

## Per- en polyfluoralkylverbindingen (PFAS) in bodem en sediment

---

**INHOUD**

<b>1</b>	<b>Doel en toepassingsgebied</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Principe</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Apparatuur en materiaal</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Reagentia en standaarden</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Monsterbewaring en -voorbehandeling</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Analyseprocedure</b>	<b>7</b>
6.1	<i>Extractie</i>	7
6.2	<i>Zuivering van het extract</i>	8
6.3	<i>LC-MS/MS analyse</i>	8
6.3.1	LC-condities	8
6.3.2	MS-condities	9
6.3.3	Identificatie en integratie	12
6.3.4	Kalibratie	12
<b>7</b>	<b>Berekeningen</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Kwaliteitscontrole</b>	<b>14</b>
8.1	<i>Terugvinding van de isotoopgemerkte fluorverbindingen</i>	14
<b>9</b>	<b>Prestatiekenmerken</b>	<b>15</b>
<b>10</b>	<b>Referenties</b>	<b>15</b>

## 1 DOEL EN TOEPASSINGSGBIED

Deze procedure vervangt de procedure CMA/3/D van **juli 2023** en beschrijft de kwantitatieve bepaling van per- en polyfluoralkylverbindingen in bodem en sediment met behulp van vloeistofchromatografie. De methode kan ook gebruikt worden voor de bepaling van PFAS in anorganische afvalstoffen. Voor de bepaling van PFAS in grondwater wordt verwezen naar WAC/IV/A/025.

De verbindingen worden veelvuldig gebruikt voor het water- en vuilafstotend maken van textiel (incl. tapijten), leder, papier en karton en in brandblusmiddelen. Deze verbindingen zijn schadelijk bij langdurige blootstelling, zijn persistent en bioaccumuleren. De belangrijkste van deze verbindingen zijn perfluoralkaanzuren (bv. PFOA), perfluoralkaan-sulfonzuren (bv. PFOS) en -amides en fluortelomeerverbindingen. De laatste verbindingen gelden ook als precursoren voor de eerste.

Deze methode beschrijft de extractie en analyse van volgende verbindingen:

Tabel 1: kwantitatieve PFAS

PFAS	Afkorting	CAS nr
perfluoro-n-butaanzuur	PFBA	375-22-4
perfluor-n-pentaanzuur	PFPeA	2706-90-3
perfluor-n-hexaanzuur	PFHxA	307-24-4
perfluor-n-heptaanzuur	PFHpA	375-85-9
perfluor-n-octaanzuur	PFOA	335-67-1
perfluor-n-nonaanzuur	PFNA	375-95-1
perfluor-n-decaanzuur	PFDA	335-76-2
perfluor-n-undecaanzuur	PFUnDA	2058-94-8
perfluor-n-dodecaanzuur	PFDoDA	307-55-1
perfluor-n-tridecaanzuur	PFTTrDA	72629-94-8
perfluor-n-tetradecaanzuur	PFTeDA	376-06-7
perfluor-n-hexadecaanzuur	PFHxDA	67905-19-5
perfluor-n-butaansulfonzuur	PFBS	375-73-5
Perfluor-n-pentaansulfonzuur	PFPeS	2706-91-4
perfluor-n-hexaansulfonzuur	PFHxS	355-46-4
perfluor-n-heptaansulfonzuur	PFHpS	375-92-8
perfluor-n-octaansulfonzuur	PFOS	1763-23-1
perfluor-n-nonaansulfonzuur	PFNS	68259-12-1
perfluor-n-decaansulfonzuur	PFDS	335-77-3
perfluor-n-dodecaansulfonzuur	PFDoDS	79780-39-5
perfluor-n-octaansulfonamide	PFOSA	754-91-6
N-methylperfluor-n-octaansulfonamide	MePFOSA	31506-32-8
N-ethylperfluor-n-octaansulfonamide	EtPFOSA	4151-50-2
N-methylperfluor-n-octaansulfonamidoazijnzuur	MePFOSAA	2355-31-9
N-ethylperfluor-n-octaansulfonamidoazijnzuur	EtPFOSAA	2991-50-6
4:2 fluortelomeersulfonzuur	4:2 FTS	757124-72-4
6:2 fluortelomeersulfonzuur	6:2 FTS	27619-97-2
8:2 fluortelomeersulfonzuur	8:2 FTS	39108-34-4
8:2 fluortelomeerfosfaat diester	8:2 diPAP	678-41-1

10:2 fluortelomeersulfonzuur	10:2 FTS	120226-60-0
perfluor-2-propoxypropaanzuur	HFPO-DA	13252-13-6
4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur	DONA	919005-14-4
perfluor-4-ethylcyclohexaansulfonzuur	PFECHS	646-83-3
perfluor-n-butaansulfonamide	PFBSA	30334-69-1
N-methylperfluor-n-butaansulfonamide	MePFBSA	68298-12-4
perfluor-n-hexaansulfonamide	PFHxSA	41997-13-1
Totaal van lineair en vertakt PFOA	PFOAtotaal	-
Totaal van lineair en vertakt PFOS	PFOS totaal	-
Totaal van lineair en vertakt PFOSA	PFOSAtotaal	-
Totaal van lineair en vertakt MePFOSA	MePFOSAtotaal	-
Totaal van lineair en vertakt EtPFOSA	EtPFOSAtotaal	-
Totaal van lineair en vertakt PFHxS	PFHxStotaal	-

Tegelijk kunnen ook de onderstaande verbindingen bepaald worden. Hiervoor worden echter minder betrouwbare gehalten bekomen als gevolg van onvoldoende terugvinding, verlies door adsorptie of mogelijke interferentie. De gemeten gehalten kunnen in dat geval enkel gerapporteerd worden als indicatief.

Tabel 2: indicatieve PFAS

PFAS	Afkorting	CAS nr
perfluor-n-octadecaanzuur	PFODA	16517-11-6
6:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2 diPAP	57677-95-9
6:2/8:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2/8:2 diPAP	943913-15-3
N-methylperfluor-n-butaansulfonylamide azijnzuur	MePFBSAA	159381-10-9
perfluor-n-undecaansulfonzuur	PFUnDS	749786-16-1
perfluor-n-tridecaansulfonzuur	PFTTrDS	791563-89-8

*Opmerkingen:*

- Voor de bepaling van per- en polyfluoralkylverbindingen in grondwater wordt verwezen naar procedure WAC/IV/A/025 van het Compendium voor Analyse van Water.
- Van de meeste PFAS komt uitsluitend de lineaire vorm voor; de beschikbare standaarden zijn ook lineair. Van een aantal PFAS (PFOA, PFOS, en PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA en PFHxS) kunnen ook vertakte vormen teruggevonden worden. In deze procedure worden voor PFOA, PFOS, PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA en PFHxS zowel de lineaire vormen als het totaal van de lineaire en vertakte vormen bepaald. Het totaal van de lineaire en vertakte vormen wordt gerapporteerd als resp. PFOAtotaal, PFOSStotaal, PFOSAtotaal, MePFOSAtotaal, EtPFOSAtotaal en PFHxStotaal.
- Bij de analyse van actieve kool zijn PFDods, MePFBSA en DONA indicatieve PFAS in plaats van kwantitatieve; 6:2 diPAP en 6:2/8:2 diPAP zijn kwantitatieve PFAS in plaats van indicatieve.

## 2 PRINCIPE

Aan de gedroogde stalen worden gekende hoeveelheden isotoopgemerkte fluorverbindingen toegevoegd. De stalen worden vervolgens geëxtraheerd waarna het extract verder opgezuiverd wordt. Het extract wordt opgenomen in een gekend volume mobiele fase en geanalyseerd met

vloeistofchromatografie met tandem massaspectrometrische detectie. Het gehalte van de verschillende PFAS wordt berekend met de interne standaard methode.

### 3 APPARATUUR EN MATERIAAL

- 3.1 Analytische balans met een afleesnauwkeurigheid van 0,1 mg
- 3.2 Bovenweger met een afleesnauwkeurigheid van 0,01 g
- 3.3 Schudtoestel
- 3.4 Vortexmenger
- 3.5 Centrifuge-toestel
- 3.6 Eenheid voor indampen onder stikstofstroom met regelbaar debiet
- 3.7 Polypropyleen centrifugebuizen van bv. 50 ml en 15 ml
- 3.8 Actieve kool SPE-patronen (bv. ENVI-Carb)
- 3.9 SPE patronen met een zwakke anionenwisselaar fase: bv. OASIS WAX 6cc cart, 150mg. Andere patronen kunnen ook gebruikt worden mits gevalideerd
- 3.10 Glasvezelfilters (bv. Pall Glass Acrodisc 1 µm)
- 3.11 Meetvials van 1,5 ml
- 3.12 LC-MS systeem bestaande uit:
  - Een HPLC of UPLC vloeistofchromatograaf met injectie-automaat, vloeistofpomp, gethermostatiseerde kolom en ontgassingseenheid.  
*Opm.:* met het oog op de reductie van de systeemblanco wordt een *isolator* kolom, die geplaatst wordt tussen LC-pomp en injector, sterk aanbevolen
  - Een tandem quadrupool massaspectrometer met electrospray ionisatiekamer  
*Opm.:* Alternatief kan gebruik gemaakt worden van een ion trap of een hoge resolutie accurate massa (time-of-flight (TOF) of Fourier Transform) massaspectrometer
  - Een datastation voor de instelling van de instrumentele settings, de data-acquisitie en de data-analyse
- 3.13 HPLC of UPLC-kolom, bv. Waters Acquity UPLC BEH C18 1.7µm kolom, 2.1x100 mm  
  
Opmerking:  
Van PFECHS komen 2 isomeren voor (cis- en trans-), die op een C18-kolom niet gescheiden zijn. Er zijn echter kolomfases waarop deze wel gescheiden zijn. In beide gevallen wordt onder PFECHS het totaal van de 2 isomeren verstaan.
- 3.14 Ultrasoonbad
- 3.15 SPE vacuum- of drukeenheid

### 4 REAGENTIA EN STANDAARDEN

- 4.1 Methanol, acetonitrile: residukwaliteit
- 4.2 Water: ultrapuur (Milli-Q)
- 4.3 Ammoniumacetaat p.a.
- 4.4 Mierezuur p.a.
- 4.5 Natriumhydroxide p.a.
- 4.6 ~~Ammoniak/methanol oplossing (0.1%): voeg 0,4 ml van een 25 % NH<sub>3</sub>-oplossing toe aan 99,6 ml methanol~~ Extractiesolvent: de extractie kan uitgevoerd worden met methanol, acetonitrile of een mengsel van methanol en acetonitrile. Het extractiesolvent kan alkalisch gemaakt worden, bv. 0.05 M natriumhydroxide. Los daartoe 2 g natriumhydroxide op in 1 liter methanol, acetonitrile of het mengsel van methanol en acetonitrile.

- 4.7 Acetaatbufferoplossing: los 0,286 ml azijnzuur op in 200 ml ultrapuur water (oplossing 1). Los 0,097 g ammoniumacetaat op in 50 ml ultrapuur water (oplossing 2). Voeg oplossing 1 en oplossing 2 samen, eindvolume is 250 ml
- 4.8 Stock kalibratie-oplossingen van natieve PFAS in methanol: monocomponent- of mengstockoplossingen, aangekocht of zelf aangemaakt vanuit de zuivere stoffen
- 4.9 Stock controlestandaard van natieve PFAS: dit is een onafhankelijke mengstandaard in methanol
- 4.10 Standaardoplossing van isotoop aangerijkte PFAS (inwendige standaarden): deze wordt als mengstandaardoplossing aangekocht of aangemaakt obv. individuele standaarden en verdund naar een concentratie van bv. 400 µg/l. De volgende isotoopgemerkte PFAS worden minimaal gebruikt:

perfluor-n-[1,2,3,4- <sup>13</sup> C <sub>1</sub> ]-butaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFBA
perfluor-n-[ <sup>13</sup> C <sub>5</sub> ]-pentaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFPeA
perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-hexaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxA
perfluor-n-[1,2,3,4- <sup>13</sup> C <sub>4</sub> ]-octaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOA
perfluor-n-[1,2,3,4,5- <sup>13</sup> C <sub>5</sub> ]-nonaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFNA
perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-decaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDA
Perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-undecaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PUnDA
perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-dodecaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFDoDA
perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-tetradecaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFTeDA
perfluor-n-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-hexadecaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFHxDA
perfluor-n-hexaan[ <sup>18</sup> O <sub>2</sub> ]sulfonyl	<sup>18</sup> O <sub>2</sub> -PFHxS
perfluor-n-[1,2,3,4- <sup>13</sup> C <sub>4</sub> ]-octaansulfonaat	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFOS
natrium-1H,1H,2H,2H-perfluor-1-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]-n-octaansulfonaat	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -6:2FTS
perfluor-1-[ <sup>13</sup> C <sub>8</sub> ]-n-octaansulfonamide	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOSA
N-methyl-d <sub>3</sub> -perfluor-n-octaansulfonamide	D <sub>3</sub> -MePFOSA
N-methyl-d <sub>3</sub> -perfluor-n-octaansulfonamidoazijnzuur	D <sub>3</sub> -MePFOSAA
natrium bis(1H,1H,2H,2H-[1,2- <sup>13</sup> C <sub>2</sub> ]perfluordecyl)fosfaat	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -8:2 diPAP
2,3,3,3-tetrafluor-2-(1,1,2,2,3,3,3-heptafluorpropoxy)- <sup>13</sup> C <sub>3</sub> -propaanzuur	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -HFPO-DA

*Opmerkingen :*

- Van sommige isotoop gemerkte verbindingen zijn ook varianten beschikbaar (bv. <sup>13</sup>C<sub>3</sub>-PFHxS, <sup>13</sup>C<sub>8</sub>-PFOS,...). **Deze varianten mogen ook gebruikt worden in plaats van bovenstaande.**
  - Voor de kwantificering van PFDoDS en 10:2 FTS dienen verplicht respectievelijk <sup>13</sup>C-PFOS en <sup>13</sup>C-10:2 FTS als interne standaard gebruikt te worden. **Gedeutereerde varianten zijn eveneens toegelaten, bv. D4-10:2 FTS in plaats van <sup>13</sup>C-10:2 FTS.**
  - <sup>13</sup>C<sub>3</sub>-HFPO-DA is mogelijk niet stabiel in acetonitrile en oplossingen worden beter aangemaakt in methanol
- 4.11 Kalibratiestandaarden: maak uitgaande van de stock kalibratieoplossingen van natieve PFAS (4.7) en de standaardoplossing van isotoop aangerijkte PFAS (4.9) een reeks verdunningen in 1/1 methanol/water met wisselende concentraties aan natieve PFAS, lopende van bv. 0.1 tot 100 µg/l en constante concentraties aan isotoop aangerijkte PFAS van ca. 4 µg/l; deze oplossingen worden bij elke meetreeks opnieuw aangemaakt
- 4.12 QC standaarden: uitgaande van de stock controlestandaard (4.8) worden QC standaarden in 1/1 methanol/water aangemaakt op één of meer concentratieniveaus

## 5 MONSTERBEWARING EN -VOORBEHANDELING

Voor de monsterbewaring wordt verwezen naar CMA/1/B.

Voor de monstervoorbehandeling wordt verwezen naar CMA/5/B.

~~De stalen worden vooraf gedroogd door middel van drogen aan de lucht bij 40°C (overnacht of langer indien nodig, bv. voor zeer natte stalen), vriesdrogen of chemisch drogen.~~

*Opmerkingen:*

- Contact met teflon of andere fluorhoudende polymeren dient vermeden te worden
- ~~Alvorens de extractie uit te voeren worden de stalen gedroogd aan de lucht bij 40°C (overnacht of langer indien nodig, bv. voor zeer natte stalen), vriesdrogen of chemisch drogen. Daarna dient het monster verkleind te worden tot op 1 mm (voor een staalinname van 2 g of meer) of tot op 0.5 mm (voor een staalinname minder dan 2 g).~~

## 6 ANALYSEPROCEDURE

### 6.1 EXTRACTIE

Bodem, sediment en anorganische afvalstoffen behalve actieve kool

- Weeg 1 tot 5 g gedroogd en gehomogeniseerd staal af in een polypropyleen (PP) centrifugebuis
- Voeg de aangewezen hoeveelheid van de interne standaard oplossing (4.9) toe, zodanig dat de concentratie van de inwendige standaarden in het eindextract gelijk is aan deze van de kalibratiestandaarden. Laat de interne standaarden ongeveer 15 min inwerken alvorens de extractievloeistof aan het staal toe te voegen.
- Voeg minstens 5 ml methanol toe per gram staalinname, schud krachtig of vortex het staal en schud gedurende 60 min. op een schudtoestel.
- Laat de vaste fase bezinken, al dan niet met behulp van centrifugatie, en neem het supernatans af.

*Opmerking:*

Afhankelijk van de matrix worden soms lagere extractierendementen bekomen voor MePFOSAA, EtPFOSAA en diPAPS; in dat geval kunnen betere extractierendementen bekomen worden bij aanwending van alkalische methanol (bv. 50 mM NaOH) als extractiesolvent.

Actieve kool

- ~~Weeg weeg 2 tot 3 g gedroogd en gehomogeniseerd staal af in een PP buis.~~
- ~~Voeg de interne standaardoplossing toe en laat 15 minuten inwerken alvorens de extractievloeistof aan het staal toe te voegen.~~
- ~~Voeg 12 ml acetonitrile toe aan het staal, schud krachtig of vortes het staal en soniceer het mengsel gedurende 1 uur.~~
- ~~Decanteer de acetonitrile in een nieuwe, voorgespoelde PP buis.~~
- ~~Voeg 12 ml hexaan toe aan het staal en soniceer gedurende 1 uur.~~
- ~~Voeg het hexaanextract bij het acetonitrile extract.~~
- ~~Spoel de actieve kool na met 4 keer 1 ml alkalische methanol en combineer de methanol met het hexaan/acetonitrile extract.~~
- ~~Damp de verzamelde fracties in onder een stikstofstroom tot bijna droog.~~
- ~~Voeg 10 ml blanco water toe en schud krachtig of vortex.~~
- ~~Analyseer zoals een waterstaal volgens WAC/IV/A/025 (SPE extractie).~~

## 6.2 ZUIVERING VAN HET EXTRACT

- Het extract (6.1, behalve extract van actieve kool) wordt opgezuiverd door het over een actief kool patroon (3.8) te brengen, die voorafgaandelijk werd gespoeld met 10 ml acetonitrile. Het eluaat wordt opgevangen in een PP centrifugebuis van 15 ml. Het patroon wordt nagespoeld met twee maal 2,5 ml acetonitrile.

### Opmerking

Alternatief wordt de kolom geëluëerd met twee maal 2,5 ml methanol. De kolom dient in dat geval voor de elutie drooggeblazen te worden.

- Indien nodig wordt het opgezuiverde extract ingedampt onder een stikstofstroom bij 40 – 65 °C; daarbij moet vermeden worden dat het extract droog damp (voeg eventueel een keeper toe, bv. 50 µl DMF);

### Opmerking

Bij extractie met alkalische methanol kan tijdens het indampen kristalvorming optreden. Dit kan vermeden worden door het eluens van de koolstofkolom aan te zuren. Het eluens bevat in dat geval bv. 0.05 M azijnzuur.

- Leng het extract desgewenst aan met ultra puur water en/of methanol. De meetoplossingen van de kalibratiestandaarden worden in hetzelfde solventmengsel aangemaakt als het meetextract van het staal; deze meetoplossing wordt voor de analyse alleen indien noodzakelijk gefiltreerd over een glasvezelfilter of gecentrifugeerd.

## 6.3 LC-MS/MS ANALYSE

*Opm.:* De houdbaarheid van preparaten bedraagt, bij bewaring in de koelkast, 1 maand. Preparaten die in de koelkast hebben gestaan worden best gevortext vooraleer deze in de injectie-automaat te plaatsen.

### 6.3.1 LC-CONDITIES

Een UPLC-analyse gebeurt bv. op een UPLC BEH C18 kolom, 1.7µm, 2.1 x 100 mm, met gradiëntelutie.

Typische UPLC-instellingen zijn:

- mobiele fase:
  - A= Water + 5 % MeOH en 2 mM ammoniumacetaat
  - B= MeOH + 2 mM ammoniumacetaat
- debiet: 0.3 ml/min
- kolomtemperatuur: 40°C
- injectievolume: 10 µl
- gradiënt:

Tijd	A%	B%
min	%	%
0,00	70	30
0,50	70	30
25,00	10	90
27,00	10	90
28,00	1	99
30,00	70	30

De LC-analyse kan ook gebeuren op een HPLC installatie, op een C18 kolom met gradiëntelutie. Typische HPLC instellingen zijn:

- mobiele fase:
  - A= methanol
  - B= water + 2 mM ammoniumacetaat
- debiet: 1 ml/min.
- kolomtemperatuur: 35°C
- injectievolume: 100 µl
- gradiënt:

Time min	A %	B %
0	50	50
15	100	0
16	100	0
17	50	50
23	50	50

Voor de detectie van FOSAA, 6:2 PAP en 8:2 PAP is een alkalische mobiele fase nodig; een voorbeeld van UPLC-instellingen is hieronder gegeven:

- mobiele fase:
  - A = Water + 2 mM ammoniumacetaat + NH<sub>3</sub> (pH 10.5)
  - B = ACN/MeOH 1/1 + 5 mM methylpiperidine
  - C = Water/MeOH/ACN/isopropanol 25/25/25/25
- debiet: 0.3 ml/min
- kolomtemperatuur: 40°C
- injectievolume: 10 µl
- gradiënt:

Tijd	A (%)	B (%)	C (%)
0.0	90	10	0
0.5	90	10	0
5	55	45	0
10	55	45	0
20	0	95	5
23	0	95	5
25	90	10	0

### 6.3.2 MS-CONDITIES

Alle opnamen worden met Multiple Reaction Monitoring (MRM) uitgevoerd, met ionisatie via electrospray in negatieve modus (ES<sup>-</sup>).

Typische instellingen voor de MS-acquisitie zijn hieronder voor een Waters Xevo TQ-S gegeven:

Ion Mode :	ES <sup>-</sup>
Cappillary Voltage :	1kV
Cone Voltage :	componentafhankelijk
Source Offset :	30V
Desolvation Temperature :	450°C

Source Temperature :	150°C
Desolvation :	800L/Hr
Cone :	150L/Hr
Nebuliser :	7Bar
Ion Energy1 :	0.9
Ion Energy2 :	1.1
Collision gas flow :	0.20ml/min
Collision energy:	componentafhankelijk

De onderstaande ionentransities worden geregistreerd. Tegelijk zijn typische UPLC retentietijden aangegeven. Deze kunnen verschuiven afhankelijk van de gebruikte kolom. In de tabel is ook aangegeven welke isotoop gemerkte inwendige standaard gebruikt kan worden voor de kwantificatie van de natieve verbinding. Om zoveel mogelijk problemen van geringe terugvinding of spreiding van resultaten te vermijden (als gevolg van sorptie aan recipiëntwand of injector en/of matrixonderdrukking/versterking), dient ernaar gestreefd te worden om een zo groot mogelijk aantal overeenkomstige inwendige standaarden te gebruiken.

Tabel 3: ionentransities van de PFAS

Compound	Parent (m/z)	Daughter (m/z)	(Q/q)	Cone (V)	Collision (V)	IS	Rt NH <sub>4</sub> Ac (min)	Rt NH <sub>3</sub> (min)
PFBA	213	169	Q	30	8	13C-PFBA	2.01	3.91
PFPeA	263	219	Q	30	8	13C-PFPeA	4.78	5.96
PFHxA	313	119	q	40	20	13C-PFHxA	8.72	7.24
		269	Q	40	8			
PFHpA	363	169	q	40	20	13C-PFHxA	12.21	8.75
		319	Q	40	11			
PFOA	413	169	q	40	17	13C-PFOA	14.94	11.81
		369	Q	40	11			
PFNA	463	169	q	40	17	13C-PFNA	17.13	14.48
		419	Q	40	11			
PFDA	513	219	q	40	20	13C-PFDA	18.95	15.69
		469	Q	40	11			
PFUnDA	563	169	q	40	23	13C-PFUnDA	20.5	16.57
		519	Q	40	11			
PFDoDA	613	319	q	40	20	13C-PFDoDA	21.84	17.27
		569	Q	40	11			
PFTrDA	663	319	q	40	23	13C-PFDoDA	22.97	17.87
		619	Q	40	14			
PFTeDA	713	319	q	40	20	13C-PFTeDA	23.96	18.4
		669	Q	40	14			
PFHxDA	813	219	q	40	32	13C-PFHxDA	25.56	19.24
		769	Q	40	14			
PFOA	913	219	q	50	29	13C-PFHxDA	26.79	19.89
		869	Q	50	17			
PFBS	299	80	Q	50	41	13C-PFHxS	5.76	6.84
		99	q	50	41			

PFPeS	349	80 99	Q q	50 50	32 30	18O2-PFHxS	9.53	8.09
PFHxS	399	80 99	Q q	50 50	38 32	18O2-PFHxS	12.7	10.4
PFHpS	449	80 99	Q q	50 50	41 36	13C-PFHxS	15.23	13.8
PFOS	499	80 99	Q q	60 60	50 40	13C-PFOS	17.29	15.26
PFNS	549	80 99	Q q	60 60	46 45	13C-PFOS	19.04	16.2
PFDS	599	80 99	Q q	65 65	50 50	13C-PFOS	20.53	16.94
PFDoDS	699	80 99	Q q	65 65	49 47	13C-PFOS	22.95	18.11
4:2 FTS	327	80.5 306.9	q Q	40 40	26 20	13C 6:2 FTS	8.37	7
6:2 FTS	427	80.7 406.9	q Q	40 40	28 30	13C 6:2 FTS	14.8	10.83
8:2 FTS	527	80.7 506.9	q Q	40 40	32 34	13C 6:2 FTS	18.92	15.44
10:2 FTS	627	80.7 606.9	q Q	40 40	37 30	13C 10:2 FTS	21.87	17.14
PFOSA	498	78 169	Q q	50 50	29 32	13C-PFOSA	19.99	14.67
MePFOSA	512	169 219	Q q	40 40	25 22	D3-MePFOSA	22.64	15.84
EtPFOSA	526	169 219	Q q	50 50	25 25	D3-MePFOSA	23.49	16.69
PFOSAA	556	419 498	q Q	86 86	26 28	D3-MePFOSAA	-	9.61
MePFOSAA	570	419 483	Q q	40 40	19 15	D3-MePFOSAA	19.7	16.05
EtPFOSAA	584	419 526	Q q	40 40	20 20	D3-MePFOSAA	20.44	16.45
6:2 PAP	443 443	79 97	q Q	28 28	46 18	13C 8:2 PAP	-	6.5
8:2 PAP	543	79 97	q Q	32 32	58 16	13C 8:2 PAP	-	8.62
6:2 diPAP	789	97 443	Q q	40 40	31 19	13C 8:2 diPAP	23.75	18.19
6:2/8:2 diPAP	889	97 443	Q q	40 40	30 20	13C 8:2 diPAP	25.18	19
8:2 diPAP	989	97 543	Q q	50 50	30 25	13C 8:2 diPAP	26.3	19.63
HFPO-DA	285	185 169	Q q	7 7	18 14	13C HFPO-DA	9.7	7.64
ADONA	376.97	84.95	q	8	26	13C HFPO-DA	12.54	9.31

		250.96	Q	8	12			
PFECHS	461	99	q	40	24	13C-PFOA	14.84	13.47
		381	Q	40	24			
PFBSA	298	78	q	50	29	13C-PFOA		
		64	Q	50	32			
MePFBSA	312	219	q	40	25	13C-PFOA		
		65	Q	40	22			
MePFBSAA	370	283	q	86	26	13C-PFOA		
		312	Q	86	28			
PFHxSA	398	78	q	50	29	13C-PFOA		
		119	Q	50	32			
13C-PFBA	217	172	IS	30	8		2.01	3.9
13C-PFPeA	268	223	IS	30	8		4.77	5.96
13C-PFHxA	315	270	IS	40	11		8.72	7.24
13C-PFOA	417	372	IS	40	8		14.95	11.8
13C-PFNA	468	423	IS	40	11		17.13	14.47
13C-PFDA	515	470	IS	50	11		18.95	15.69
13C-PFUnDA	565	520	IS	50	14		20.5	16.57
13C-PFDoDA	615	570	IS	50	14		21.84	17.27
13C-PFTeDA	715	670	IS	50	14		23.96	18.4
13C-PFHxDA	815	770	IS	50	14		25.56	19.25
18O2-PFHxS	403	84	IS	50	40		12.7	10.41
13C-PFOS	503	80	IS	60	40		17.28	15.26
13C 6:2 FTS	429	409	IS	10	24		14.8	10.82
13C-PFOA	506	78	IS	50	40		19.99	14.68
D3-MePFOSA	515	169	IS	50	40		22.62	15.82
D3-MePFOSAA	573	419	IS	40	20		19.69	16.03
13C 8:2 PAP	545	97	IS	32	16			8.62
13C 8:2 diPAP	993	97	IS	25	20		23.75	18.19
13C HFPO-DA	287	119	IS	10	18		9.7	7.64

Q: Transitie voor kwantificatie van de component

q: Transitie ter bevestiging (kwalificatie) van de kwantificatietransitie

### 6.3.3 IDENTIFICATIE EN INTEGRATIE

De aanwezigheid van natieve fluorverbindingen in de monsters wordt bevestigd op basis van de criteria voor retentietijden en ionenratio's zoals vermeld in CMA/6/D.

De identificatie van de isotoop aangerijkte verbindingen is eveneens gebaseerd op de karakteristieke m/z en de retentietijd.

De geïdentificeerde pieken worden geïntegreerd met behulp van de software van de apparatuur en manueel geverifieerd.

### 6.3.4 KALIBRATIE

De kalibratie kan op een aantal verschillende manieren gebeuren, zie CMA/6/D. Voor de kwaliteitseisen waaraan de kalibratie moet voldoen wordt **eveneens** verwezen naar CMA/6/D.

- ~~aan de hand van kalibratierechten. In dit geval worden aan het begin van de analysereeks minimaal 4 kalibratieoplossingen geanalyseerd met concentraties groter dan 0 en verspreid over het lineair gebied. De laagste concentratie mag niet hoger zijn dan 2 keer de ondergrens van het meetbereik. Op de X-as en de Y-as worden de verhoudingen uitgezet van resp. de concentraties en de piekoppervlakten van de native PFAS en de overeenkomstige interne standaard. Vervolgens wordt dmv lineaire regressie de vergelijking van de kalibratierechte berekend. De afwijking van elk punt tot de rechte mag niet meer dan 20% bedragen.~~
- ~~aan de hand van kwadratische curven. Indien bij de lineariteitstest gebleken is dat er geen lineair maar een kwadratisch verband is tussen concentratie en respons, dan kunnen kwadratische curven gebruikt worden voor de kalibratie. Daartoe worden aan het begin van de analysereeks minimaal 5 kalibratieoplossingen geanalyseerd met concentraties verspreid over het meetgebied. De laagste concentratie mag niet hoger zijn dan 2 keer de ondergrens van het meetbereik. Op de X-as en de Y-as worden de verhoudingen uitgezet van resp. de concentraties en de piekoppervlakten van de native PFAS en de overeenkomstige interne standaard. Vervolgens wordt dmv kwadratische curve fitting de vergelijking van de curve berekend. De afwijking van elk punt tot de curve mag niet meer dan 15% bedragen.~~

## 7 BEREKENINGEN

Voor de monsterextracten worden de transities geregistreerd op identieke wijze als hierboven beschreven voor de standaardoplossingen. Uitgaande van de integratiewaarden voor het monster en de kalibratierechte/curve bepaald voor de kalibratiestandaard worden de gehalten van de verschillende verbindingen in het monster berekend. Voor bodem, sediment en anorganische afvalstoffen wordt het resultaat uitgedrukt in  $\mu\text{g}/\text{kg ds}$ . Daarom dient het droge stof gehalte bepaald te worden bij  $105^\circ\text{C}$  conform CMA/2/II/A.1.

### Opmerkingen:

- Bij overschrijding van de bovenste grens van het werkgebied:
  - o wordt het extract maximum 10 keer verdund en opnieuw gemeten;
  - o als de terugvinding van de interne standaarden hoger ligt dan 70% mag meer dan 10 keer verdund worden met extra additie van interne standaard;
  - o alternatief wordt het staal opnieuw opgewerkt met minder staalinname en/of meer extractiesolvent.
- Voor de rapportering van de "som van gemeten kwantitatieve PFAS" wordt de "lower bound" som gemaakt van de kwantitatieve PFAS (zie tabel 1). ~~de rapportagegrens van elke kwantitatieve PFAS in bodem bedraagt ten hoogste  $0.5 \mu\text{g}/\text{kg ds}$ .~~
- Voor de rapportering van de "som van gemeten indicatieve PFAS" wordt de "lower bound" som gemaakt van de indicatieve PFAS (zie tabel 2). ~~de rapportagegrens van elke indicatieve PFAS in bodem bedraagt ten hoogste  $4 \mu\text{g}/\text{kg ds}$ .~~
- Voor de rapportering van de "som van gemeten PFAS" wordt de "lower bound" som gemaakt van de kwantitatieve PFAS (zie tabel 1) en de indicatieve PFAS (zie tabel 2).

### Opmerkingen:

- "lower bound" betekent dat bij het maken van de som alle individuele PFAS-concentraties lager dan de rapportagegrens-eis (CMA/6/A) gelijkgesteld worden aan 0.
- Als alle individuele kwantitatieve PFAS-concentraties lager liggen dan de door het laboratorium gehanteerde rapportagegrenzen (die niet hoger mogen liggen dan de rapportagegrens-eisen in CMA/6/A) dan wordt voor de "som

- van gemeten kwantitatieve PFAS" "< de hoogste rapportagegrens van een individuele kwantitatieve PFAS" gerapporteerd.
- Als alle individuele indicatieve PFAS-concentraties lager liggen dan de door het laboratorium gehanteerde rapportagegrenzen (die niet hoger mogen liggen dan de rapportagegrens-eisen in CMA/6/A) dan wordt voor de "som van gemeten indicatieve PFAS" "< de hoogste rapportagegrens van een individuele indicatieve PFAS" gerapporteerd.
  - Als alle individuele PFAS-concentraties lager liggen dan de door het laboratorium gehanteerde rapportagegrenzen (die niet hoger mogen liggen dan de rapportagegrens-eisen in CMA/6/A) dan wordt voor de "som van gemeten PFAS" "< de hoogste rapportagegrens van een individuele PFAS" gerapporteerd.
  - Als de concentratie van één of meerdere PFAS parameters hoger ligt dan de door het laboratorium gehanteerde rapportagegrenzen (die niet hoger mogen liggen dan de rapportagegrens-eisen in CMA/6/A) dan wordt voor de "som van gemeten PFAS" de som van deze concentraties gerapporteerd, ongeacht of deze som groter of kleiner is dan de hoogste rapportagegrens van een individuele PFAS.
  - Voor PFOS, PFOA, PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA en PFHxS bestaan de technische mengsels uit zowel lineaire als vertakte isomeren. De standaarden daarentegen zijn zuiver lineaire vormen. Kwantificeer, in afwachting van geschikte standaarden en duidelijke regelgeving/internationale afspraken, zowel de lineaire als de vertakte vormen gebruikmakend van de MRM transitie en RRF-waarde van de lineaire vorm.
  - Voor PFOA, PFOS, PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA en PFHxS worden zowel de lineaire vormen als het totaal van de lineaire en vertakte vormen bepaald. Het totaal van de lineaire vormen en de vertakte vormen wordt gerapporteerd als resp. PFOAtotaal, PFOSStotaal, PFOSAtotaal, MePFOSAtotaal, EtPFOSAtotaal en PFHxStotaal.
  - Indien de vertakte PFAS afzonderlijk gerapporteerd dienen te worden dan worden deze berekend als het verschil van het resultaat voor de lineaire en vertakte vormen en het resultaat van de lineaire vorm.
  - Voor grondwater wordt de som van de gemeten PFAS gemaakt zoals hierboven beschreven voor bodem. Daarbij wordt de indeling in kwantitatieve en indicatieve parameters toegepast zoals vermeld in WAC/IV/A/025. Voor de PFAS met vertakte vormen wordt het totaal van lineair en vertakt meegenomen in de som van de gemeten kwantitatieve PFAS. Voor de rapportagegrenzen van PFAS in grondwater wordt verwezen naar WAC/VI/A/001.

## 8 KWALITEITSCONTROLE

Voor de kwaliteitseisen ivm kalibratie, procedureblanco, controle op gevoeligheid, controlestaal, driftcontrole en onafhankelijke controlestandaard wordt verwezen naar CMA/6/D.

### Opmerking:

- Voor de procedureblanco dient een blanco bodem (eventueel voorgespoeld met methanol) als staal ingenomen te worden. De procedureblanco dient de volledige voorbehandeling en opwerking te doorlopen, inclusief het drogen en homogeniseren van het staal.
- In geval van een analysereeks met zowel bodem- als sedimentstalen dienen 2 controlestalen meegenomen te worden (een bodem en een sediment).

### 8.1 TERUGVINDING VAN DE ISOTOOPGEMERKTE FLUORVERBINDINGEN

Voor elk monster wordt de terugvinding van isotoopgemerkte inwendige standaarden bepaald, d.i. de experimenteel teruggevonden hoeveelheid van elk van de bij het begin van de analyse toegevoegde standaarden. Dit gebeurt door vergelijking van de oppervlakte van de isotoop aangerijkte verbinding bekomen voor het monster ( $A_{is}(\text{monster})$ ) t.o.v. de oppervlakte verwacht voor een kalibratiestandaard ( $A_{is}(\text{kalibratiestandaard})$ ) waarin ongeveer dezelfde concentratie aan natieve verbinding aanwezig is als gemeten in het monsterpreparaat (dit om rekening te houden met de onderdrukking van het signaal van de isotoopgemerkte verbinding door de coëluerende natieve verbinding). De terugvinding wordt gegeven door:

$$R\% = A_{is}(\text{monster}) * 100 / A_{is}(\text{kalibratiestandaard})$$

Het terugvindingsrendement is afhankelijk van sorptiefenomenen, signaalsuppressie/versterking door matrixbestanddelen en extractie/clean up rendement. Voor een verantwoorde kwantificering dient het terugvindingsrendement van de <sup>13</sup>C-gemerkte fluorverbindingen minimaal 30 % en maximaal 200 % te bedragen. Indien desgevallend (bv. indien geen monster meer beschikbaar is of indien heranalyse niet relevant is i.f.v. gebruik van het resultaat ...) toch resultaten worden gerapporteerd waarbij aan het criterium voor terugvinding niet voldaan is, dient dit als opmerking op het verslag vermeld te worden. **Bij de analyse van actieve kool stalen dient de terugvinding van de interne standaarden minimaal 10% te bedragen.**

## 9 PRESTATIEKENMERKEN

Voor de prestatiekenmerken wordt verwezen naar CMA deel 6.

## 10 REFERENTIES

- DIN 38414-14 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)
- ISO 21675:2019: Water quality — Determination of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water — Method using solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)
- C.R. Powley, S.W. George, T.W. Ryan, R.C. Buck, Matrix Effect-Free Analytical Methods for Determination of Perfluorinated Carboxylic Acids in Environmental Matrixes, Analytical Chemistry 2005, 77 (19)
- Nederlandse Technische Afspraak (NTA): Analyse van PFAS in bodem, waterbodem en slib, met HPLC en massaspectrometrie.