere fauna**

Hoewel de kwikgehalten laag waren is bekend dat accumulatie van kwik tot groeistoornissen en lage kuikenoverleving kan leiden (Ackerman *et al.* 2024). De PFOS-gehalten in het voedsel komen overeen met hoge gehalten in fauna elders in Nederland. We weten niet hoe hoog de gehalten in de meeuwen, hun kuikens of andere vogelsoorten op Marker Wadden zijn. Wel kunnen de gehalten die we in het voedsel van de kokmeeuwen vonden aanleiding zijn voor effecten op de conditie of reproductie van meeuwen. Om een idee te geven van mogelijk effecten geven we enkele voorbeelden uit de literatuur.

Voor ontwikkelende eieren en kuikens van eenden en kwartels bijvoorbeeld, kan een PFOS-inname vanaf 55-150 mg per kg lichaamsgewicht per dag tot sterfte leiden (Newsted *et al.* 2006, Bursian *et al.* 2021). Bij boomzwaluwen blijkt de kans op uitkomst van eieren significant af te nemen naarmate de concentratie PFOS in eieren toeneemt (Custer *et al.* 2012, Custer *et al.* 2014). Rond het niveau van 150 ng/g natgewicht PFOS mislukten steeds meer eieren.

In het bloed van meeuwen varieerden de PFOS-concentraties van 24,3 ng/g tot 78,3 ng/g natgewicht (Sebastiano *et al.* 2021). Dit zorgde voor verstoring van het schildklierhormoon en had negatieve effecten op de lichaamsconditie van de meeuwen. Het is aannemelijk dat de daadwerkelijke waarden in de kokmeeuwen van Marker Wadden hoger zullen liggen dan hun voedsel (tabel 4.1) en dat dit rond dezelfde ordegrrootte zou kunnen zijn als gevonden door Sebastiano *et al.* (2021). Negatieve effecten van de door ons gevonden PFOS-waarden op de meeuwen en hun reproductie zijn dus mogelijk.

## **4.6. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Het is overduidelijk dat de gehalten van (het verboden) PFOS en sommige zware metalen zo hoog zijn, dat een vervolgonderzoek zinvol is. Hoewel het handelingsperspectief in de natuurgebieden zelf beperkt is, kan meer kennis over de invloed van gifstoffen wel meer duidelijkheid geven over de belasting die vogels in



natuurgebieden ervaren. Dat geldt voor Marker Wadden, maar waarschijnlijk ook voor andere gebieden met kolonievogels die hun voedsel van omliggend gebied halen. Hebben de gifstoffen al effect op reproductie of conditie van vogels in reservaten die ver van gifbronnen verwijderd zijn? Het broedsucces van kokmeeuwen is op het oog goed, maar zou het beter zijn zonder de gifstoffen? Er liggen elk jaar veel dode kuiken in de kolonies. Heeft dat iets te maken met de gifbelasting? En we hebben nu alleen gekeken naar PFAS en zware metalen. Waarschijnlijk transporteren de meeuwen ook andere gifstoffen naar Marker Wadden.

We bevelen aan om de komende jaren meer informatie te verzamelen over gehalten aan gifstoffen op Marker Wadden. Daarvoor is het wenselijke extra monsters te verzamelen om meer spreiding over seizoenen en prooitypen te krijgen. Ook moeten we meer weten over de ecologie van kokmeeuwen. Denk daarbij aan informatie over ligging van foerageergebieden, het aantal voedingen per dag en de aangevoerde biomassa. Voor de terreinbeheerder zou het ook waardevol zijn om de gehalten gifstoffen in bodem en lucht te kennen. Is er in de kolonies een grotere belasting? En wat zijn de gehalten gifstoffen in kuikens en eieren? Ook bij andere soorten met een relatief grote actieradius zou het waardevol zijn extra informatie over de belasting met gifstoffen te verzamelen.





## 5. Samenvatting en conclusies

---

Op Marker Wadden broeden meer dan 15.000 paar kokmeeuwen. Dat is de grootste kolonie van Nederland. De meeuwen nestelen op een veilige archipel in het Markermeer, maar halen hun voedsel vooral uit omliggende agrarische gebieden en stedelijk gebied. Zo verbinden kokmeeuwen door hun voedselvluchten Marker Wadden en Nationaal Park Nieuw Land met de omliggende agrarische en stedelijke gebieden. Dit kan betekenen dat kokmeeuwen gifstoffen uit het cultuurlandschap naar natuurgebieden kunnen brengen. We onderzochten het type voedsel dat de meeuwen aan hun kuikens voeren en bepaalden gehalten aan Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) en zware metalen in deze prooien en in de uitwerpselen van kuikens. We vonden vrij hoge gehalten aan PFOS, cadmium, lood en arseen in de voedselresten en poep van de meeuwen.

De belangrijkste conclusies uit onze pilotstudie zijn:

- Kokmeeuwen hebben een gevarieerd dieet van insecten, wormen en menselijk afval. Af en toe eten ze vissen. Het dieet verschilt ook tussen jaren, maar komt overwegend vanaf stedelijk gebied en platteland.
- De gehalten van het (inmiddels verboden) PFOS in kokmeeuwendoesel zijn, in de drie monsters die we bekeken, vergelijkbaar met gehalten elders in Nederland in regenwormen en insecten.
- De gehalten van **lood, cadmium en arseen** overschrijden de norm voor organismen in die drie monsters (biota). Voor PFOS liggen de waarden ook dicht bij de norm of erboven, afhankelijk van de keuze voor de norm.
- De gehalten aan PFOS en enkele zware metalen in het voedsel zijn zorgelijk omdat door ophoping de gehalten bij de meeuwen hoog zouden kunnen zijn en invloed zouden kunnen hebben op conditie of reproductie.
- De gehalten aan PFOS en zware metalen zijn ook dermate hoog dat een dagelijkse aanvoer door 30.000 kokmeeuwen gedurende twee tot drie maanden een impact op de kwaliteit van een natuurgebied kan hebben, waar niet opzettelijk schadelijke stoffen worden gespoten of verspreid. De meeuwen (en andere vogels?) voeren additioneel gifstoffen aan die ook via waterstromen en lucht naar Marker Wadden kunnen komen.
- De pilot geeft aanleiding om meer uit te zoeken over de belasting, ook bij viseters en voor andere stoffen, om beter te snappen wat zulke stoffen betekenen voor relatief ongestoorde natuurgebieden in Nederland.



## 6. Literatuur

---

- Ackerman J.T., S.H. Peterson, M.P. Herzog & J.L. Yee 2024. Methylmercury Effects on Birds: A Review, Meta-Analysis, and Development of Toxicity Reference Values for Injury Assessment Based on Tissue Residues and Diet. *Environmental Toxicology and Chemistry* 43(6): 1195-1241.
- Arcadis 2024. Rapportage onderzoek PFAS in eieren en mogelijke bronnen in de regio Zuid-Holland-Zuid en gemeente Altena. [https://www.ozhz.nl/wp-content/uploads/Rapportage-PFAS-in-eieren-eindrapport-1209-met-samenvattingen\\_def.pdf](https://www.ozhz.nl/wp-content/uploads/Rapportage-PFAS-in-eieren-eindrapport-1209-met-samenvattingen_def.pdf). Geraadpleegd op 24 december 2025.
- Beemster N, M. Sikkema, S. Attema & O. Stoker 2022. Broedvogels in de moeraszone van de Oostvaardersplassen in 2021. A&W-rapport 3279. Altenburg & Wymenga, Veenwouden.
- Blais J.M., L.E. Kimpe, D. McMahon, B.E. Keatley, M.L. Mallory, M.S. Douglas & J.P. Smol 2005. Arctic seabirds transport marine-derived contaminants. *Science* 15: 309 (5733): 445. doi: 10.1126/science.1112658.
- Burkhard L.P. & L.K. Votava 2023. Review of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) bioaccumulation in earthworms. *Environmental Advances* 11: 100335. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100335>.
- Bursian S.J., J.E. Link, M. McCarty & M.F. Simcik 2021. The Subacute Toxicity of Perfluorooctane Sulfonate and/or Perfluorooctanoic Acid and Legacy Aqueous Film-Forming Foams to Japanese Quail (*Coturnix japonica*) Chicks. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40(3): 695-710. <https://doi.org/10.1002/etc.4684>.
- Castaño Ortiz J.M. 2018. Levels of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Northern Goshawk (*Accipiter gentilis*) nestlings from Norway and Spain and potential effect on innate immune system signalling pathways. MSc thesis, NTNU. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2503837>
- Custer C.M., T.W. Custer, J.A. Dummer, M.J. Etterson, W.E. Thogmartin, Q. Wu & K. Kannan 2012. Exposure and effects of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on tree swallows nesting in Minnesota and Wisconsin, USA. *Environmental Science & Technology* 46(20): 12070-12076. <https://doi.org/10.1021/es3024419>.
- Custer C.M., T.W. Custer, P.M. Dummer, M.A. Etterson, W.E. Thogmartin, Q. Wu, K. Kannan, A. Trowbridge & P.C. McKann 2014. Exposure and Effects of Perfluoroalkyl Substances in Tree Swallows Nesting in Minnesota and Wisconsin, USA. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 66(1): 120-138. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9934-0>



- Dauwe T., K. Van de Vijver, W. De Coen & M. Eens 2007. PFOS levels in the blood and liver of a small insectivorous songbird near a fluorochemical plant. *Environment International* 33: 357-361.
- Dreef C. & J. van der Winden 2023. Broedvogels en pleisteraars op Marker Wadden 2021-2022. Report 2023-01, Camilla Dreef, Amsterdam.
- van Eerden M.R., S.H.M van, Rijn, M. Roos 2005. Ecologie en ruimte: gebruik door vogels en mensen in de SBZ's IJmeer, Markermeer en IJsselmeer. RIZA rapport, 2005.014, RWS RIZA, Delta Project Management, RWS RIZA. 129 p.
- European Environment Agency (EEA) 2024. PFAS in European seas (Signal). <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/pfas-in-eu-seas>
- EUR-Lex 2023. Verordening (EU) 2023/915 van de Commissie van 25 april 2023 betreffende maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 1881/2006. Geraadpleegd op 24 december 2025.
- Gkika I.S., A. Vonk, T.L. ter Laak, C.A.M. van Gestel, J. Dijkstra, T. Groffen, L. Bervoets & M.H.S. Kraak 2025. Strong bioaccumulation of a wide variety of PFAS in a contaminated terrestrial and aquatic ecosystem. *Environment International* 202, 109629.
- Groffen T., E. Prinsen, O.-A. Devos Stoffels, L. Maas, P. Vincke, R. Lasters, M. Eens & L. Bervoets 2023. PFAS accumulation in several terrestrial plant and invertebrate species reveals species-specific differences. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 23820-23835
- Haarr A., K. Hylland, N. Eckbo, G.W. Gabrielsen, D. Herzke, J.O. Bustnes, P. Blévin, O. Chastel, B. Moe, S.A. Hanssen, K. Sagerup & K. Borgå 2018. DNA damage in Arctic seabirds: Baseline, sensitivity to a genotoxic stressor, and association with organohalogen contaminants. *Environmental Toxicology and Chemistry* 37: 1084-1091.
- iNaturalist 2025. <https://www.inaturalist.org>. Geraadpleegd op 20 november 2025.
- Jonker M.T.O. 2024. Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water (2008–2022) and Fish (2015–2022) in The Netherlands: Spatiotemporal Trends, Fingerprints, Mass Discharges, Sources, and Bioaccumulation Factors. *Environmental Toxicology and Chemistry* 43(5): 965–975.
- Jouanneau W., B.-J. Bårdsen, D. Herzke, T.V. Johnsen, I. Eulaers & J.O. Bustnes 2020. Spatiotemporal Analysis of Perfluoroalkyl Substances in White-Tailed Eagle (*Haliaeetus albicilla*) Nestlings from Northern Norway—A Ten-Year Study. *Environmental Science & Technology* 54: 5011-5020.
- Kuypers H-E. & P. Cornelissen 2024. Jaarrapportage Oostvaardersplassen 2023, Staatsbosbeheer, eigen beheer.



- Nederlandse Soortenregister 2025. Gewone kortnek *Nebria brevicollis*, <https://www.nederlandsesoorten.nl/>. Geraadpleegd op 24 december 2025
- Newsted J.L., S.A. Beach, S.P. Gallagher & J.P. Giesy 2006. Pharmacokinetics and Acute Lethality of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) to Juvenile Mallard and Northern Bobwhite. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50: 411-420.
- Pimentel D. & M. Burgess 2014. Environmental and Economic Benefits of Reducing Pesticide Use. In: Pimentel D. & R. Peshin (eds). *Integrated Pest Management*. Springer, Dordrecht.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) 2020. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. RIVM briefrapport: DOI 10.21945/RIVM-2020-0100.
- Smeele *et al.* 2024. Vogels en hun ruimtegebruik in Nieuw Land. *De Levende Natuur* 125: 205-208.
- Szabo D., D. Moodie, M.P. Green, R.A. Mulde, & B.O. Clarke 2022. Field-Based Distribution and Bioaccumulation Factors for Cyclic and Aliphatic Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in an Urban Sedentary Waterbird Population. *Environmental Science & Technology* 56(12): 8231–8244.
- Tartu S., G.W. Gabrielsen, P. Blévin, H. Ellis, J.O. Bustnes, D. Herzke & O. Chastel 2014. Endocrine and Fitness Correlates of Long-Chain Perfluorinated Carboxylates Exposure in Arctic Breeding Black-Legged Kittiwakes. *Environmental Science & Technology* 48(22): 13504-13510.
- Timmermans K.R., B. Van Hattum, M.H.S. Kraak & C. Davids 1989. Trace metals in a littoral foodweb: Concentrations in organisms, sediment and water. *Science of The Total Environment* 87-88: 477-494. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90255-6).
- van den Heuvel-Greve M.J., J. Schotanus, M. Kotterman, C.J.A.F. Kwadijk, S.M.J.M. Brasseur, M. Leopold, J. van Zwol, D. van den Ende, S.A. Cornelisse, E. de Froe & E. Foekema 2026. Exposure and magnification of PFAS in a temperate estuarine food web, including top predators. *Marine Pollution Bulletin* 224: 119053.
- van Kampenhout L. & G. Nijland 2025. Pesticidemetingen op de Marker Wadden: eerste resultaten. 12 oktober 2025. Vereniging Meten=Weten, Diever.
- van der Winden J., C. Dreef, R. Posthoorn & Y.I. Verkuil 2023. Human-Made 1,000 Hectare Archipelago “Marker Wadden” Has Positive Impact on Regional and Flyway Populations of Waterbirds of Dynamic Freshwater Ecosystems. *Waterbirds* 46: 185-195.
- van der Winden J., R. Noordhuis, P. van Horssen & C. Dreef 2024. Nieuw Land biedt visdief nieuw broed- en foerageergebied. *De Levende Natuur* 125: 220-225.



van Zetten, F., J. de Fouw, C. Dreef & J. van der Winden 2026. Aanvoer van nutriënten door vogels op Marker Wadden. Schattingen van fosfaat- en stikstofaanvoer door broedvogels en pleisteraars in 2024. Rapport 2026-02, Jan van der Winden Ecology, Utrecht/ KIMA.

Wells, M.R., T.L. Coggan, G. Stevenson, N. Singh, M. Askeland, M.A. Lea, A. Philips & S. Carver 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in little penguins and associations with urbanisation and health parameters. *Science of The Total Environment* 912: 169084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169084>



Dantelaan 115  
3533 VC Utrecht  
[jvdwinden@hetnet.nl](mailto:jvdwinden@hetnet.nl)