



Bedrijfstakonderzoek  
BTO 2024.002 | Juni 2024

**Geavanceerde  
reductie en anodische  
oxidatie voor de  
verwijdering van PFAS  
uit  
concentraatstromen**



# Rapport

## Geavanceerde reductie en anodische oxidatie voor de verwijdering van PFAS uit concentraatstromen

BTO 2024.002 | Juni 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

**Opdrachtnummer**

402045/329

**Projectmanager**

Erwin Beerendonk

**Opdrachtgever**

BTO - Thematisch onderzoek - Zuivering

**Auteurs**

Roberta Hofman-Caris, Danny Harmsen, Wolter Siegers

**Kwaliteitsborger**

Emile Cornelissen

**Verzonden naar**

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten. Een jaar na publicatie is het openbaar.

**Keywords**

drinkwaterzuivering, membraanfiltratie, concentraat, PFAS, geavanceerde reductie

Jaar van publicatie  
2024

**Meer informatie**

dr. ir. Roberta Hofman-Caris

T +31 30 606 9673

E roberta.hofman-caris@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

The logo for KWR, consisting of the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font.

Juni 2024 ©

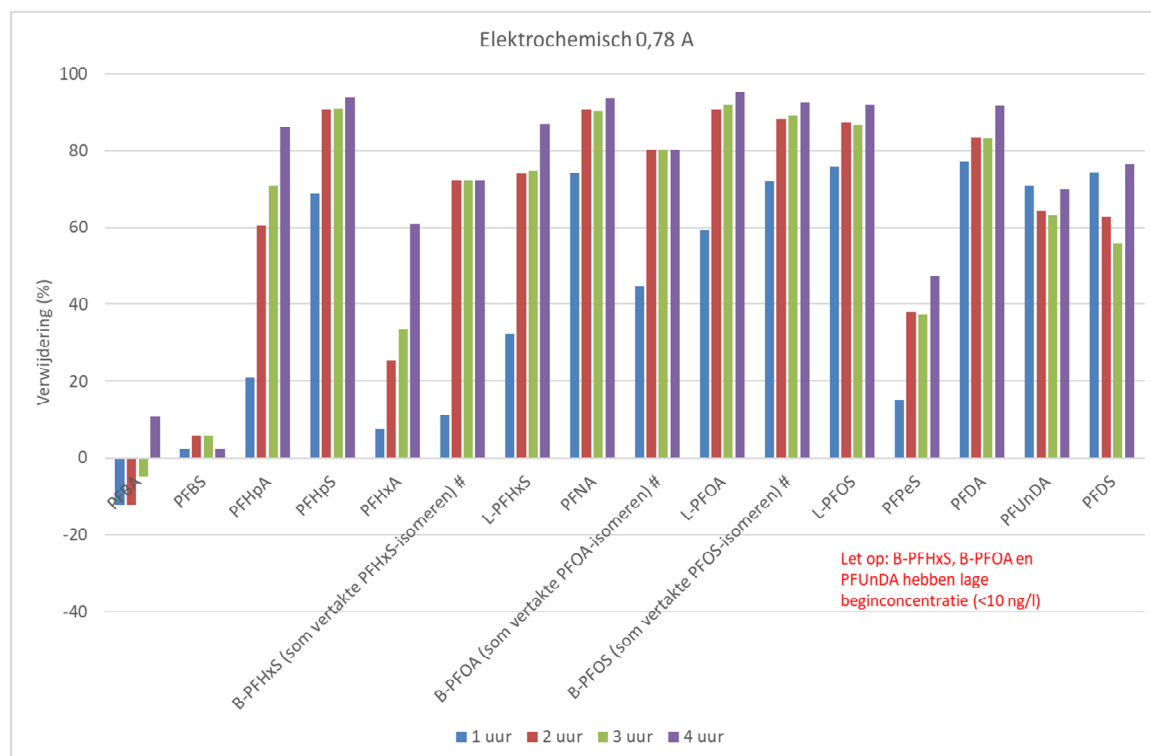
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

# Managementsamenvatting

*Concentraatstromen behandelen met geavanceerde reductie of anodische oxidatie biedt zicht op een werkelijk einde voor ‘forever chemicals’ PFAS*

**Auteurs** Roberta Hofman-Caris, Danny Harmsen, Wolter Siegers.

Membraanfiltratie is een effectieve techniek om PFAS uit drinkwater te verwijderen maar leidt tot concentraatstromen met hoge concentraties PFAS en andere verontreinigingen. Er zijn twee nieuwe technieken onderzocht om PFAS in concentraatstromen chemisch af te breken. Geavanceerde reductie blijkt op PFAS in een concentraatstroom minder effectief te werken dan op PFAS in een schone watermatrix, waarschijnlijk door de aanwezigheid van nitraat. Perfluorcarboxylaten lijken hiervoor veel gevoeliger te zijn dan -sulfonaten. Met een beter begrip van het reactiemechanisme kan de afbraak van PFAS mogelijk worden geoptimaliseerd. Anodische oxidatie blijkt ook in een concentraatmatrix PFAS zeer effectief te kunnen afbreken, maar daarbij wel transformatieproducten op te leveren. Deze techniek is veelbelovend, maar zal ook moeten worden geoptimaliseerd om te voorkomen dat deze transformatieproducten (veelal kleinere PFAS-moleculen) alsnog in het milieu terechtkomen.



Afbraak van PFAS in RO-concentraat door anodische oxidatie

**Belang: PFAS niet alleen verwijderen, maar ook chemisch afbreken en zo uit het milieu houden**

Membraanfiltratie is een effectieve methode om PFAS uit drinkwater te verwijderen. Het nadeel is echter dat daarbij een concentraatstroom ontstaat die hoge concentraties PFAS en andere verontreinigingen bevat. Om te voorkomen dat deze verontreinigingen opnieuw in het milieu terechtkomen, zijn technieken nodig om deze verbindingen in de concentraatstroom chemisch af te breken.

**Aanpak: Literatuurstudie en laboratoriumexperimenten**

In eerste instantie is een literatuuronderzoek gedaan naar de mogelijkheden om PFAS uit water te verwijderen met membraanfiltratie en naar chemische afbraaktechnieken voor PFAS. Hieruit kwamen twee mogelijk geschikte technieken naar voren: geavanceerde reductie (ARP) en anodische oxidatie. Beide processen zijn op laboratoriumschaal onderzocht. ARP is onderzocht in een schone watermatrix (Milli-Q en drinkwater) in het kader van het Verkennend Onderzoek en in concentraat van de omgekeerde osmose-installatie van Heemskerk. Anodische oxidatie werd in hetzelfde RO-concentraat uitgetest. In beide gevallen ging het om een inventarisatie om te zien of deze afbraaktechnieken effectief kunnen zijn in een concentraatmatrix.

**Resultaten: Chemische afbraak van PFAS in concentraat mogelijk.**

Het blijkt mogelijk PFAS af te breken met ARP in combinatie met UV/Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/KI. De samenstelling van de concentraatmatrix blijkt echter negatieve effecten

te kunnen hebben op de afbraak van perfluorcarboxylaten, waarschijnlijk door de aanwezigheid van nitraat in de matrix. Verrassend was dat de invloed op de afbraak van perfluorsulfonaten veel kleiner bleek te zijn, hoewel die in alle gevallen lastiger afbreekbaar bleken. Een beter begrip van het reactiemechanisme van PFAS-afbraak kan mogelijk tot een betere afbraak leiden.

Anodische oxidatie blijkt in een concentraatmatrix zeer effectief PFAS af te breken, maar er zijn sterke aanwijzingen dat hierbij transformatieproducten kunnen worden gevormd, vooral kleinere PFAS. Ook dit proces moet dus worden geoptimaliseerd.

**Toepassing: Effectieve afbraak van PFAS in RO-concentraat**

Het is mogelijk om PFAS in RO-concentraat chemisch af te breken via geavanceerde reductie of anodische oxidatie. Wel moeten beide processen chemisch nog worden geoptimaliseerd. Ook is verder onderzoek nodig om de processen op te schalen naar de praktijk. Deze kennis is een belangrijke stap op weg een echte oplossing voor deze ‘forever chemicals’.

**Rapport**

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Geavanceerde reductie voor de verwijdering van PFAS uit concentraatstromen* (BTO 2024.002). Dit rapport vormt met BTO het rapport *Verwijdering van PFAS uit drinkwater met behulp van geavanceerde oxidatie; mogelijke vorming van transformatieproducten* (BTO 2024.001) een tweeluik over geavanceerde reductieprocessen.



**Inhoud**

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rapport</b>                                                                    | <b>2</b>   |
| <b><i>Managementsamenvatting</i></b>                                              | <b>3</b>   |
| <b>Inhoud</b>                                                                     | <b>6</b>   |
| <b>1     Introductie</b>                                                          | <b>8</b>   |
| <b>2     Literatuuronderzoek</b>                                                  | <b>10</b>  |
| 2.1   Membraanprocessen                                                           | 10         |
| 2.2   Geavanceerde reductieprocessen                                              | 15         |
| 2.3   Anodische oxidatie                                                          | 17         |
| 2.4   Modellering van ARPs                                                        | 24         |
| <b>3     Materiaal en methoden</b>                                                | <b>26</b>  |
| 3.1   Watermatrix                                                                 | 26         |
| 3.1.1 Concentraatstroom                                                           | 26         |
| 3.1.2 Milli-Q water en drinkwater                                                 | 27         |
| 3.2   PFAS dosering en analyse                                                    | 27         |
| 3.3   Reductiereacties                                                            | 29         |
| 3.4   Anodische oxidatie                                                          | 33         |
| <b>4     Resultaten en discussie; geavanceerde reductie</b>                       | <b>34</b>  |
| 4.1   Inleiding                                                                   | 34         |
| 4.2   Adsorptie van PFAS aan glaswerk                                             | 34         |
| 4.3   Geavanceerde reductie-experimenten                                          | 35         |
| 4.3.1 UV/SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> experimenten in RO-concentraat             | 35         |
| 4.3.2 UV/SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /I <sup>-</sup> experimenten               | 37         |
| 4.3.3 Vergelijking afbraak in DW en concentraat                                   | 45         |
| <b>5     Resultaten en discussie; anodische oxidatie<br/>        experimenten</b> | <b>51</b>  |
| <b>6     Vergelijking ARP en anodische oxidatie</b>                               | <b>55</b>  |
| <b>7     Conclusies en aanbevelingen</b>                                          | <b>56</b>  |
| 7.1   Conclusies                                                                  | 56         |
| 7.2   Aanbevelingen                                                               | 57         |
| <b>8     Referenties</b>                                                          | <b>58</b>  |
| I     Modellering van UV/SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> proces                     | <b>61</b>  |
| II    Samenstelling concentraat                                                   | <b>63</b>  |
| III   Data reductie-experimenten                                                  | <b>67</b>  |
| IV    K-waarden                                                                   | <b>132</b> |
| V     Berekende omzettingsdata bij een UV-dosis van 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup>    | <b>139</b> |

|     |                                                                          |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| VI  | Berekende omzettingsdata bij een UV-dosis van 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> | 144 |
| VII | Data experimenten anodische oxidatie                                     | 149 |



# 1 Introductie

Perfluorcomponenten (PFAS) hebben diverse heel handige eigenschappen, waardoor ze voor diverse toepassingen worden gebruikt. Een groot nadeel van diezelfde eigenschappen is echter dat ze deze stoffen nauwelijks afbreekbaar maken in het milieu. Dit is ook de reden dat ze wel ‘for ever chemicals’ worden genoemd. Inmiddels kunnen ze vrijwel overal in het milieu worden aangetroffen, en dus ook in onze bronnen voor drinkwater. In de recente (European Food and Safety Authority)-opinie wordt onderbouwd dat PFAS in voedingsmiddelen nadelige gezondheidseffecten kunnen hebben. Dit leidt tot zorgen met betrekking tot de aanwezigheid van PFAS in (bronnen voor) drinkwater. Als gevolg hiervan worden er zowel in Nederland als internationaal diverse onderzoeksprojecten uitgevoerd naar de verwijdering en afbraak van PFAS uit bronnen voor drinkwater, bijvoorbeeld bij drinkwaterbedrijven en bij KWR in het kader van BTO en BO.

Het blijkt lastig te zijn om PFAS uit drinkwater te verwijderen met behulp van conventionele technieken (beluchting, coagulatie/flocculatie/sedimentatie, snelfiltratie en biodegradatie), en ook geavanceerdere technieken vormen maar in beperkte mate een oplossing voor het probleem. Zo zijn PFAS vrijwel niet te oxideren, en worden ze door adsorbentia als actieve kool slecht c.q. beperkt geadsorbeerd. Omgekeerde osmose (RO) is wel een effectieve techniek te zijn om PFAS uit drinkwater te verwijderen. Het grote nadeel van deze methode is echter dat er een significante hoeveelheid concentraatstromen gevormd wordt (meestal ongeveer 20 % van de totaal behandelde volumestroom), die dan PFAS bevat in een hogere concentratie. Als deze concentraatstroom wordt geloosd op een RWZI of in het milieu komen die PFAS weer terug in het oppervlaktewater, en worden bronnen voor drinkwater opnieuw ermee verontreinigd.

Om die reden wordt in dit rapport een methode onderzocht waarmee PFAS in concentraatstromen mogelijk kunnen worden afgebroken, namelijk met geavanceerde reductieprocessen (ARPs). Hierbij worden elektronen aan PFAS ‘toegevoegd’ (in plaats van onttrokken, zoals het geval is bij oxidatieprocessen), waardoor de C-F binding in PFAS wordt verbroken, en er fluoride-ionen gevormd worden. Op deze manier worden PFAS dus echt afgebroken, waardoor ze definitief uit het milieu verwijderd kunnen worden.

ARPs zijn een jonge techniek, waar nog niet heel veel over bekend is. In een aanpalend verkennend onderzoek (BTO 402045/292) is bestudeerd welke factoren van invloed zijn op de reductie van PFAS in Milli-Q water en drinkwater. Het bleek dat de afbraakreacties het beste verliepen bij een pH van 10-12 en bij een concentratie van zowel  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  als KI van ongeveer 100 mg/L. In een drinkwatermatrix leidde verhoging van deze concentraties, bijvoorbeeld tot 300 mg  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ /L wel tot iets hogere afbraak van PFAS. Overigens bleek het proces vooralsnog met name effectief voor perfluorcarboxylaten, en veel minder ( $\leq 25$  % afbraak) voor sulfonaten. Dit onderzoek is beschreven in rapport BTO.2024.001, dat samen met dit rapport een tweeluik vormt. Uit het verkennende onderzoek bleek dat de omstandigheden die nodig zijn voor afbraak van PFAS niet praktisch haalbaar zijn voor directe toepassing in de drinkwaterzuivering, aangezien het proces moet plaatsvinden onder anaerobe atmosfeer, verhoogde pH en toevoeging van zowel natriumsulfiet als kaliumjodide. Het zou echter wellicht wel mogelijk kunnen zijn om deze technologie toe te passen op geconcentreerdere reststromen, omdat hier sprake is van hogere concentraties PFAS en veel kleinere te behandelen volumes, terwijl toevoeging van jodide hier minder snel tot een probleem zou kunnen leiden. Dit is in het huidige rapport verder uitgezocht.

Elektro-oxidatie (EO) is een recente ontwikkeling voor waterbehandeling waarbij anodische oxidatie aan een anode wordt toegepast in plaats van chemische oxidatie. Hierbij worden verschillende reactieve stoffen gevormd als gevolg van oxidatieve reacties aan de anode en reductieve reacties aan de kathode (Garcia-Segura et al., 2018). EO heeft zich bewezen als een robuuste en veelzijdige technologie voor de afbraak van verontreinigingen in

afvalwater, omdat ze biologisch afbreekbaar en niet-biologisch afbreekbaar organisch materiaal volledig kunnen mineraliseren en ook enkele van de anorganische soorten kunnen elimineren.

## 2 Literatuuronderzoek

### 2.1 Membraanprocessen

Uit de literatuur blijkt dat membraanfiltratie heel effectief kan zijn voor de verwijdering van PFAS. Microfiltratie (MF) en ultrafiltratie (UF) zijn minder effectief dan nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO). Dit hangt samen met de grootte van de PFAS-moleculen die veel kleiner zijn dan de poriën van MF/UF membranen. Daarnaast spelen ook de lading van het membraanoppervlak en vervuiling van het oppervlak een eventuele rol in PFAS verwijdering (Rahman et al. 2014).

NF membranen zijn effectiever voor de verwijdering van PFAS dan MF/UF (Crone et al. 2019). Bepaalde typen NF-membranen blijken stoffen met een massa boven de 150 Da goed te kunnen verwijderen, en in deze categorie vallen veel korte keten PFAS en grotere PFAS, maar niet de PFAS met heel korte ketens. Vandaar dat NF, afhankelijk van het type membraan, wel een goede barrière is voor PFAS kan zijn. Franke et al. (2019) laten zien dat NF (NF270-400; Dow Filmtech™ Membranes) effectief is voor de verwijdering van diverse PFAS, en zelfs PFAS met een lagere molmassa dan de molecular weight cut-off (MWCO) van het membraan, die in dit geval 270 Da was. Dit wijst erop dat niet alleen de grootte van PFAS-moleculen een rol speelt in dit proces. Bij NF is de verwijdering mede gebaseerd op elektrostatische afstoting, hydrofobiciteit en de aanwezigheid van dipoolmomenten (Crone et al. 2019). Afgezien van het type membraan zijn pH en ionensterkte daarbij belangrijke parameters voor de efficiëntie van de zuivering (Ateia et al. 2019). Vaak is volgens deze auteurs hiermee  $\geq 90\%$  van de PFAS te verwijderen. Ongeladen PFAS, zoals perfluoroctaan sulfonamide, blijken ondanks hun hoge molmassa lastig te verwijderen.

Membraanvervuiling heeft een negatief effect op de bedrijfsvoering van membranen. Wat betreft verwijdering is het niet altijd op voorhand duidelijk of vervuiling een positief of een negatief effect heeft. Volgens Appleman et al. (2013) kan de aanwezigheid van fouling op een NF-membraan de verwijdering van PFAS in bepaalde gevallen echter zelfs bevorderen. Dit is slechts op kleine schaal getest. De auteurs hadden hiervoor het membraan behandeld met 1 mmol  $\text{Ca}^{2+}$  oplossing, met een totale ionensterkte van 10 mmol/L, en Aldrich humuszuren met een DOC-gehalte van 2,5 mg/L.

(Eke et al. 2021) beschrijven het gebruik van nanocomposietmembranen (NF) voor de verwijdering van PFOA. Ze gebruikten hiervoor membranen gemaakt van gesulfoneerde polyether ether keton en tweedimensionaal fosforeen, wat als fotokatalysator kan fungeren. De membranen waren in staat 99 % van het PFOA tegen te houden, maar dit materiaal accumuleerde op het membraanoppervlak. Door de fosforeennanodeeltjes op dit membraanoppervlak kon het PFOA vervolgens worden afgebroken met zuurstof (96,6%; 'liquid aerobic oxidation') of UV-straling (98,4 %). Na de UV-behandeling was het membraanoppervlak weer glad en hydrofiel, en bevatte het weinig fluor. Na de zuurstofbehandeling was het membraanoppervlak hydrofober dan eerst, en bleek er wel meer fluor op voor te komen (0,6 atoom%, tegenover 0,23 % bij het UV-behandelde membraan). Hoewel de auteurs niet ingaan op het type fluor, zouden dit heel goed organische fluorverbindingen kunnen zijn. Een aandachtspunt is echter dat dit onderzoek slechts op labschaal heeft plaatsgevonden (batchgewijs in een 50 mL geroerde cel), en dat het daardoor nog ver van praktische toepassingen af staat.

In de literatuur, en zeker ook in de wetgeving, wordt onderscheid gemaakt tussen lange en korte ketens voor PFAS. Volgens Brendel et al. (2018) worden korte ketens voor sulfonaten gedefinieerd met  $n < 6$ , en voor carbonaten met  $n < 7$  (zie Figuur 1). De kleinste PFAS is tetrafluormethaan, andere kleine PFAS zijn  $\text{C}_2\text{F}_6$  en  $\text{C}_2\text{F}_4$  (Zhang et al. 2023). Het grote voordeel van RO is dat het alle PFAS kan verwijderen, dus ongeacht de lading, en zowel lange als korte ketens (Cui et al. 2020). Het is aangetoond dat RO ook kleine PFAS als perfluorbutaan zuur en GenX kunnen verwijderen (Appleman et al. 2014, Crone et al. 2019, Albergamo et al. 2020), zowel op pilot-schaal als ook al in full-

scale drinkwaterzuiveringen. In de voorbeelden die ze laten zien, worden ook voor kleine PFAS als PFBA verwijderingspercentages > 90 % gemeld of 'tot onder de rapportagegrens' (waarbij het verwijderingspercentage dan natuurlijk wel afhangt van zowel die rapportagegrens als de beginconcentratie). Wel wijzen de auteurs op de "hoge" kosten vanwege de benodigde hoge druk, maar uit de praktijk is bekend dat de kosten voor een zuivering gebaseerd op RO niet veel anders zijn dan die van andere geavanceerde zuiveringen. Over het algemeen wordt > 90 % van de PFAS verwijderd tot wel > 99 %. Als aandachtspunten geven de auteurs aan fouling en het feit dat de recovery meestal ongeveer 80 % bedraagt, wat betekent dat er enerzijds 20 % meer water moet worden ingenomen, en anderzijds ook 20 % concentraat als reststroom wordt gevormd.

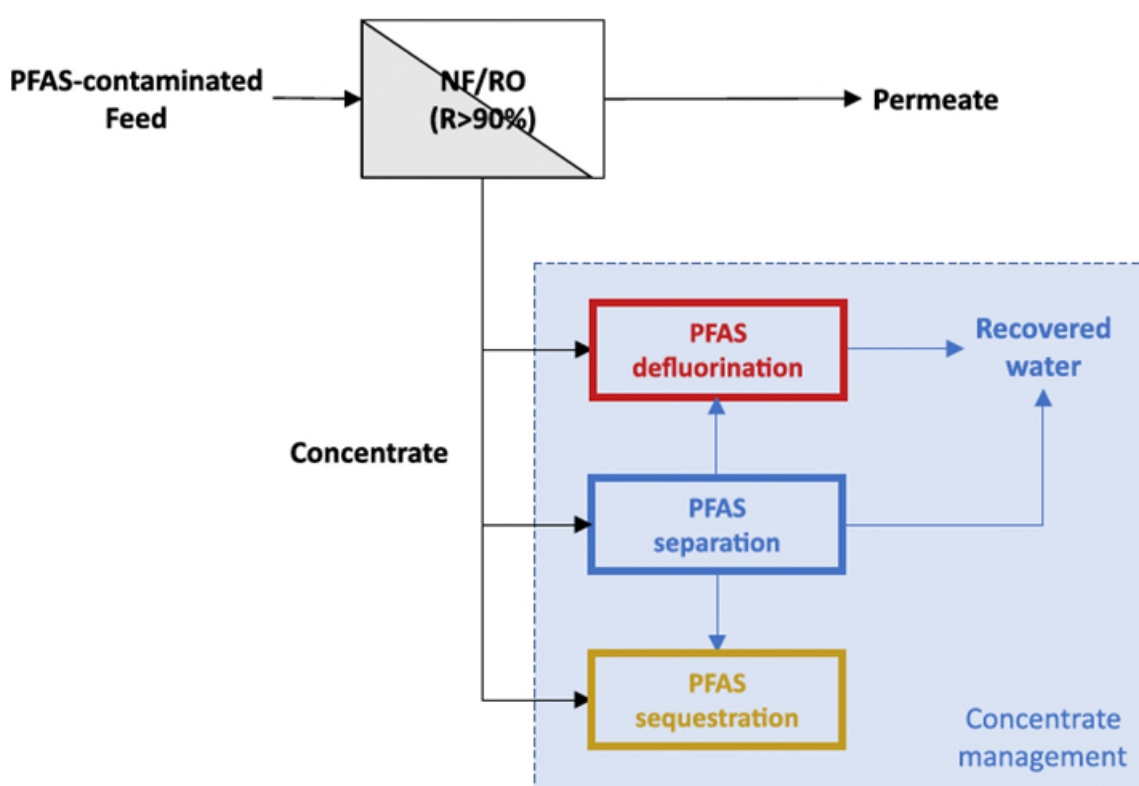
|                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Perfluoroalkane sulfonic acids</b><br><br><b>Long-chain: <math>n \geq 6</math></b><br><b>Short-chain: <math>n &lt; 6</math></b><br><br><b>Example short-chain representative:</b><br><b>PFBS (<math>n = 4</math>)</b>                               |  |
| <b>Perfluoroalkyl carboxylic acids</b><br><br><b>Long-chain: <math>n \geq 7</math></b><br><b>Short-chain: <math>n &lt; 7</math></b><br><br><b>Example short-chain representatives:</b><br><b>PFBA (<math>n = 3</math>), PFHxA (<math>n = 5</math>)</b> |  |
| <b>Example of short-chain precursors</b><br><br><b>4:2 fluorotelomer alcohol (<math>n = 4</math>)</b><br><b>6:2 fluorotelomer alcohol (<math>n = 6</math>)</b>                                                                                         |  |

Figuur 1: Definities van PFAS met korte en lange ketens volgens Brendel et al. (2018)

Een knelpunt bij de behandeling van met PFAS verontreinigd water met behulp van membranen is deze vorming van een concentraat, met grofweg vijf keer geconcentreerde concentraties PFAS in het overgebleven concentraat (20 % van het totaal volume behandeld water). Indien dit niet op een RWZI of oppervlaktewater geloosd mag worden, is hiervoor een aparte, destructieve (of adsorptieve) behandelingsstap nodig volgens Phong Vo et al. (2020) en Xiao (2017). Franke et al. (2019) stellen voor hiervoor filtratie over GAC of ionenwisseling toe te passen, omdat de meeste PFAS zuren zijn. IEX leek hiervoor betere resultaten te geven dan GAC, en was bijvoorbeeld minder gevoelig voor de aanwezigheid van NOM. Daar staat wel tegenover dat de effectiviteit van IEX gevoeliger is voor de PFAS-concentraties, en daardoor hoger bij hogere concentraties (zoals in concentraat van een membraanproces). Uiteraard is IEX gebaseerd op een elektrostatische interactie tussen het harsoppervlak en de PFAS, maar het blijkt dat ook een interactie tussen de hydrofobe keten en de hars zelf een bijdrage levert. Overigens zou bij toepassing van IEX hiervoor weer een nieuwe reststroom, het regeneraat van de IEX, worden gevormd, die ook weer behandeld zou moeten worden. Wel zou het in dat geval gaan om een hogere concentratie in een kleiner volume. De vraag is trouwens hoe goed regeneratie van IEX-harsen werkt. In de literatuur wordt vaak

aangegeven dat in het geval van PFAS hiervoor een combinatie met een organisch oplosmiddel nodig is (Merino et al. 2016), wat regeneratie complexer uitvoerbaar wordt. In de praktijk blijken deze harsen dan ook regelmatig vernietigd in plaats van geregenereerd te worden, en het is de vraag of dat op een zodanige wijze gebeurt dat PFAS hierbij worden afgebroken of toch weer in het milieu terechtkomen. Bij toepassing van GAC wordt met PFAS beladen kool verkregen. Wat er precies gebeurt met PFAS tijdens reactivatie van de GAC is nog een onderwerp van studie.

Hoe om te gaan met het probleem van PFAS in concentraat van membraanprocessen is beschreven door Tow et al. (2021). Deze auteurs geven aan dat er niet één ideale manier is om PFAS-houdend concentraat onschadelijk te maken. Verder geven ze ook aandacht aan methoden om PFAS te concentreren, om op die manier het volume van de afvalstroom te reduceren. De mogelijkheden zijn samengevat in Figuur 2.



Figuur 2: behandeling van PFAS-houdend concentraat uit NF- en RO-processen (Tow et al. 2021)

Eén van de problemen bij het behandelen van met PFAS-verontreinigde stromen is dat het vaak om heel lage concentraties gaat (ng/L-bereik). Voor sommige behandelingstechnieken zou het zinvol kunnen zijn om deze PFAS eerst te concentreren. Het is mogelijk om PFAS, wat aanwezig is in een concentraatstroom, verder te concentreren met behulp van een tweede RO of NF proces, wat een hogere recovery heeft. Ook een speciale ontzoutingstechniek (Closed-circuit desalination, CCD) wordt in dit kader genoemd, waarbij een recovery van 97 % mogelijk zou zijn. Het energieverbruik hangt sterk af van de effectiviteit van onder andere spoelprocessen, het zoutgehalte in het voedingswater en de recovery. Het blijkt heel belangrijk te zijn de toevoerleiding naar het membraan en het membraanoppervlak schoon te houden en de vervuiling dus te beheersen, maar dit is vaak wel een uitdaging, zeker omdat ook de andere verontreinigingen, NOM en zouten geconcentreerd worden.

Membraandestillatie (direct contact membrane distillation, MCMD) wordt ook als techniek genoemd die kan worden ingezet om PFAS af te scheiden, aangezien PFAS vaak een lage dampspanning hebben. Forward Osmosis (FO) is nog niet op grote schaal uitgetest, maar beschikbare informatie lijkt erop te wijzen dat dit een effectieve techniek zou kunnen zijn in dit verband. Elektrodialyse zou kunnen worden toegepast om PFAS-anionen af te scheiden (Söregård et al. 2019). Aangezien PFAS oppervlakte-actieve stoffen hebben, is 'foam fractionation' ook een mogelijkheid om juist PFAS- uit een reststroom te concentreren (mogelijk zonder eveneens allerlei zouten mee te nemen, die in het concentraat aanwezig zijn).

Coagulatie met behulp van kationische surfactants zou kunnen bijdragen aan een verbeterde PFAS-verwijdering. Elektrocoagulatie is nog slechts op kleine schaal bestudeerd, maar zou eventueel effectief kunnen zijn voor de verwijdering van PFAS (zeker voor PFOA en PFOS). Wel hebben diverse factoren, zoals de samenstelling van de elektroden, type en concentratie van opgeloste zouten, stroomsterkte en spanning, roersnelheid en pH effect op het resultaat. Tow et al. (2021) noemen ook vijvers, waaruit water kan verdampen en de PFAS-concentratie op die manier toeneemt, maar dit lijkt geen methode om effectief grote volumes mee te behandelen.

Het verbreken van de binding tussen koolstof en fluor (C-F), en daarmee gepaard gaande vorming van fluoride-ionen, is de meest effectieve manier om het PFAS-probleem op te lossen. Die C-F binding is echter erg stevig en met 'gewone' en geavanceerde oxidatiemethoden niet te verbreken. Fotokatalyse, bijvoorbeeld met  $\text{TiO}_2$ , leidt niet alleen tot de vorming van radicalen die oxidatie kunnen bewerkstelligen, maar ook tot 'gaten' in het  $\text{TiO}_2$ -oppervlak, die mogelijk een reductie van de C-F binding zouden kunnen bewerkstelligen. De auteurs melden ook dat sulfaatradicalen wellicht in staat zijn om PFAS af te breken. Het omgekeerde proces, geavanceerde reductie (ARP) met bijvoorbeeld gehydrateerde elektronen, zou de C-F-binding moeten kunnen verbreken. Hiervoor zijn verschillende ARPs beschreven in de literatuur (zie ook paragraaf 2.2). Voor verbranding van PFAS zijn hoge temperaturen ( $> 1200^\circ\text{C}$ ) nodig<sup>1</sup>. Superkritische oxidatie van PFAS zou wellicht een optie zijn. Hiervoor zijn temperaturen  $> 374^\circ\text{C}$  en drukken  $> 221.1$  bar nodig. Door hieraan een oxidator als zuurstof toe te voegen, zouden zelfs C-F-bindingen verbroken moeten kunnen worden. De techniek is echter nog niet ver ontwikkeld, en met name vervuiling en corrosie zijn voornamelijk problemen waarvoor een oplossing gezocht moet worden.

Als het niet mogelijk is om PFAS echt af te breken, geven Tow et al. (2021) aan dat storten (van vaste stof) of injecteren in de ondergrond een oplossing zou kunnen zijn. In beide gevallen moet er echter rekening mee worden gehouden dat op den duur de PFAS hieruit toch weer in het milieu terecht zouden kunnen komen. Een overzicht van de mogelijke technieken, en hun respectievelijke voor- en nadelen, is gegeven in Tabel 1.

---

<sup>1</sup> Vaak wordt dit verward met het proces waarbij granulaire actieve kool wordt gereactiveerd. Dat proces vindt plaats bij lagere temperaturen ( $800-900^\circ\text{C}$ ), maar onder reductieve atmosfeer. Hierdoor zouden PFAS tijdens dit proces al bij deze temperaturen afgebroken kunnen worden, en zouden temperaturen  $> 1200^\circ\text{C}$  niet nodig zijn. Er vindt in het kader van het Bedrijfsonderzoek van het BTO nog onderzoek plaats om deze bevindingen te toetsen.



Tabel 1: overzicht van verschillende methoden om PFAS-houdende reststromen te verwerken (Tow et al. 2021)

| Technology     |                                       | Advantages                                                                                                                                                                                                                                                                     | Disadvantages                                                                                                                                                                                     |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Concentration  | Reverse osmosis and nanofiltration    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective removal</li> <li>Small footprint</li> <li>Relatively energy-efficient</li> </ul>                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Membrane scaling limits recovery</li> </ul>                                                                                                                |
|                | Membrane distillation                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective removal of PFPeA</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Membrane fouling</li> <li>Very early research stage</li> <li>High thermal energy use</li> </ul>                                                            |
|                | Forward osmosis                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>High rejection and recovery possible</li> </ul>                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Draw regeneration difficult</li> </ul>                                                                                                                     |
|                | RO–electrodialysis hybrids            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Possibly concentrate charged PFAS compounds</li> </ul>                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>No validation with PFAS</li> </ul>                                                                                                                         |
|                | Foam fractionation                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective removal of long-chain PFAS, including PFOS</li> </ul>                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Less effective for short-chain PFAS</li> </ul>                                                                                                             |
|                | Electrocoagulation                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ease of operation</li> <li>Effective removal of PFOA and PFOS with Zn anode</li> </ul>                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Requires optimization of operational conditions</li> <li>Passivation of electrode material</li> </ul>                                                      |
|                | Evaporation ponds                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Compatible with solar energy</li> <li>ZLD possible</li> </ul>                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>High land area requirement</li> <li>PFAS emissions to air possible</li> </ul>                                                                              |
|                | Brine concentrators and crystallizers | <ul style="list-style-type: none"> <li>Significant concentration and ZLD possible</li> </ul>                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>High energy requirement</li> <li>PFAS emissions to air possible</li> </ul>                                                                                 |
|                | Adsorption                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reliable and easy to operate</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>May require frequent regeneration and/or replacement of saturated adsorbents</li> </ul>                                                                    |
|                | Coagulant aids                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Early data show high effectiveness</li> </ul>                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Proprietary formulations</li> </ul>                                                                                                                        |
| Defluorination | Biological treatment                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Could scale well</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Largely unsuccessful so far</li> </ul>                                                                                                                     |
|                | Ultraviolet irradiation               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Availability of equipment</li> </ul>                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ineffective for PFAA</li> </ul>                                                                                                                            |
|                | Photocatalysis                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective degradation of PFOA</li> <li>Reduce energy consumption by using visible light</li> </ul>                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>May generate intermediates, such as PFHpA, PFHxA, PFPeA, PFBA, PFPA, and TFA</li> <li>Proof-of-concept stage</li> </ul>                                    |
|                | Advanced oxidation                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Moderate success with FTOHs</li> </ul>                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Limited success with PFAS</li> </ul>                                                                                                                       |
|                | Hydrated electrons                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective destruction of at least some PFAS</li> </ul>                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Early stage</li> </ul>                                                                                                                                     |
|                | Plasma-based treatment                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Early evidence of effective defluorination</li> </ul>                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Early stage</li> </ul>                                                                                                                                     |
|                | Electron beam                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>High technology readiness level: previously used at full and pilot scales for wastewater and groundwater and commercially available in medical and pasteurization industries</li> <li>Effective at PFOA and PFOS degradation</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Large capital cost and high price per volume treated</li> <li>Needs further research on membrane concentrate to understand matrix interferences</li> </ul> |
|                | Zero-valent iron                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective with carbonate PFAS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Less effective with sulfonate PFAS</li> </ul>                                                                                                              |
|                | Sonochemical treatment                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Complete mineralization of PFAS can be achieved without any pretreatment</li> </ul>                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>High energy input and scalability issues</li> </ul>                                                                                                        |
|                | Incineration                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective in desorption/destruction of PFAS</li> </ul>                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formation of by-products</li> </ul>                                                                                                                        |
|                | Supercritical water oxidation         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effective with many PFAS</li> <li>Demonstrated at scale with PFAS-laden groundwater and leachate</li> </ul>                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>High temperature and pressure create operational challenges</li> </ul>                                                                                     |

| Technology    |                     | Advantages                                                                                                                 | Disadvantages                                                                                                                             |
|---------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Salts in membrane concentrates must be removed to prevent severe scaling</li> </ul> |                                                                                                                                           |
| Sequestration | Deep-well injection | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reliable sequestration</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nondestructive</li> </ul>                                                                          |
|               | Landfill            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Endpoint for solids</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nondestructive</li> <li>Impermanent sequestration due to PFAS-laden leachate production</li> </ul> |

Note: For references, see the relevant section of the narrative.

Abbreviations: FTOHs, fluorotelomer alcohols; PFAA, perfluoroalkyl acid; PFAS, per- and polyfluoroalkyl substances; PFBA, pentafluorobenzoic acid; PFHpA, perfluoroheptanoic acid; PFHxA, perfluorohexanoic acid; PFOS, perfluorooctane sulfonic acid; PFPeA, perfluoropentanoic acid; PFPA, perfluoropropanoic acid; RO, reverse osmosis; TFA, trifluoroacetic acid.

Samenvattend kan worden gesteld dat met name RO PFAS heel goed uit water kan verwijderen. NF kan afhankelijk van de omstandigheden ook geschikt zijn. Een aandachtspunt bij de toepassing van RO (en NF) is de vorming van concentraat, wat wellicht nabehandeld moet worden. In het in dit rapport beschreven onderzoek is gekeken naar mogelijkheden om in het concentraat PFAS daadwerkelijk af te breken.

## 2.2 Geavanceerde reductieprocessen

Oxidatieprocessen worden veel toegepast in de waterzuivering. Vooral oxidatie met behulp van ozon komt wereldwijd veel voor. De laatste decennia is er steeds meer aandacht gekomen voor geavanceerde oxidatieprocessen (AOPs) (omdat die erg effectief zijn voor de afbraak van organische microverontreinigingen), waarbij hydroxylradicalen een cruciale rol spelen. Deze radicalen met een redoxpotentiaal van 2,7 V zijn in staat om met verschillende organische verbindingen te reageren. Ze blijken echter niet effectief te zijn voor de afbraak van PFAS, omdat die stoffen C-F bindingen bevatten. Fluor is het meest elektronegatieve element ter wereld, met een redoxpotentiaal van 3,06 V. Het is daardoor vrijwel niet mogelijk om de C-F binding kapot te oxideren.

Wel kan de C-F binding verbroken worden door reductie toe te passen, dus in plaats van elektronen te onttrekken, elektronen toe te voegen. De afgelopen jaren is er onderzoek gedaan naar 'geavanceerde reductieprocessen', waarbij dat principe wordt toegepast. Processen waarbij waterstofradicalen (H•) en gehydrateerde elektronen ( $e_{aq}^-$ ) worden gevormd, worden 'geavanceerde reductieprocessen' (ARPs) genoemd. Tijdens deze processen worden vaak ook hydroxylradicalen (HO•) gevormd (Hofman-Caris and Harmsen 2020, Hofman-Caris et al. 2021) maar daarnaast worden vooral H• en  $e_{aq}^-$  gevormd. H• hebben een redoxpotentiaal van -2,3 V, en  $e_{aq}^-$  van -2,9 V, en deze beide kunnen wel een C-F binding verbreken omdat ze een reductie kunnen bewerkstelligen in plaats van een oxidatie. Dat leidt tot de vorming van F<sup>-</sup>.

Er bestaan diverse typen ARPs, waarover in de recente literatuur in meer of mindere mate informatie te vinden is. Vaak worden chemicaliën gecombineerd met UV- of VUV-straling<sup>2</sup>: sulfiet ( $SO_3^{2-}$ ), dithioniet ( $S_2O_4^{2-}$ ), sulfide ( $S^{2-}$ ), I<sup>-</sup>, NaBH<sub>4</sub> of Fe<sup>2+</sup> (Hara et al. 1999, Duan and Batchelor 2014, Liu et al. 2014, Yoon et al. 2014, Xiao 2017, Xiao et al. 2017, Xiao et al. 2017, Xiao et al. 2017, Dong et al. 2018, Yu et al. 2018, Yu et al. 2018, Bao et al. 2019, Wang and Liu 2019, Xiong et al. 2019, Yin et al. 2019, Cui et al. 2020, Yang et al. 2020). Naast rechtstreekse fotolyse (waar de C-F binding weinig tot niet gevoelig voor is), vinden hierbij reacties plaats doordat onder invloed van (V)UV-straling de reductor ontleedt en H• en  $e_{aq}^-$  gevormd worden.



In de literatuur was verder vastgesteld dat toevoeging van KI aan het systeem een synergetisch effect zou hebben op PFAS afbraak (Liu et al. 2022). Ook bij deze reactie worden gehydrateerde elektronen gevormd, via [2]:



<sup>2</sup> Toepassing van alleen VUV-straling op water leidt, zonder toevoeging van chemicaliën tot de ontleding van H<sub>2</sub>O in hydroxylradicalen, waardoor dit proces op zichzelf ook als AOP wordt beschouwd. Voor de afbraak van PFAS is dit echter evenmin als andere AOPs effectief.



Volgens de auteurs zou dit veroorzaakt worden door de snelle reactie van sulfiet met opgelost zuurstof, waardoor de omzetting van het iodide sneller verloopt. Yu et al. (2018), die de combinatie hebben toegepast om monochloorazijnzuur te dechloreren, geven echter aan dat de aanwezigheid van sulfiet ervoor zorgt dat er constant  $I^-$  aanwezig blijft, volgens reactievergelijking [3]:



Hierdoor zou de omzetting met behulp van UV/ $I^-$  veel effectiever worden, doordat in feite constant jodide wordt teruggevormd.

Voor de laatste tijd neemt de belangstelling voor deze processen sterk toe, aangezien ze worden beschouwd als een mogelijke oplossing voor met PFAS verontreinigd water, of voor andere, via de gebruikelijke technieken lastig te verwijderen organische microverontreinigingen. Met name processen gebaseerd op sulfiet en iodide worden op dit moment toegepast c.q. onderzocht. Nzeribe et al. (2019) geven een overzicht van de stand van de techniek van verschillende processen om PFAS te mineraliseren (zie Tabel 2). Hieruit blijkt dat elektrochemische processen, sonolyse, reductie en plasma-technologie in staat worden geacht om PFAS geheel af te breken.

Tabel 2: mogelijkheid om PFAS te mineraliseren met verschillende technieken (Nzeribe et al. 2019)

| Technologie                                                                    | Complete mineralisatie mogelijk |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|
|                                                                                | PFOA                            | PFOS |
| Geactiveerd persulfaat                                                         | Nee                             | Nee  |
| Electrochemische oxidatie                                                      | ja                              | ja   |
| Sonolyse (geavanceerde oxidatie gebaseerd op behandeling met ultrasoon geluid) | Ja                              | Ja   |
| Fotochemische oxidatie                                                         | Ja                              | Ja   |
| Reductieprocessen                                                              | Ja                              | Ja   |
| Plasma-technologie                                                             | Ja                              | Ja   |

Zoals hierboven gemeld worden ARPs gekenmerkt door de aanwezigheid van zowel als  $H\bullet$  als  $e_{aq}^-$ , terwijl ook hydroxylradicalen ( $OH\bullet$ ) een rol kunnen spelen. In het huidige onderzoek ligt de nadruk op het gebruik van sulfiet als reductor, omdat hier eerder ervaring mee op is gedaan (Hofman-Caris et al. 2021), en het reactieproduct hiervan sulfaat is, wat volgens het drinkwaterbesluit tot een concentratie van 150 mg/L in drinkwater mag voorkomen. Sulfiet wordt met behulp van UV-straling omgezet in uiteindelijk sulfaat (Hofman-Caris et al. 2021), waarbij diverse reactieve componenten worden gevormd. Hiervoor bleek een middendruk (MD) UV-lamp effectiever te zijn dan een lage druk UV-lamp (LD), omdat het absorptiemaximum van sulfiet onder 220 nm ligt.

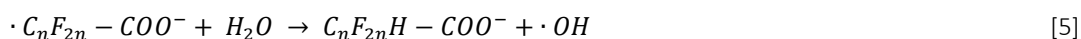
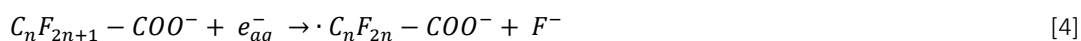
Tijdens de reacties van sulfiet wordt sulfaat gevormd, wat tot in een concentratie van 150 mg/L in drinkwater aanwezig mag zijn (Nederlandse Overheid 2021). Dit geeft over het algemeen enige speelruimte om dit proces toe te voegen, zonder dat er chemicaliën hoeven te worden toegevoegd die mogelijk tot problemen leiden.

De reacties die onder anoxische omstandigheden plaatsvinden in een UV/ $SO_3^{2-}$ -proces zijn in de literatuur door diverse auteurs beschreven (Liu et al. 2013, Jung et al. 2014, Xiao et al. 2017, Yazdanbakhsh et al. 2018, Yu et al. 2018, Cui et al. 2020). Hierbij worden elektronen gevormd, die met hun negatieve lading de watermoleculen in de omgeving polariseren, waardoor ze als het ware een mantel om het elektron heen vormen, en er een soort metastabiele component ontstaat, die met bv. PFAS kan reageren. Hun halfwaardetijd is meer dan 300  $\mu s$  (Cui et al. 2020). De gerapporteerde reactiesnelheidsconstanten variëren van  $10 M^{-1}s^{-1}$  tot diffusie-gecontroleerde reacties,

maar de activeringsenergie lijkt tussen 6 en 30 kJ/mol te liggen, wat aangeeft dat de kinetiek wordt beperkt door de beschikbaarheid van een vrije orbitaal op het molecuul waarmee een reactie wordt aangegaan.

Een uitgebreid overzicht van alle reacties die plaatsvinden en de veronderstelde reactiemechanismen is weergegeven in het aanpalende rapport BTO.2024-001 (Hofman-Caris et al. 2024)

Bij een carboxylzuur als PFOA is de CF<sub>2</sub> op de α-plaats naast de carboxylgroep, het meest reactief, door het inductieve effect van die kopgroep. Wanneer daar een elektron wordt opgenomen, wordt de α-C-F binding uitgerekt, waardoor die binding gemakkelijker verbroken kan worden. F wordt vervolgens vervangen door H, volgens vergelijkingen [4] en [5].

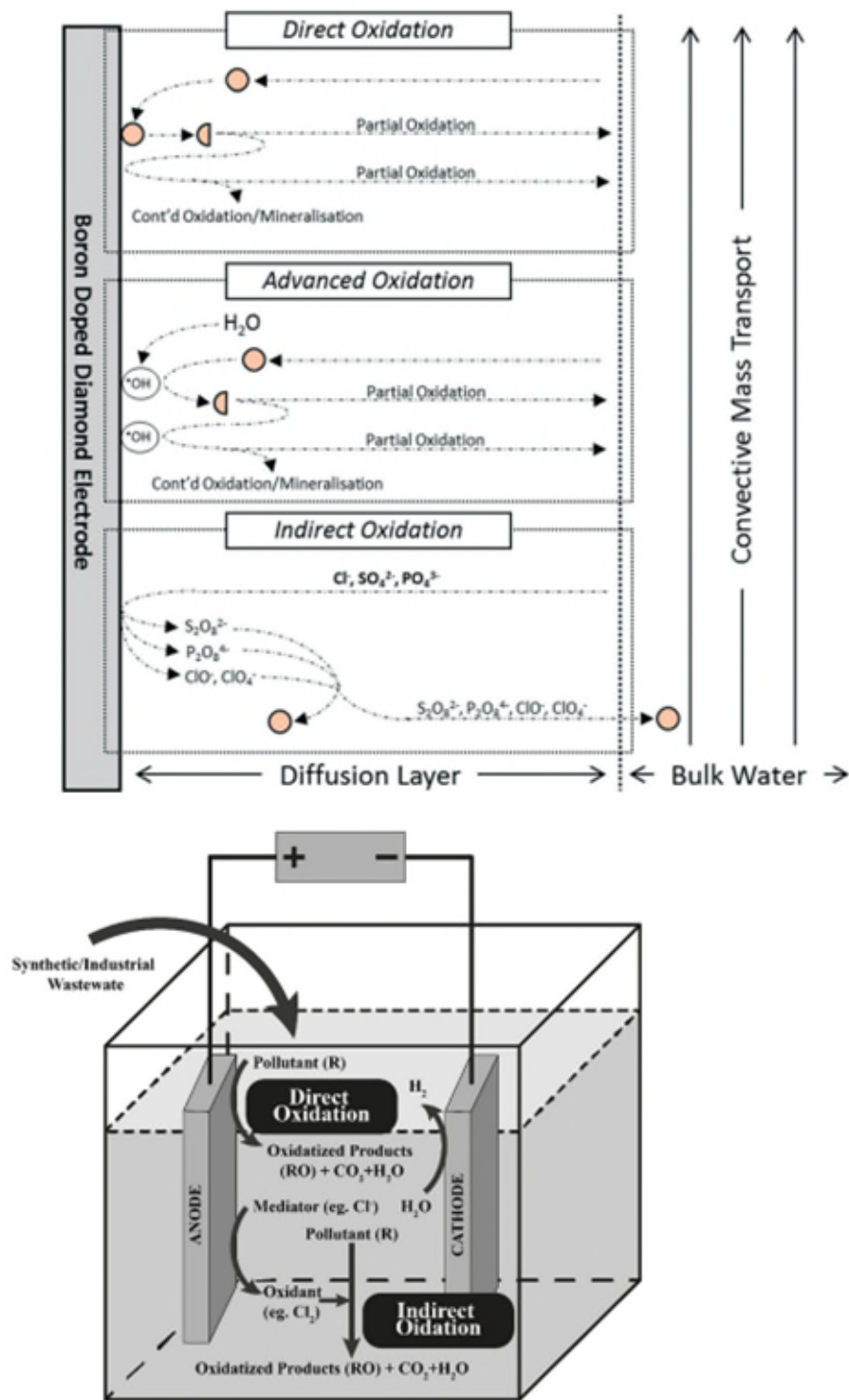


### 2.3 Anodische oxidatie

Bij anodische oxidatie worden organische stoffen op de oppervlakte van de anode afgebroken door “direct electron transfer (photo) electro-catalytic oxidation”, (P)ECO, ‘direct oxidation’ en door reactie met hydroxylradicalen (electrochemical anodic oxidation, EAO, geavanceerde oxidatie) (zie ook Figuur 3). Deze (hydroxyl-) radicalen worden gevormd door oxidatie van water aan het oppervlak van een anode ((De Waal 2021)). Een overzicht van de mechanismen onderliggend aan radicaalvorming is gegeven in Figuur 3 en in vergelijking [6].



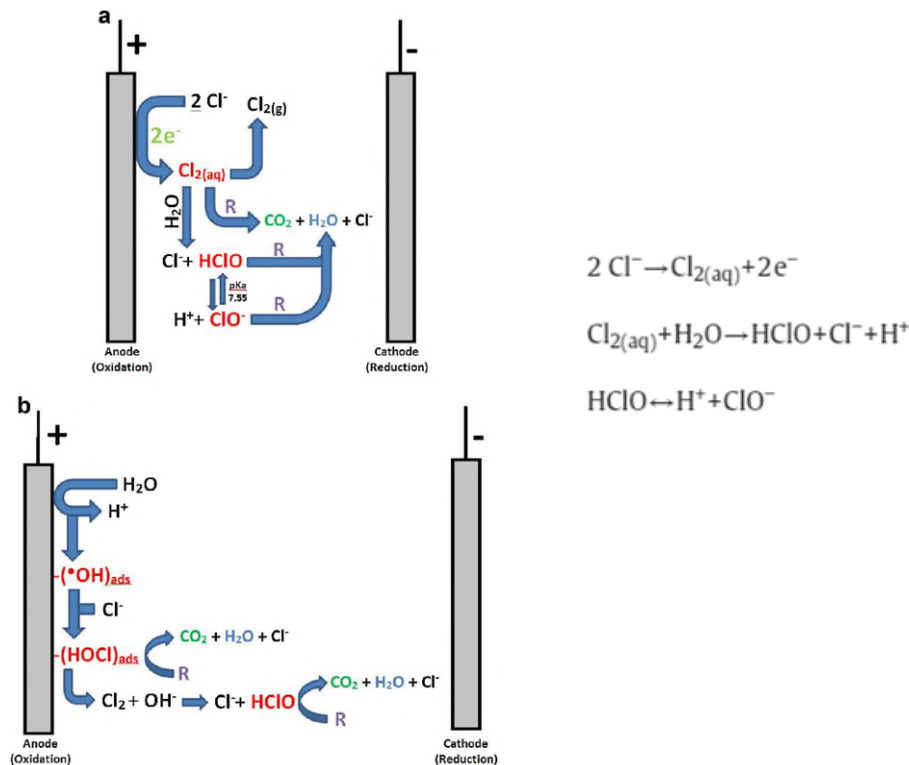
In deze vergelijking is M het materiaal van de anode. De gevormde elektronen kunnen fluoratomen van de koolstofketen losbreken, waarbij fluoride-ionen gevormd worden. De gevormde radicalen reageren met de in de oplossing aanwezige organische stoffen waarbij deze worden afgebroken. Een veel gebruikt en onderzocht anodemateriaal is de zogenaamde boron-doped diamond (BDD) elektrode vanwege zijn hoog katalytisch vermogen voor de vorming van hydroxyl-radicalen. Hoewel tot op heden het uitgevoerde onderzoek zich met name heeft gefocust op afbraak van OMV's in een afvalwater matrix, neemt de behoefte aan toepassingen voor drinkwaterbereiding toe, bijvoorbeeld vanwege de veranderende kwaliteit van drinkwaterbronnen. Doelstofgroepen voor verwijdering door anodische oxidatie zijn kleurstoffen, medicijn(resten) en drugs, kunstmest, pesticiden en insecticiden, en perfluorverbindingen (PFAS). Ook bacteriën kunnen worden geïnactiveerd door middel van dit proces ((De Waal 2021)).



Figuur 3: Overzicht van anodische oxidatiemechanismen voor afbraak van organische componenten ((McBeath et al. 2019, Sivagami et al. 2023))

Naast oxidatie door tijdens het proces gevormde hydroxylradicalen, is ook oxidatie door elektrochemisch gemaakte chloor-actieve stoffen mogelijk als EO-proces, dat kan worden toegepast om organische stoffen te verwijderen. Het principe van indirecte EO is in dit geval de oxidatie van chloride-anionen op de anode waardoor chloor vrijkomt, zoals weergegeven in Figuur 4. Wanneer het gegenereerde chloor van de anode diffundeert, wordt het snel

gehydrolyseerd, waardoor HClO en Cl<sup>-</sup> ontstaan (Garcia-Segura et.al, 2018). Wellicht zou een dergelijk proces met fluorideverbindingen ook kunnen plaatsvinden.

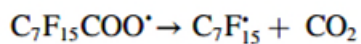
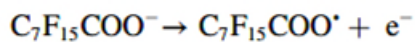


Figuur 4: Het ontstaan van chloor-actieve stoffen bij het toepassen van elektrochemische oxidatie (Garcia-Segura et. al, 2018)

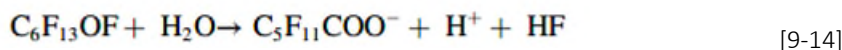
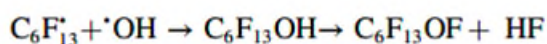
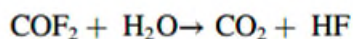
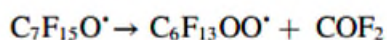
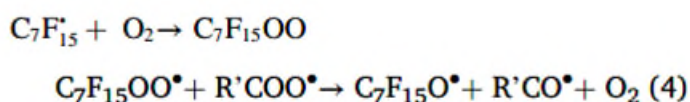
In de literatuur zijn recent vrij veel publicaties te vinden waarbij de elektrochemische oxidatie van PFAS is onderzocht (zie Figuur 3 en Figuur 4, Tabel 3 en Tabel 4). Hieruit blijkt dat de BDD-elektrodes vrij veel zijn toegepast bij onderzoek.

In principe kan de afbraak van PFAS via twee routes verlopen: een route met radicalen en één gebaseerd op radicaaloverdracht (Sharma et al. 2022). Beide routes zijn hieronder in meer detail weergegeven.

Route 1: radicaalprocessen

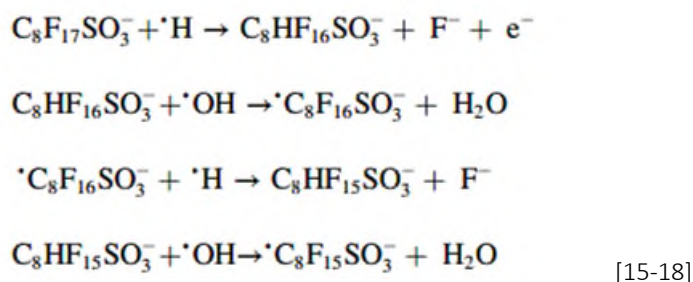


[7,8]

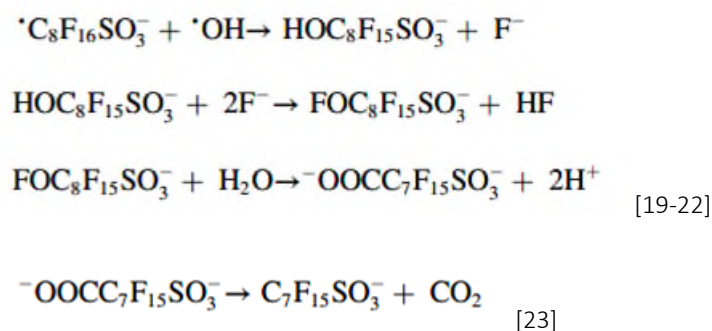


Dit proces kan zich verder herhalen, totdat in principe de PFAS volledig is afgebroken.

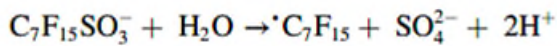
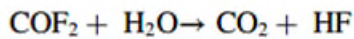
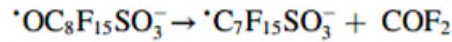
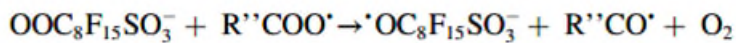
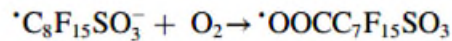
In het geval dat PFOS wordt geoxideerd, worden eerst twee fluoride-ionen geëlimineerd, waarbij  $\text{C}_8\text{F}_{15}\text{SO}_3^-$  wordt gevormd (zie vergelijking 15-18)



Ondertussen zou hydroxylering optreden, terwijl hydrolyse van het verkregen product en een daaropvolgende Kolbe decarboxylatie reactie perfluorheptylsulfaatradicalen zou opleveren (vergelijking 19-22):

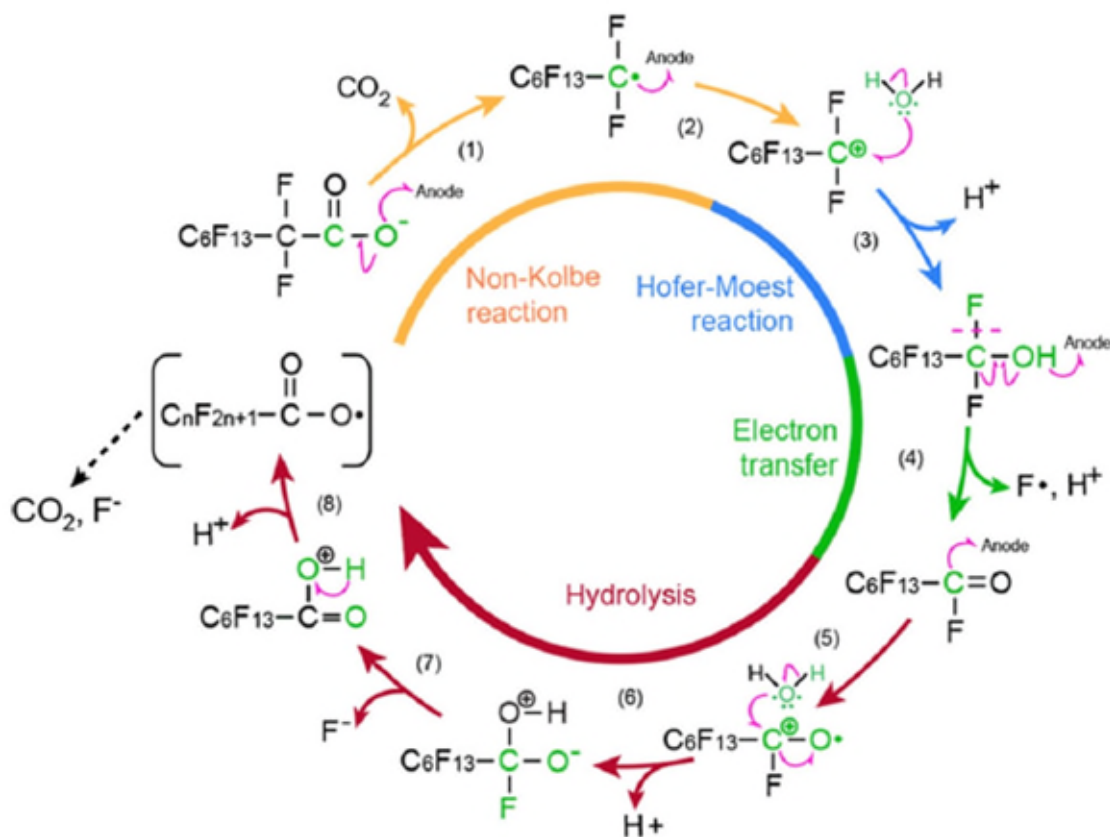


Daarnaast kan er een reactie optreden van  $\bullet\text{C}_8\text{F}_{15}\text{SO}_3^-$  met zuurstof en later met perfluoralkoxy radicalen. Het verkregen radicaal kan dan verder worden afgebroken tot een perfluorhexylsulfaatradicaal en carbonylfluoride, waarbij het eerste wordt gehydrolyseerd tot een perfluorhexylradicaal.



[24-2f8]

Route 2 met radicaaloverdracht is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Afbraak van PFOA zonder radicalen maar via elektrontransfer (Sharma et al. 2022)

Figuur 5 laat duidelijk zien dat de afbraak een soort cyclus volgt, waarbij PFAS steeds verder wordt afgebroken totdat uiteindelijk het totale molecuul is afgebroken.

De samenstelling en poriestructuur van de elektrodes spelen een belangrijke rol in de effectiviteit van de elektrolyse (Sharma et al. 2022). De hoge porositeit en met name ook het poreuze netwerk van Ti<sub>4</sub>O<sub>7</sub> elektrodes faciliteren stoftransport, en bieden een voldoende groot oppervlak voor de reactie om plaats te vinden. Verder speelt de geleidbaarheid van het elektrolyet een rol, omdat het de dikte van de dubbellaag beïnvloedt en daarmee het transport van ionen erheen en er vanaf. De benutting van de elektrodes, en daarmee het doordringen van het

elektrolyet in de poriën, wordt beïnvloed door de viscositeit en de oppervlaktespanning van het elektrolyet. Te kleine poriën bemoeilijken het transport van ionen in de elektrode.

Inmiddels zijn er al diverse studies uitgevoerd aan de elektrochemische afbraak van PFAS met verschillende BDD elektrodes, zoals te zien is in Tabel 3, die een overzicht geeft van de verschillende PFAS en elektrolyten die zijn bestudeerd. Ook laat deze tabel zien welke stroomsterktes en reactietijden hiervoor zijn toegepast, en in welke grootte-orde de reactiesnelheidsconstanten liggen. Dit biedt aanknopingspunten voor verder onderzoek naar deze afbraakmethode.

Tabel 3: Tabel uit Sharma et.al (2022) met recente studies van PFAS afbraak met verschillende BDD elektrodes

| Electrode                                  | Type of PFAS                            | Current density (mA/cm <sup>2</sup> ) | Electrolyte                                                   | Reaction time (min) | % removal  | Rate constant                                                     |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|------------|-------------------------------------------------------------------|
| BDD (ultra-nano crystalline coating on Nb) | PFOA (15 mg/L)                          | 50                                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1500 mg/L)                   | 480                 | –          | 1.4 ± 0.027 h <sup>-1</sup>                                       |
| BDD (ultra-nano crystalline coating on Nb) | PFOS (10 mg/L)                          | 50                                    | NaCl (167 mg/L) + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1500 mg/L) | 480                 | –          | 0.37 ± 0.017 h <sup>-1</sup>                                      |
| BDD (ultra-nano crystalline coating on Nb) | Perfluoroheptane sulfonic acid (1 mg/L) | 50                                    | NaCl (167 mg/L) + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1500 mg/L) | 480                 | –          | 0.25 ± 0.015 h <sup>-1</sup>                                      |
| BDD (ultra-nano crystalline coating on Nb) | Perfluorohexane sulfonic acid (1 mg/L)  | 50                                    | NaCl (167 mg/L) + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1500 mg/L) | 480                 | –          | 0.11 ± 0.0098 h <sup>-1</sup>                                     |
| BDD                                        | PFOA (0.5 mM)                           | 5                                     | NaClO <sub>4</sub> (20 mM)                                    | 180                 | 98.8 ± 1.9 | 2.7 × 10 <sup>-2</sup> ± 6.6 × 10 <sup>-4</sup> min <sup>-1</sup> |
| BDD (micro crystalline coating on Si)      | PFOA (0.24 mM)                          | 5                                     | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5 g/L)                       | 240                 | 100        | <sup>a</sup> 0.3 m.h <sup>-1</sup>                                |
| BDD (ultra-nano crystalline coating on Nb) | PFOA (0.24 mM)                          | 5                                     | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5 g/L)                       | 240                 | 21         | <sup>a</sup> 0.006 m.h <sup>-1</sup>                              |
| BDD                                        | Linear PFOS (2 µM)                      | 10                                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (100 mM)                      | 20                  | 85.7       | <sup>a</sup> 4.19 × 10 <sup>-5</sup> m.s <sup>-1</sup>            |
| BDD                                        | Branched PFOS (2 µM)                    | 10                                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (100 mM)                      | 20                  | 84.6       | <sup>a</sup> 4.79 × 10 <sup>-5</sup> m.s <sup>-1</sup>            |
| BDD                                        | PFOA (10 mg/L)                          | 21.4                                  | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (14.2 g/L)                    | 240                 | 99.5       | –                                                                 |
| BDD (high boron doping)                    | PFOA (0.1 mg/L) (water matrix)          | 25                                    | Phosphate buffer (100 mM)                                     | 480                 | 95         | –                                                                 |
| BDD (low boron doping)                     | PFOS (0.1 mg/L) (water matrix)          | 25                                    | Phosphate buffer (100 mM)                                     | 480                 | 84         | –                                                                 |
| BDD (high boron doping)                    | PFOA (0.1 mg/L) (landfill leachate)     | 75                                    | –                                                             | 480                 | 81         | –                                                                 |
| BDD (low boron doping)                     | PFOS (0.1 mg/L) (landfill leachate)     | 75                                    | –                                                             | 480                 | 75         | –                                                                 |

<sup>a</sup> Surface area normalized reaction rate constants.

In Tabel 4 wordt een vergelijking gegeven van de efficiëntie en het energieverbruik van verschillende methoden om PFAS af te breken. Over het algemeen blijkt gepaard te gaan met sonolyse het hoogste energieverbruik. Elektrochemische processen hebben een energieverbruik per log afbraak van PFAS van 5 – 132 kWh/m<sup>3</sup>, in combinatie met een hoge afbraak van PFAS. Dit maakt deze processen interessant voor toepassing op grote schaal.



Tabel 4: vergelijking van de efficiëntie en het energieverbruik (per log verwijdering) van elektrochemische oxidatie met BDD elektrodes met andere processen

| Treatment method           | Type of PFAS    | Experimental conditions                                                                                                                                 | Time (min) | Energy requirement (kWh/m <sup>3</sup> ) | Removal achieved |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------|------------------|
| Sonolysis                  | PFOA (0.1 ppm)  | Temperature = 10 °C, argon atmosphere, 250 W/L                                                                                                          | 140        | 448                                      | 95%              |
|                            | PFOS (0.1 ppm)  | Temperature = 10 °C, argon atmosphere, 250 W/L                                                                                                          | 140        | 1055                                     | 72%              |
|                            | PFOA (10 ppm)   | Temperature = 20 °C, argon atmosphere, 200 W                                                                                                            | 60         | 4045                                     | 85%              |
|                            | PFOS (10 ppm)   | Temperature = 20 °C, argon atmosphere, 200 W                                                                                                            | 58         | 11,345                                   | 48%              |
| Ultrasonication            | PFOA (50 ppm)   | Temperature = 25 °C, 150 W                                                                                                                              | 120        | 1475                                     | 79%              |
| Microwave                  | PFOA (253.8 µM) | Temperature = 90 °C, 70 W power, pH = 2, 5 mM persulfate                                                                                                | 240        | 2599                                     | 79.1%            |
| Electron beam              | PFOS (2 µM)     | Room temperature, electron accelerator of ELV 8, beam current = 40 mA, maximum power = 100 kW, pH = 5.74                                                | 20.75      | 556                                      | ~90%             |
| Photodegradation + boiling | PFOS (37.2 µM)  | Temperature = 102 °C, pH = 7, UV light (500 W)                                                                                                          | 240        | 1177                                     | 98%              |
| Photocatalysis             | PFOA (60 ppm)   | Room temperature, 0.5 g/L catalyst (Pt-TiO <sub>2</sub> ) concentration, pH = 3, UV light (125 W)                                                       | 420        | 1458                                     | 100%             |
|                            | PFOS (20 ppm)   | Temperature = 38–50 °C, UV light (32 W), catalyst = alkaline 2-propanol                                                                                 | 1440       | 9335                                     | 92%              |
| Electrochemical oxidation  | PFOA (100 ppm)  | Temperature = N/A, Ti/SnO <sub>2</sub> -Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /PbO <sub>2</sub> -polyvinylidene fluoride anode, NaClO <sub>4</sub> electrolyte | 180        | 144                                      | 92.1%            |
|                            | PFOA (0.5 mM)   | Room temperature (25 °C), Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> anode, 20 mM NaClO <sub>4</sub> as electrolyte current density = 5 mA/cm <sup>2</sup>          | 180        | 5                                        | >99.9%           |
|                            | PFOS (0.1 mM)   | Room temperature (25 °C), Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> anode, 20 mM NaClO <sub>4</sub> as electrolyte current density = 5 mA/cm <sup>2</sup>          | 180        | 32                                       | 93.1%            |
|                            | PFOA (4.14 ppm) | Room temperature (25 °C), Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> REM anode                                                                                      | N/A        | 5.1                                      | > 99.9 %         |
|                            | PFOS (5 ppm)    | Room temperature (25 °C), Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> REM anode                                                                                      | N/A        | 6.7                                      | > 99.9 %         |

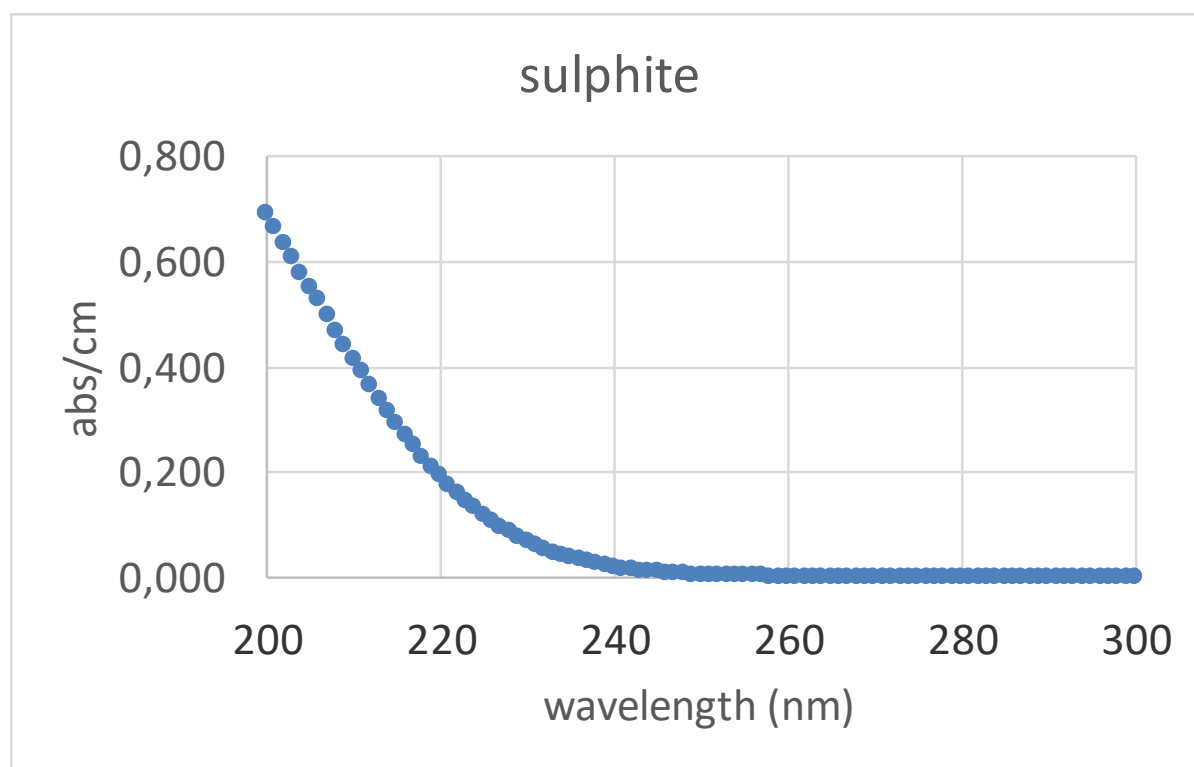
N/A: Not available.



## 2.4 Modelleren van ARPs

Aan de hand van literatuurbedata is geprobeerd een model te maken dat de afbraak van PFAS tijdens ARPs beschrijft. Hiervoor is gebruik gemaakt van (beperkte) data die in de literatuur beschikbaar zijn. (Fennell et al. 2022) en (Fennell et al. 2022) geven een quantum yield<sup>3</sup> van 0.116 en molaire absorptie van  $\sim 18$  L/mol/cm (voor 254 nm) voor sulfiet. Duan and Batchelor (2014) rapporteren een quantum yield voor het UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> systeem van  $0,018 \pm 0,0018$  mol/Einstein, terwijl Xiao et al. (2017) een waarde van  $0,109 \pm 0,001$  mol/Einstein geven voor gehydrateerde elektronen (e<sub>aq</sub><sup>-</sup>), en  $0,034 \pm 0,001$  mol/Einstein voor waterstofradicalen. Bij gebruik van een lagedruk UV-lamp in combinatie met H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> werd door Wols et al. (2014) een quantum yield van 0,5 vastgesteld, wat aanzienlijk hoger is dan de quantum yields die bij ARP voorkomen. Volgens (Li et al. 2012) is de quantum yield voor de vorming van gehydrateerde elektronen bij een lagedruk UV-lamp (golflengte 253,7 nm) in anoxisch Milli-Q water  $0,116 \pm 0,002$  mol/Einstein, met een molaire extinctiecoëfficiënt voor SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> van  $18,14$  mol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>. Deze waarden zijn in goede overeenstemming met elkaar. Het betekent dat de molaire extinctiecoëfficiënt voor het UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> systeem vergelijkbaar is met die van H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, maar dat de quantum yield een factor 20 lager is.

Het absorptiespectrum van sulfiet is in een eerder onderzoek gemeten (Hofman-Caris et al. 2021) (zie Figuur 6).



Figuur 6: absorptiespectrum van sulfiet (Hofman-Caris et al. 2021)

Omdat de hoogste absorptie voorkomt bij golflengtes < 240 nm is voor dit onderzoek gekozen voor het gebruik van een middendruk UV-lamp, die ook straling in dit gebied uitzendt.

<sup>3</sup> De kwantumopbrengst is de verhouding tussen het aantal gevormde gehydrateerde elektronen en het aantal geabsorbeerde fotonen

De instellingen van het model, voor zowel lage druk (LD) als middendruk (MD)-lampen zijn weergegeven in Bijlage I<sup>4</sup>. Hieruit blijkt dat met name de nitraatconcentratie een sterke invloed heeft op de afbraak van PFAS met behulp van  $e_{aq}^-$ , doordat het als radicaalvanger optreedt. Doordat er in concentraat een relatief hoge concentratie aan zouten voorkomt, voorspelt het model hierin een lage afbraak van PFAS met behulp van geavanceerde reductie. Overigens zou het de moeite waard kunnen zijn te onderzoeken of dit effect kan worden tegengegaan door vacuüm UV (VUV) toe te passen, omdat VUV-straling ook nitraat omzet.

In het onderzoek is dan ook gekeken naar de invloed van de nitraatconcentratie op de afbraak van PFAS in UV/SO<sub>3</sub>/KI processen.

---

<sup>4</sup> In de drinkwaterproductie worden kwiklampen (zowel middendruk als lage druk) toegepast. Er wordt onderzoek gedaan naar vacuüm-UV lampen (VUV; 185 nm), die mogelijk effectiever zijn voor de afbraak van C-F bindingen. Onder andere Wetsus doet hier onderzoek naar. Dergelijke lampen worden in de drinkwaterzuivering niet toegepast, en om nevenreacties te voorkomen worden deze korte golflengtes tegengehouden.

## 3 Materiaal en methoden

### 3.1 Watermatrix

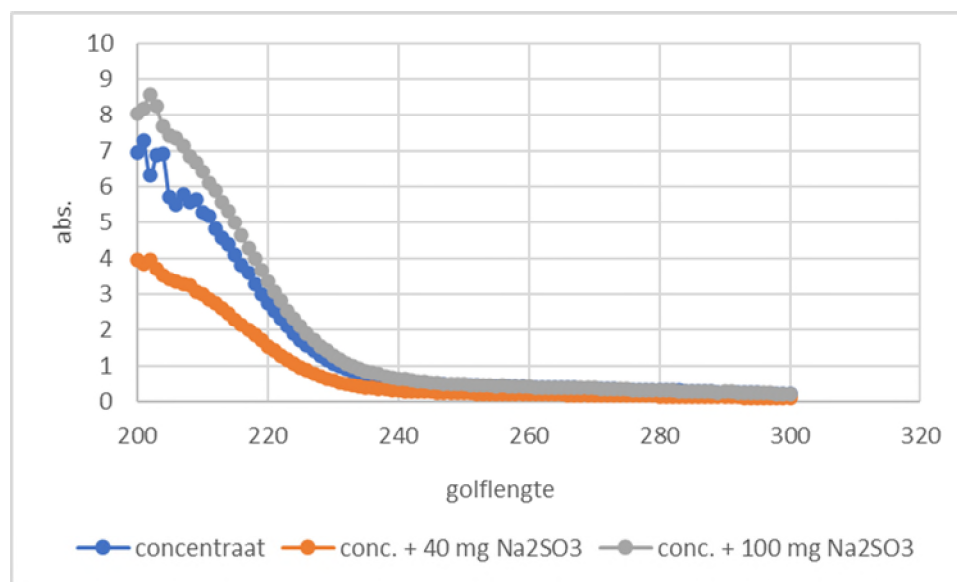
ARP-experimenten zijn uitgevoerd in Milli-Q, drinkwater van Nieuwegein en concentraat van PWN uit Heemskerk. Een deel van de ARP-experimenten in Milli-Q en drinkwater is beschreven in in BTO 2024.001 (Hofman-Caris et al. 2024), maar de experimenten met verschillende nitraatgehaltes in Milli-Q en drinkwater worden in dit rapport beschreven.

Anodische oxidatie is alleen uitgevoerd in het concentraat van PWN uit Heemskerk.

#### 3.1.1 Concentraatstroom

Dit onderzoek is uitgevoerd in een concentraat monster van PWN uit Heemskerk. Het betreft voorgezuiverd IJsselmeerwater, dat is behandeld met coagulatie/sedimentatie en zandfiltratie, gevolgd door ultrafiltratie en omgekeerde osmose in deelstroom. Het onbehandelde concentraat heeft een elektrische geleidbaarheid van 260 – 350 mS/m en een nitraatgehalte van 5 – 45 mg/L. Op grond van het model, zie Bijlage I, is de verwachting dat andere componenten (zouten) uit de concentraatmatrix een veel kleiner effect zullen hebben dan nitraat.

De UV-scan van dit water is gegeven in Figuur 7. Deze data zijn alleen van belang voor de ARP-testen, niet voor elektrochemische processen. Omdat UV-absorptie van het water bij 253,7 nm (de golflengte die een lage druk UV-lamp uitzendt) erg laag is, is ervoor gekozen een middendruk UV-lamp toe te passen (met een golflengtebereik van 200 - 300 nm).



Figuur 7: UV-scan van het concentraat uit Heemskerk, ook na toevoeging van 40 of 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> per liter.

Er zijn twee series ARP experimenten uitgevoerd met concentraat, één met een concentraat van maart/april 2023 en één met een concentraat van mei 2023. De samenstelling van deze beide matrices is weergegeven in Tabel 10 in Bijlage II. Metaalgehalten werden gemeten met behulp van ICP-MS Scan.

Hieruit blijkt dat het concentraat nitraat bevat, dat volgens ons model (Hofman-Caris et al. 2024) de reductie van de C-F binding zou kunnen storen. Daarom zijn er ook experimenten uitgevoerd met concentraat uit mei 2023, dat twee of vier keer verdund was met drinkwater van Nieuwegein. Het nitraatgehalte hierin is weergegeven in Tabel 5. Een uitgebreid overzicht van de samenstelling van de concentraatmatrix is weergegeven in Tabel 10 in Bijlage II.

Tabel 5: nitraatgehalten in (verdund) concentraat (conc.) van Heemskerk en drinkwater (DW) van Nieuwegein; mei 2023

| Monster                        | Nitraat (mg N/L) |
|--------------------------------|------------------|
| Conc. pH 12                    | 3,9              |
| Conc. pH 12, twee keer verdund | 2,0              |
| Conc. pH 12, vier keer verdund | 0,67             |
| DW Nieuwegein                  | <0,05            |

3.1.2 Milli-Q water en drinkwater

Een deel van de ARP experimenten (bij hogere pH-waarden) is uitgevoerd in Milli-Q water. Uit de literatuur blijkt namelijk dat reductie van PFAS beter verloopt bij hogere pH waarden ( $\geq 10$ ), maar toepassing van een hogere pH in concentraat leidt tot de vorming van neerslag daarin en is daarom niet mogelijk. De meeste experimenten in Milli-Q zijn gerapporteerd in BTO 2024.001 (Hofman-Caris et al. 2024), maar een aantal experimenten in Milli-Q is in dit rapport beschreven. Dat betreft de experimenten met verschillende nitraatgehalten, omdat in de loop van het onderzoek het vermoeden opkwam dat de aanwezigheid van nitraat de afbraak van PFAS verstoort. Ook in drinkwater van Nieuwegein zijn experimenten uitgevoerd met verschillende nitraatgehalten. Deze nitraatgehalten zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: nitraatgehalte in Milli-Q (MQ) en drinkwater (DW) monsters

| Monster              | Nitraat (mg N/L) |
|----------------------|------------------|
| MQ                   | < 0,05           |
| MQ 0,5 mg N/L, pH 12 | 0,43             |
| MQ 1 mg N/L, pH 12   | 1,0              |
| MQ 2 mg N/L, pH 12   | 2,0              |
| DW Nieuwegein        | < 0,05           |
| DW 0,5 mg N/L, pH 12 | 0,65             |
| DW 1 mg N/L, pH 12   | 0,91             |
| DW 2 mg N/L, pH 12   | 1,9              |

3.2 PFAS dosering en analyse

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de standaard stockoplossing van KWR. De analysegrenzen en de concentraties in de stockoplossing zijn gegeven in Tabel 7.

Tabel 7: overzicht van PFAS stockoplossing met analysegrenzen

| PFAS                            | Afkorting  | Cas nummer | Rapportagegrens (ng/l) drinkwater en oppervlaktewater (SPE) | Concentratie in stockoplossing (mg/L) |
|---------------------------------|------------|------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Perfluoro-nbutanoic acid        | PFBA       | 375-22-4   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-nhexanoic acid        | PFHxA      | 307-24-4   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-nheptanoic acid       | PFHpA      | 375-85-9   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-noctanoic acid        | PFOA       | 335-67-1   | 0.50                                                        | 0,26                                  |
| Perfluoro-nnonanoic acid        | PFNA       | 375-95-1   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-ndecanoic acid        | PFDA       | 335-76-2   | 0.50                                                        | 0,26                                  |
| Perfluoro-nundecanoic acid      | PFUnDA     | 2058-94-8  | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-ndodecanoic acid      | PFDoDA     | 307-55-1   | 0.50                                                        | 0,26                                  |
| Perfluoro-ntridecanoic acid     | PFTrDA     | 72629-94-8 | 3.0                                                         | 0,26                                  |
| Perfluoro-nbutanesulfonic acid  | PFBS       | 375-73-5   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoropentane sulfonic acid  | PFPS/PFPeS | 2706-91-4  | 0.50                                                        | 0,24                                  |
| Perfluoro-nhexanesulfonic acid  | PFHxS      | 355-46-4   | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-nheptanesulfonic acid | PFHpS      | 375-92-8   | 0.50                                                        | 0,24                                  |
| Perfluoro-noctanesulfonic acid  | PFOS       | 1763-23-1  | 0.50                                                        | 0,25                                  |
| Perfluoro-ndecanesulfonic acid  | PFDS       | 335-77-3   | 0.50                                                        | 0,24                                  |

De stockoplossing was gemaakt in september 2021, en het was bekend dat vanaf C8 de concentraties PFAS lager waren geworden in de tijd, mogelijk door adsorptie aan de fleswand (hiervoor wordt polypropyleen gebruikt, omdat dat de minste adsorptie geeft, maar adsorptie helaas toch niet volledig voorkomen kan worden). De in Tabel 7 genoemde rapportagegrenzen worden gehaald als 500 ml drinkwater of oppervlaktewater in behandeling wordt genomen, maar in dit geval was er 150 ml concentraat beschikbaar. Dit betekent dat de rapportagegrenzen ongeveer een factor drie hoger werden.

De PFAS werden gedoseerd op een theoretische concentratie van 100 ng/L (tot zover loopt de calibratiecurve). De werkelijke concentraties werden door middel van analyse vastgesteld, want het was al bekend dat de concentratie van sommige, relatief grote PFAS-moleculen, in de stockoplossing lager was dan berekend. Bovendien bevat het gebruikte concentraat mogelijk ook zelf al PFAS.

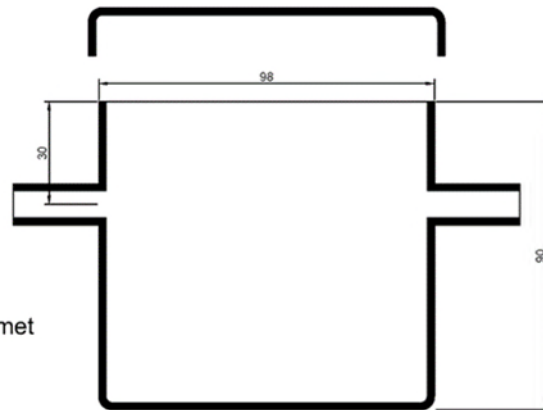
Voor de analyses worden concentraatmonsters voorbereid met vaste fase extractie (SPE) en geanalyseerd met behulp van vloeistofchromatografie-hoge-resolutie-massaspectrometrie (LC-HR-MS) op de hierboven genoemde vijftien PFAS.

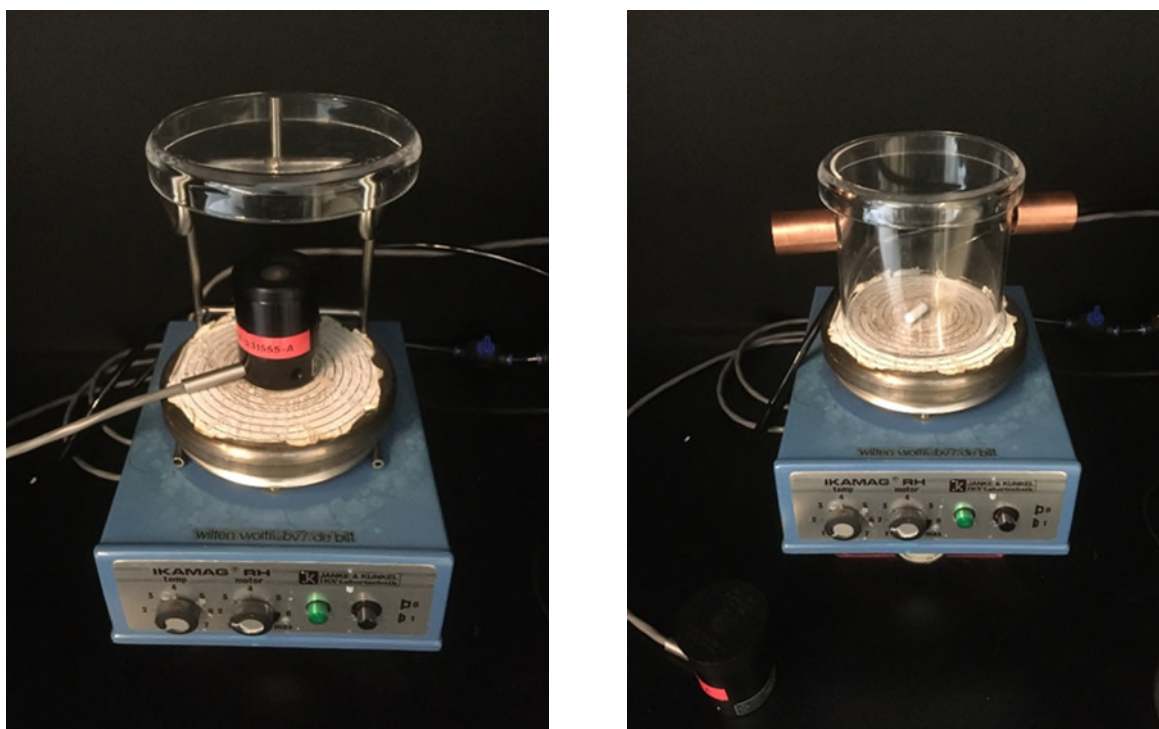
Experimenten zijn uitgevoerd in Milli-Q water (al dan niet na toevoegen van  $\text{NaNO}_3$ ), drinkwater en concentraat van de drinkwaterzuivering in Heemskerk (zie Tabel 5 en Tabel 6).

### 3.3 Reductiereacties

Alle experimenten zijn uitgevoerd in de collimated beamopstelling van KWR (Hofman-Caris et al. 2012). Om gebruik te kunnen maken van gehydrateerde elektronen is het belangrijk de reacties uit te voeren onder anaerobe condities. Hiervoor is een speciale petrischaal gemaakt, die volledig kan worden afgesloten en onder stikstof-atmosfeer kan worden gebruikt. Dit vat is gemaakt van kwartsglas, en om onder de juiste omstandigheden de petrifactor te kunnen bepalen is er een extra houder beschikbaar, waarop het deksel van de petrischaal kan worden geplaatst. Dit is weergegeven in Figuur 8.

petri schaalje van kwarts glas  
voorzien van twee aansluitingen met  
schroefdraad, korte uitvoering  
losse deksel erbij mee leveren.  
van beide twee stuks





*Figuur 8: Boven: schematische weergave petriskaal voor werken onder anaerobe omstandigheden. Linksonder: opstelling om petrifactor te bepalen. Rechtsonder: petriskaal voor werk onder anaerobe omstandigheden.*

Als voorbereiding op de CB testen zijn er testen uitgevoerd waarbij is bepaald hoe de te bestralen oplossing anaeroob kan worden gemaakt/gehouden. Op basis van deze testen is er voor de volgende opzet gekozen.

150 ml te testen oplossing wordt in de petriskaal (zonder deksel) gebracht en geroerd. Daarna wordt de oplossing gedurende 10 minuten doorgeblazen met stikstof. Vervolgens wordt de stikstoftoevoer uit de oplossing gehaald en boven de oplossing geplaatst. Ook wordt het deksel op de petriskaal geplaatst. Na 5 minuten worden PFAS en sulfiet ( $\text{Na}_2\text{O}_3$ ) toegevoegd. De slang wordt richting de zijkant van de petriskaal geplaatst (zodat deze niet in het UV-licht valt). Daarna wordt de oplossing gedurende een bepaalde tijd bestraald (op basis van berekening spreadsheet Bolton) (Bolton and Linden 2003).

Alle oplossingen worden zoveel mogelijk in flessen/maatcilinders/kolven van polypropyleen bereid om aanhechting van PFAS te minimaliseren. De PFAS stockoplossing wordt verder verdund tot  $10 \mu\text{g/L}$ . De testen worden uitgevoerd met een oplossing van  $100 \text{ ng/L}$  toegevoegde PFAS-oplossing aan RO concentraat van Heemskerk ( $1,5 \text{ ml } 10 \mu\text{g/L}$  PFAS in  $150 \text{ ml}$ ).

Alle testen worden uitgevoerd met een middendruk (MD)-UV lamp (Philips HOK 20/100) waarbij de afstand tussen de lamp en het bestraalde oppervlak  $60 \text{ cm}$  is en onder anaerobe condities. Er worden 5 UV-doses toegepast ( $0$ ,  $500$ ,  $1000$ ,  $2000$  en  $3000 \text{ mJ/cm}^2$ ). De testen worden uitgevoerd met verschillende  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  concentraties van respectievelijk  $40$  of  $100 \text{ mg Na}_2\text{SO}_3/\text{L}$  en bij een pH van circa  $8$  (aangenomen dat dit de gebruikelijke pH-waarde van het concentraat is) en pH  $10$  (zou optimum moeten zijn) en  $12$ . pH-waardes worden ingesteld met behulp van  $0,1 \text{ M NaOH}$  (indien nodig  $0,1 \text{ M HCl}$ ).

Omdat de modellering (zie paragraaf 2.34) aangaf van het  $\text{UV}/\text{SO}_3^{2-}$  proces mogelijk minder effectief is in oplossingen met een hoge zoutconcentratie (zoals concentraat), en in de literatuur was vastgesteld dat het toevoegen van Kalium jodide (KI) aan het systeem bij pH  $12$  de reductie van PFAS zou bevorderen (Liu et al. 2022), zijn ook enkele experimenten uitgevoerd waarbij KI is toegevoegd. Verder ontstond het vermoeden dat de aanwezigheid van nitraat een negatieve invloed op de afbraak van PFAS kan hebben.

In Tabel 8 zijn de testcondities van de BTO PFAS testen weergegeven. Deze serie experimenten maakte deel uit van een uitgebreidere serie, die ook is beschreven in BTO 2024-001 (Hofman-Caris et al. 2024).

Tabel 8: : overzicht van ARP experimenten voor project 402045/292 en voor project 402045/329. MQ = Milli-Q water, DW = drinkwater van Nieuwegein, Conc. = concentraat van Heemskerk.

| Experiment | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> -conc.<br>(mg/L) | KI-concentratie<br>(mg/L) | pH | matrix    |
|------------|--------------------------------------------------|---------------------------|----|-----------|
| A          | 50                                               | 200                       | 8  | DW        |
| B          | 50                                               | 200                       | 10 | DW        |
| C          | 100                                              | 200                       | 12 | DW+2N     |
| D          | 50                                               | 200                       | 12 | DW        |
| E          | 100                                              | 200                       | 8  | DW        |
| F          | 100                                              | 200                       | 10 | DW        |
| G          | 100                                              | 200                       | 12 | DW        |
| H          | 100                                              | 200                       | 12 | MQ + 0,5N |
| I          | 100                                              | 200                       | 12 | DW + 0,5N |
| J          | 100                                              | 200                       | 12 | DW + 1N   |
| K          | 100                                              | 200                       | 12 | MQ + 1N   |
| L          | 100                                              | 200                       | 12 | MQ + 2N   |
| M          | 50                                               | 100                       | 12 | DW        |
| N          | 100                                              | 200                       | 12 | CONC      |
| O          | 100                                              | 200                       | 12 | CONC 2VV  |
| P          | 100                                              | 200                       | 12 | CONC 4VV  |
| Q          | 50                                               | 200                       | 12 | MQ + 1N   |
| R          | 50                                               | 100                       | 12 | MQ + 1N   |
| S          | 50                                               | 200                       | 10 | CONC      |
| T          | 50                                               | 200                       | 12 | CONC      |
| U          | 50                                               | 200                       | 8  | CONC      |
| V          | 100                                              | 200                       | 10 | CONC      |
| W          | 300                                              | 100                       | 8  | MQ        |
| X          | 300                                              | 100                       | 10 | MQ        |
| Y          | 0                                                | 100                       | 12 | MQ        |
| Z          | 100                                              | 100                       | 12 | MQ        |
| Aa         | 500                                              | 100                       | 12 | MQ        |
| Ab         | 300                                              | 25                        | 12 | MQ        |
| Ac         | 300                                              | 100                       | 12 | CONC      |
| Ad         | 300                                              | 50                        | 12 | MQ        |
| Ae         | 300                                              | 100                       | 12 | MQ        |
| Af         | 500                                              | 200                       | 12 | MQ        |



|    |     |     |    |      |
|----|-----|-----|----|------|
| Ag | 300 | 200 | 12 | MQ   |
| Ah | 500 | 200 | 12 | CONC |
| Ai | 100 | 200 | 8  | CONC |
| Aj | 100 | 0   | 10 | MQ   |
| Ak | 100 | 0   | 12 | MQ   |
| Al | 300 | 100 | 8  | MQ   |
| Am | 300 | 100 | 10 | MQ   |
| An | 0   | 100 | 12 | MQ   |
| Ao | 100 | 100 | 12 | MQ   |
| Ap | 500 | 100 | 12 | MQ   |
| Aq | 300 | 25  | 12 | MQ   |
| Ar | 300 | 100 | 12 | CONC |
| As | 300 | 50  | 12 | MQ   |
| At | 300 | 100 | 12 | MQ   |
| Au | 500 | 200 | 12 | MQ   |
| At | 300 | 200 | 12 | MQ   |
| Av | 500 | 200 | 12 | CONC |
| Aw | 50  | 200 | 8  | DW   |

De gemeten pH-waarden zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: pH-waarden tijdens de experimenten. De pH lijkt niet significant te veranderen tijdens de experimenten

| datum      | monster                                                                                                  | pH    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 22-06-2022 | Concentraat                                                                                              | 8,12  |
| 22-06-2022 | Concentraat + 60 ng/L PFAS + 40 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                                     | 8,11  |
| 23-06-2022 | Concentraat + 60 ng/L PFAS + 40 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 0 mJ/cm <sup>2</sup>                | 8,17  |
| 24-06-2022 | Concentraat + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                                    | 8,08  |
| 24-06-2022 | Concentraat + 60 ng/L PFAS + 40 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 0 mJ/cm <sup>2</sup>                | 8,45  |
| 29-06-2022 | Concentraat + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 0 mJ/cm <sup>2</sup>               | 8,28  |
| 29-06-2022 | Concentraat                                                                                              | 8,20  |
| 13-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> pH=10                                   | 9,70  |
| 13-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> pH=10 0 mJ/cm <sup>2</sup>              | 9,51  |
| 15-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> pH=12                                   | 12,00 |
| 15-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> pH=12 0 mJ/cm <sup>2</sup>              | 11,88 |
| 19-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 26 mg/L KI pH=12                      | 11,83 |
| 19-07-2022 | milliQ + 60 ng/L PFAS + 100 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 26 mg/L KI pH=12 0 mJ/cm <sup>2</sup> | 11,98 |

Alle testen zijn in duplo en at random uitgevoerd.

Om de beginconcentratie vast te stellen werd de oplossing direct geanalyseerd, maar ook nadat die 2 en 4 uur in het petrischaaltje was bewaard zonder UV-straling maar onder verder dezelfde condities, om te zien of er adsorptie van de PFAS aan het glaswerk optrad.

### 3.4 Anodische oxidatie

De anodische oxidatie experimenten werden in duplo uitgevoerd in een bekeerglas met daarin 4 BDD elektrodes (Neocoat Ch, type BBD/Nb NeoCoat®-Electrodes – Mesh) en een roervlo (zie Figuur 9). De kenmerken van de op niobium gebaseerde BDD-elektroden zijn:

- Ondergrond: Niobium met specifieke voorbehandeling
- BDD-coating: p-gedoteerd, polykristallijn, 5 micrometer dik
- Dopingniveau: 2500 ppm boordoping
- BDD-coating aan beide zijden
- 50 x 100 x 1,4 mm mazen

Over de elektrodes werd met behulp van een gelijkstroombron (type Aim TTI PL303 Power Supply) 0,4 en 0,8 A spanning over de elektrodes aangebracht. Voor elk experiment werd 0,5 L concentraat gebruikt en 0, 1, 2, 3 en 4 h standtijd, tijdens de experimenten werd met behulp van een teflon roerder het concentraat rond de elektrodes continu gemengd. Na elk experiment werden de pH en EGV gemeten; de experimenten zijn in duplo uitgevoerd. Daarbij werden de + en – polen elke keer gewisseld. In Bijlage VI zijn alle gegevens vermeld van de uitgevoerde experimenten.



Figuur 9: Uitvoering van de elektrochemische omzetting in beeld

De experimenten zijn uitgevoerd in concentraat van Heemskerk uit mei 2023, waarvan de samenstelling is weergegeven in Tabel 10 in Bijlage II.

## 4 Resultaten en discussie; geavanceerde reductie

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van het onderzoek naar geavanceerde reductie van PFAS in concentraatstromen. Geavanceerde oxidatie van PFAS is over het algemeen niet effectief, maar geavanceerde reductie zou wel tot afbraak van PFAS kunnen leiden. Dit is belangrijk, omdat op die manier het PFAS-probleem daadwerkelijk wordt opgelost, en PFAS niet in het milieu worden rondgepompt.

Dit deel van het onderzoek is nauw verweven met en bouwt voort op reductie-onderzoek dat heeft plaatsgevonden in het kader van BTO verkennend onderzoek (Hofman-Caris et al. 2024). In dat onderzoek is gekeken naar welk type geavanceerde reductieprocessen effectief kunnen zijn, waarbij de conclusie was dat een combinatie van UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/I<sup>-</sup> bij een pH van 10-12 heel effectief carboxylaten kan afbreken in relatief schoon water (milli-Q water en drinkwater). Non-target analyse liet slechts een beperkt aantal transformatieproducten in lage concentraties zien. Waar bij perfluorcarboxylaten echter > 90 % afbraak werd waargenomen, bleef de afbraak van sulfonaten steken op ongeveer 25 %. Blijkbaar speelt de kopgroep (sulfonaat of carboxylaat) hierin een belangrijke rol.

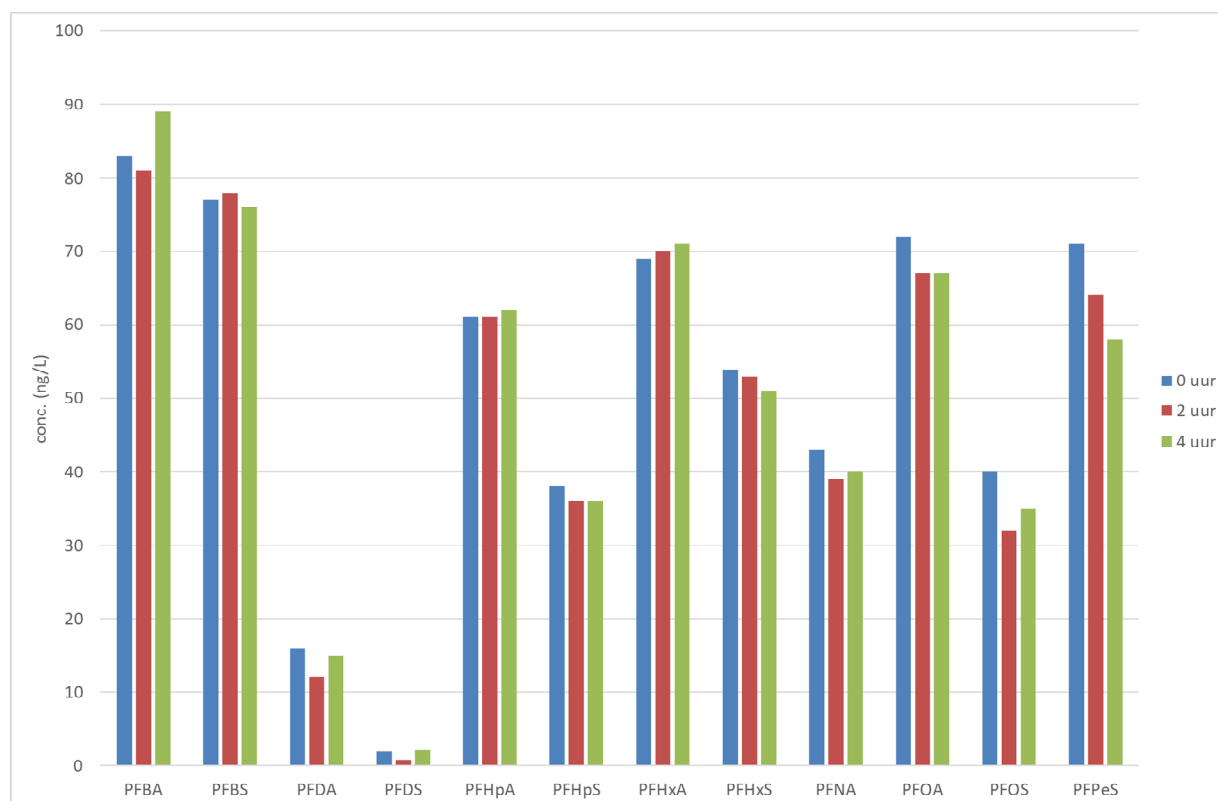
In het hier beschreven onderzoek zijn de bevindingen uit het VO-project toegepast op concentraatstromen van een RO-installatie (in Heemskerk), om te zien of ook in een dergelijk ingewikkelder matrix geavanceerde reductie een oplossing voor het PFAS-probleem kan vormen. Allereerst is echter kort onderzocht in hoeverre de PFAS uit het gebruikte mengsel aan het glaswerk kunnen blijven hechten, omdat dit de resultaten zou kunnen vertekenen.

### 4.2 Adsorptie van PFAS aan glaswerk

Hoewel de stockoplossing een breed scala aan PFAS zou moeten bevatten, was uit eerder onderzoek al gebleken dat sommige PFAS niet of in veel lagere concentraties voorkwamen dan verwacht. Het vermoeden bestond dat dit veroorzaakt werd door adsorptie van de (relatief) lange PFAS-moleculen aan bijvoorbeeld glaswerk en/of roervlo. Daarom zijn ook in dit onderzoek eerst enkele testen uitgevoerd welke PFAS konden worden gedetecteerd, en of ze de neiging zouden kunnen hebben aan het glaswerk en/of de roervlo te adsorberen in de loop van het experiment. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 10.

PFDODA, PFTrDA en PFUnDA kwamen in geen enkel geval voor in een concentratie hoger dan de rapportagegrens. Blijkbaar waren ze “verdwenen” uit de stockoplossing (vermoedelijk door adsorptie, het betreft immers de langste ketens uit het mengsel, die erg hydrofoob zijn), en waren ze ook niet in significante concentraties aanwezig in het concentraat. Deze PFAS zijn verder dan ook niet meegenomen in de analyse.

De blanco's na 2 en 4 uur (PFAS-oplossingen die niet zijn bestraald) werden bepaald op 27/6, de blanco direct na verdunning werd op 29/6 gemeten (zie Figuur 10). Voor de meeste PFAS lijkt het acceptabel om een gemiddelde concentratie te berekenen. Bij PFPeS lijkt wel duidelijk een afname in de tijd voor te komen, en mogelijk speelt dit ook enigszins bij PFHxS. Bij verschillende PFAS lijkt de concentratie na enige tijd wel iets afgenomen te zijn, hoewel die bij PFHxA dan weer lijkt toe te nemen. Ook bij PFDA en PFOS lijkt de concentratie na 4 uur weer iets hoger is dan na 2 uur. Eerder onderzoek heeft al laten zien dat PFAS niet alleen kunnen adsorberen aan de fleswand, maar ook desorptie kunnen vertonen (Hofman-Caris and Siegers 2022) wat de variaties in concentraties kan verklaren. Voor dit onderzoek is uitgegaan van de gemiddelde concentratie als startconcentratie, omdat de experimenten ergens in deze periode zijn uitgevoerd (binnen 4 uur na het maken van de oplossing). Hierin kan dus een fout voorkomen doordat er adsorptie aan (en wellicht ook desorptie van) de fleswand is opgetreden, maar die fout doet zich niet alleen voor in de blanco-concentratie, maar ook bij alle metingen.



Figuur 10: ontwikkeling PFAS-concentraties van de blanco monsters bij pH 8

### 4.3 Geavanceerde reductie-experimenten

#### 4.3.1 UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> experimenten in RO-concentraat

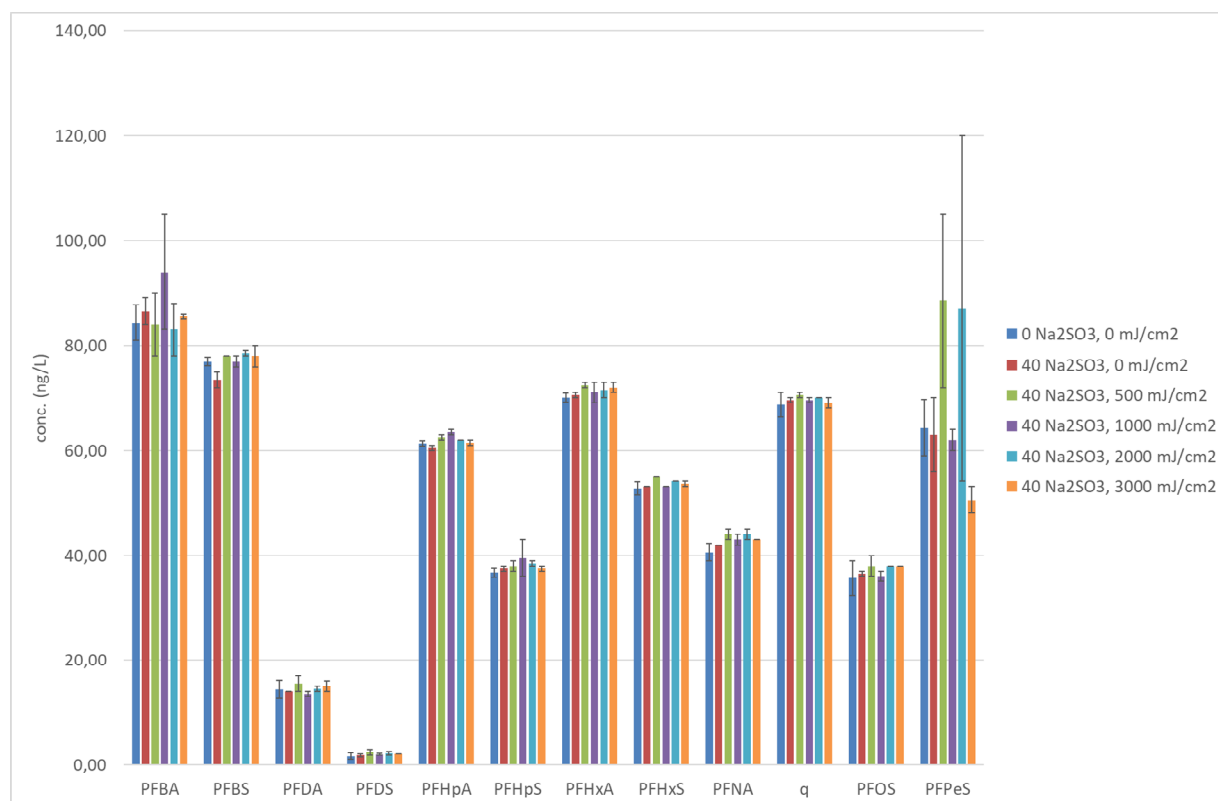
In geavanceerde reductieprocessen spelen gehydrateerde elektronen een belangrijke rol. Die kunnen worden gevormd door bestraling van sulfietionen, volgens vergelijking 1:



Die  $e_{aq}^-$  kunnen dan vervolgens weer reageren met de C-F binding volgens vergelijking 2:



In Figuur 11 zijn de resultaten van de experimenten met 40 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L bij pH van 8,14 weergegeven. Toevoeging van alleen 40 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> lijkt geen significant effect te hebben op de PFAS-concentratie. Er lijkt ook weinig tot geen afbraak van PFAS op te treden bij de verschillende UV-doses. Dit is in lijn met het onderzoek dat is beschreven in BTO 2024.001 (Hofman-Caris et al. 2024). Bij PFPeS zijn twee uitschieters te zien, bij 500 en 2000 mJ/cm<sup>2</sup>, maar bij deze monsters was de variatie tussen beide metingen erg groot. Toch zou het kunnen dat hier wel enige afbraak optrad met toenemende UV-dosis, maar dat is op grond van deze resultaten niet met zekerheid te zeggen.



Figuur 11: resultaten van metingen bij een Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>-concentratie van 40 mg/L en verschillende UV-doses bij pH 8 in concentraat

Grafieken voor de overige procescondities tijdens de ARP experimenten (Figuur 25 t/m Figuur 12) zijn weergegeven in Bijlage III.

De resultaten die met 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L werden verkregen zijn weergegeven in Figuur 25. Toevoeging van 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L heeft geen duidelijk effect op de PFAS-concentraties, er treedt geen spontane afbraak op daardoor. Er is evenmin sprake van een significante afbraak van PFAS bij een dosering van 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> per liter en een UV-dosis tot 3000 mJ/cm<sup>2</sup>.

Herhaling van het experiment met 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L bij een pH van 10 in milli-Q leverde de resultaten op die zijn weergegeven in Figuur 26. Voor de PFNA- en PFPeS-concentraties maakt het niet veel uit of de pH 8 of 10 is als er 100 mg sulfiet/L wordt toegevoegd. Toepassen van een UV-dosis lijkt echter wel tot een lagere PFPeS-concentratie te leiden. Voor PFDS en PFHpS worden nauwelijks verschillen waargenomen in de concentraties PFAS bij pH 8 of 10 (en dus concentraat of milli-Q), met of zonder sulfietdosering of UV-straling. Bij PFBA, PFBS, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA, en PFOS lijkt het erop dat de PFAS-concentratie door toevoeging van 100 mg sulfiet/L bij pH 10 in milli-Q al daalt. Bij PFBA, PFBS, PFHxS en PFOS heeft het toepassen van UV-straling geen duidelijk effect op de concentratie, maar bij PFHpA, PFHxA, PFNA, PFOA en PFPeS lijkt bestraling met UV wel tot een verlaging van de PFAS-concentratie te leiden. Het is op dit moment niet duidelijk waardoor de verschillen worden veroorzaakt. Het is niet geheel ondenkbaar dat kleinere PFAS, als PFBA en PFBS, kunnen worden gevormd als afbraakproduct van grotere PFAS, waardoor de concentraties hiervan niet afnemen, maar hier zijn nog geen bewijzen voor. Daarnaast is het lastig in te schatten waardoor bepaalde effecten worden veroorzaakt in dit geval, aangezien het een concentraatmatrix betreft, die ook andere verontreinigingen (organische microverontreinigingen, NOM en zouten) bevat.

Het moet overigens worden opgemerkt dat hier alleen een targetanalyse is uitgevoerd op de doelstoffen. Gedeeltelijke afbraak kon daardoor niet worden vastgesteld. In het aanpalende VO-onderzoek (Hofman-Caris et al. 2024) zijn ook non-target analyses uitgevoerd, waaruit bleek dat er inderdaad kleine hoeveelheden

transformatieproducten konden worden aangetoond tijdens ARP testen. Het zou het beste zijn om het  $F^-$ -gehalte van het water te bepalen, maar de rapportagegrens ( $20 \mu\text{g/L}$ ) is te hoog voor de gehalten aan PFAS die hier onderzocht zijn.

Bij pH 12 in milli-Q (Figuur 27) wordt een vergelijkbaar effect waargenomen van het toevoegen van natriumsulfiet als bij pH 10: een significante verlaging van de PFAS-concentraties in veel gevallen. Alleen is hier niet te zien of het toepassen van UV-straling dan nog verder effecten heeft: in geen van de gevallen lijkt het verhogen van de UV-dosis tot een (verdere) afbraak van PFAS. Dit is in tegenspraak met de literatuur, waar pH 10 of 12 als een optimum wordt aangemerkt.

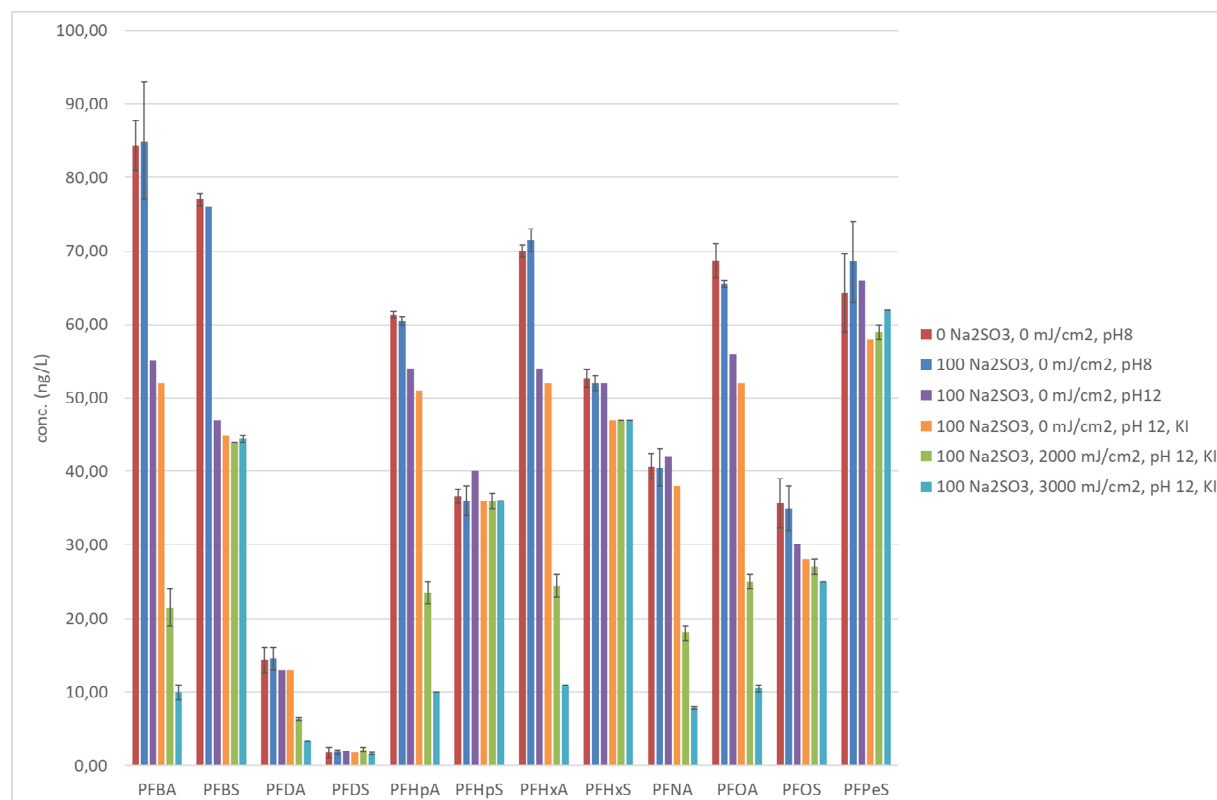
#### 4.3.2 $\text{UV}/\text{SO}_3^{2-}/\text{I}^-$ experimenten

Liu et al. (2022) hebben onlangs het  $\text{UV}/\text{SO}_3^{2-}$  proces verbeterd door er KI aan toe te voegen. Dit lijkt het beste te werken bij pH = 12, en om die reden is ook in deze experimenten bij pH 12 een serie metingen uitgevoerd met sulfiet en KI. KI reageert met UV-straling volgens vergelijking 3:



Dit proces op zichzelf is niet zo erg effectief voor de afbraak van PFAS, omdat de electronen reageren met het joodradicaal. In deze combinatie kunnen die echter worden afgevangen door het sulfiet.

Toevoeging van KI bij pH 12 (Figuur 12) lijkt voor PFBA, PFDA, PFHpA, PFHxA, PFNA, PFOA en PFOS in milli-Q water wel een betere verwijdering van PFAS te geven bij hogere UV-dosis. Dit zou dus wel een mogelijkheid kunnen zijn om afbraak te bewerkstelligen.

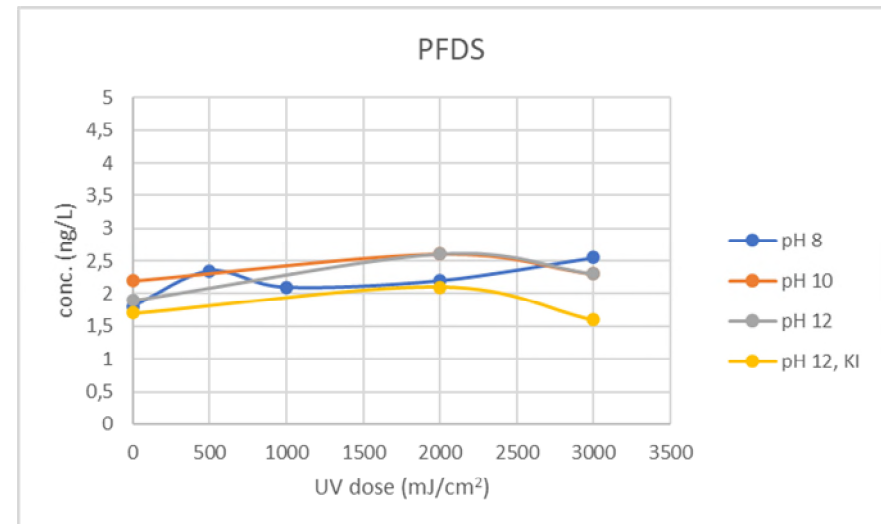
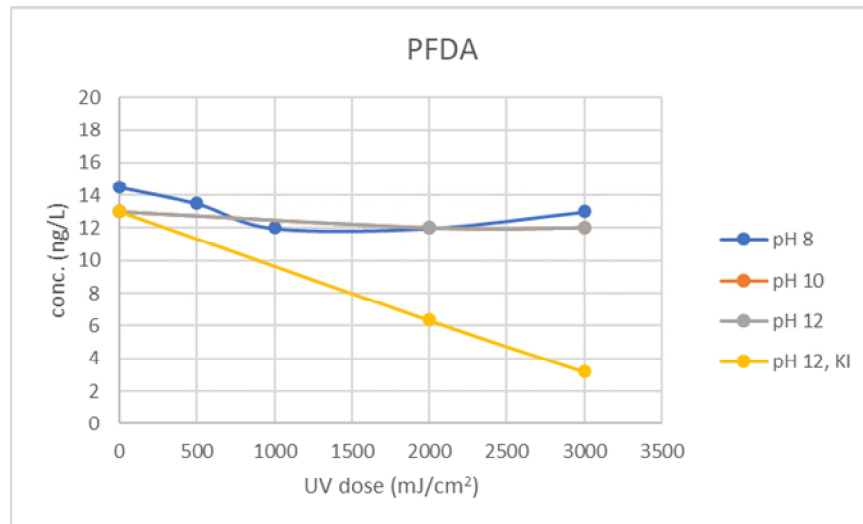
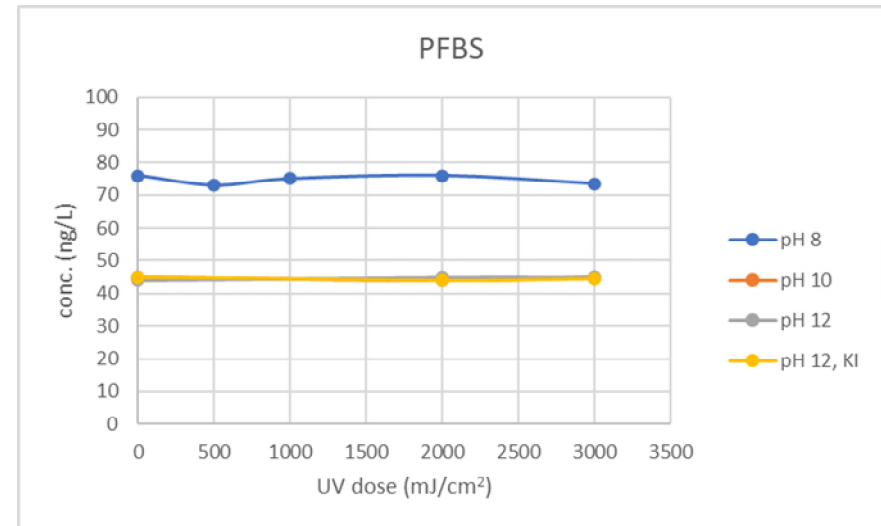
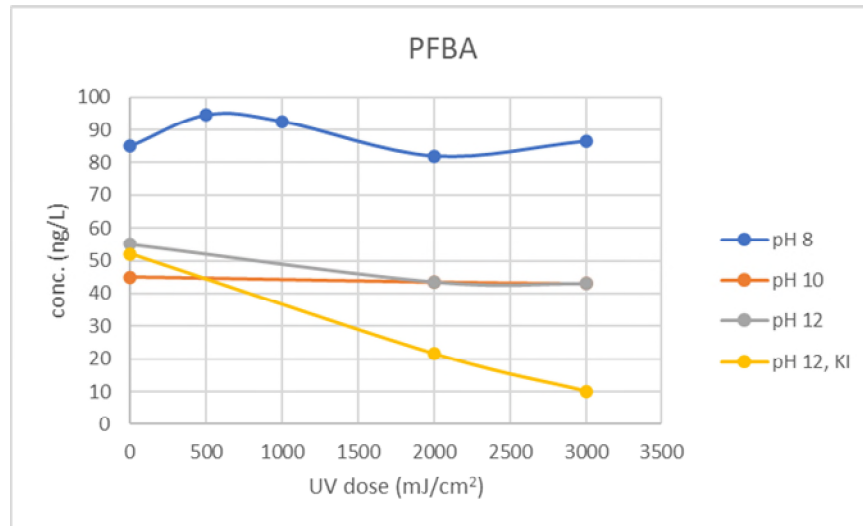


Figuur 12: resultaten van metingen bij een  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ -concentratie van  $100 \text{ mg/L}$  en verschillende UV-doses bij pH 12 met toevoeging van KI in milli-Q

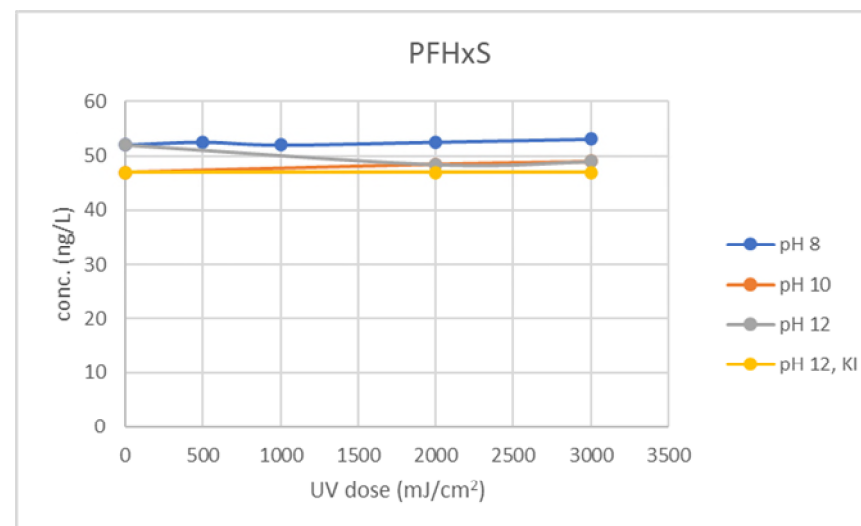
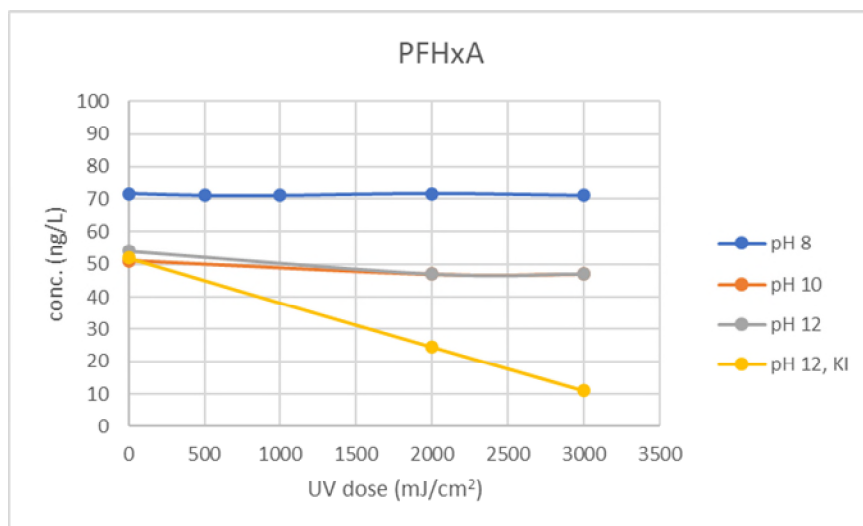
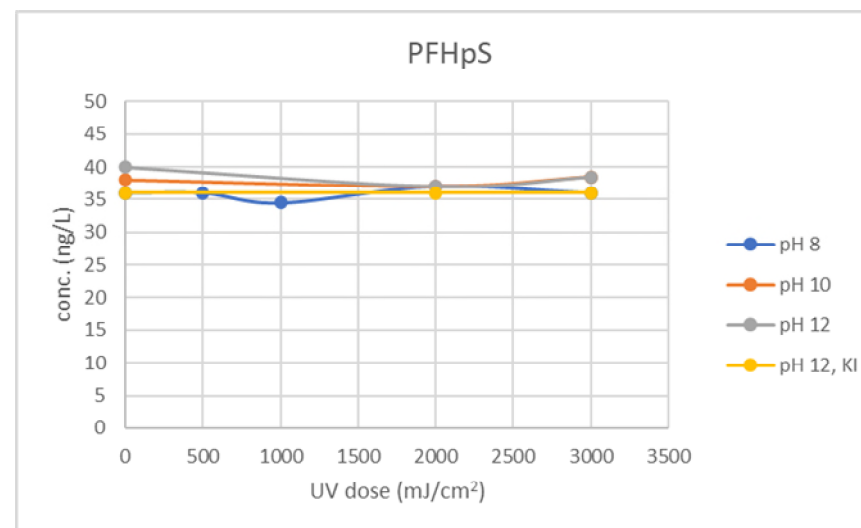
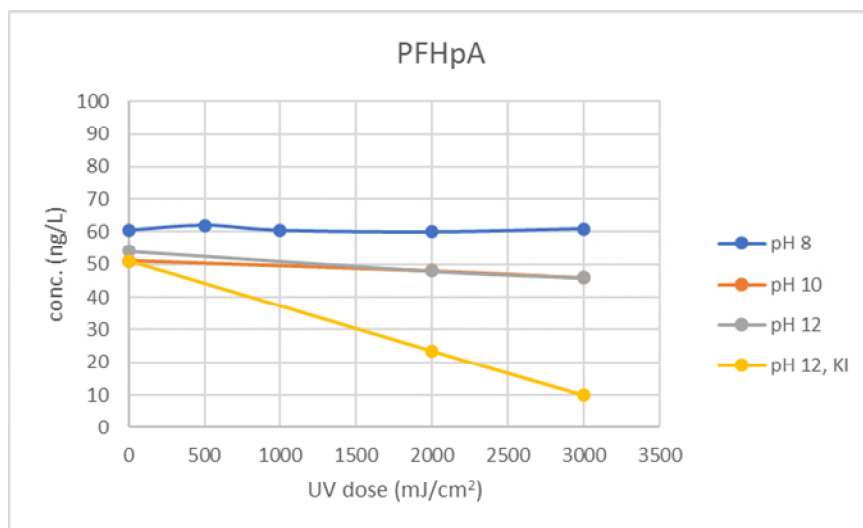
Voor de experimenten met 100 mg  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{L}$  is het concentratieverloop als functie van de UV-dosis bij drie pH-waarden en met en zonder toevoeging van KI gegeven in Figuur 13. Uit deze grafieken kan een aantal conclusies worden getrokken:

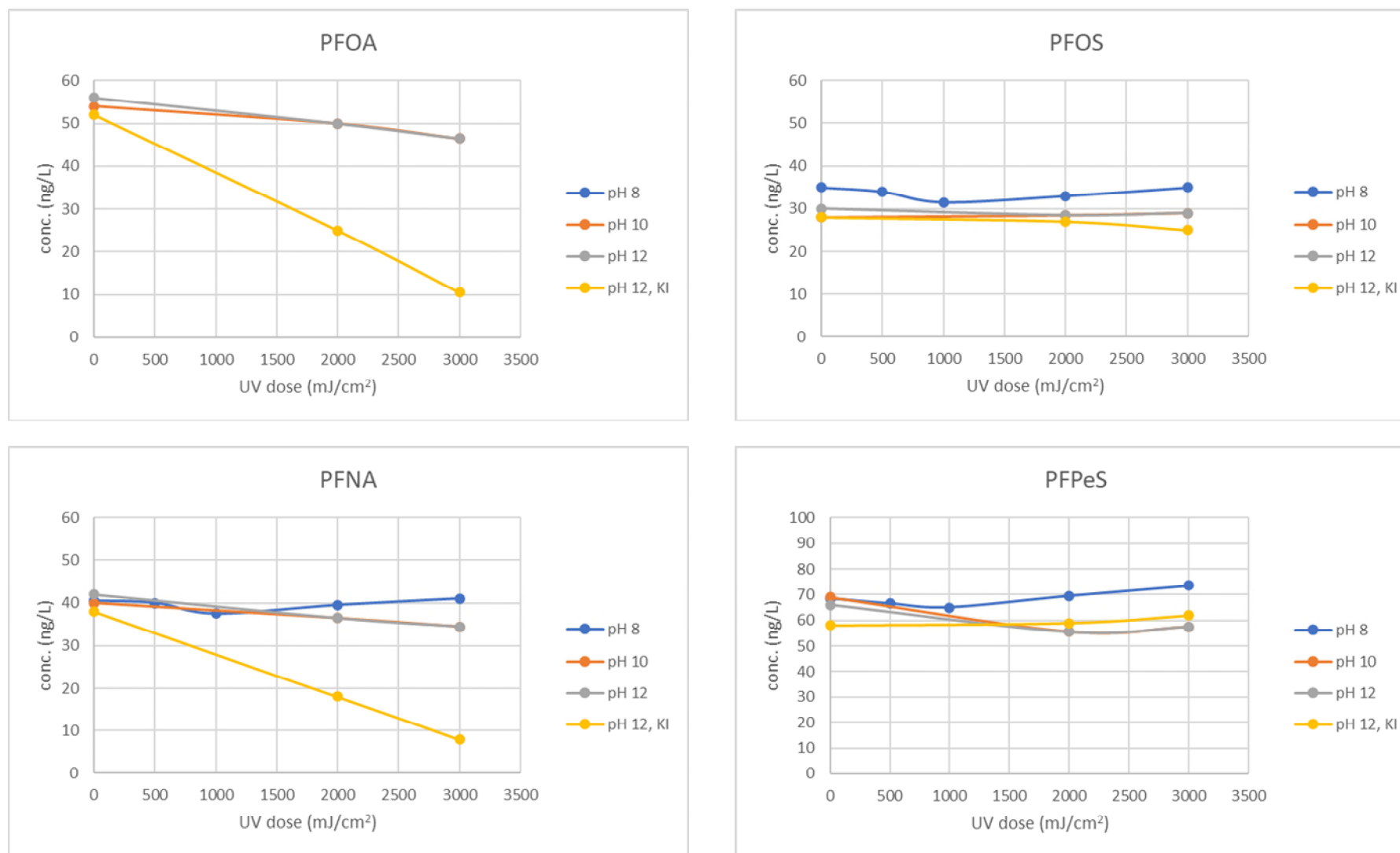
- Voor een aantal PFAS (PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHxA, en PFOS) ligt de beginconcentratie bij pH 10 of 12 hoger dan bij pH 8. Dit hoeft niet te wijzen op afbraak, aangezien niet wordt verwacht dat PFAS reageren met natriumsulfiet bij een hogere pH-waarde. Mogelijk wijst dit op adsorptie van de PFAS aan de fleswand. Dit zou niet onlogisch zijn, omdat bij een hogere pH-waarde er meer  $\text{OH}^-$ -ionen in de oplossing zijn, waardoor de negatief geladen PFAS mogelijk uit de oplossing naar het wandoppervlak worden gedreven.
- Toevoeging van  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  lijkt nergens tot afbraak c.q. verwijdering van de PFAS te leiden, bij geen enkele UV-dosis, ongeacht de pH-waarde.
- Toevoeging van een hoeveelheid KI in combinatie met 100 mg  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{L}$  bij pH 12 leidt echter tot een significante daling van de concentraties carboxylaten, terwijl de concentraties sulfonzuren vrijwel ongewijzigd blijven. Dit is een interessant gegeven, wat in overeenstemming lijkt met een recent artikel van Trang et al. (2022). Hierin beschrijven zij de afbraak van carboxylzuren bij verhoogde pH (er wordt NaOH toegevoegd, maar de pH-waarde wordt niet genoemd) in DMSO tijdens koken. Deze experimenten zijn uitgevoerd bij hoge concentraties PFAS (35 g/L), terwijl de resultaten die in dit rapport worden beschreven zijn uitgevoerd bij concentraties in het ng/L-bereik, weliswaar beide in een schone watermatrix. Trang et al. stelden vast dat PFAS met vier tot negen C-atomen werden afgebroken, hetzelfde bereik wat we in onze experimenten zien. Verder werd ook daar vastgesteld dat de methode werkt voor de afbraak van carboxylzuren, maar niet van sulfonzuren, net zoals in het concentraat werd vastgesteld. De metingen in dit rapport werden bij kamertemperatuur uitgevoerd, in plaats van bij circa 100 °C zoals bij Trang et al, wat voor opschalingsexperimenten een groot voordeel is. De observatie dat sulfonaten in onze reactor juist niet werden afgebroken is in tegenspraak met het artikel van Liu et al. (2022), die zowel carboxylaten als sulfonaten afbraken met een vergelijkbare ARP-reactie met  $\text{UV}/\text{SO}_3^{2-}/\text{KI}$ .

Dit zijn de eerste resultaten die zijn verkregen met een  $\text{UV}/\text{SO}_3^{2-}/\text{I}^-$  systeem in concentraat, en de reactie is dan ook nog niet geoptimaliseerd. Verder moet worden opgemerkt dat bij toepassing van een complexe matrix c.q. een mengsel van componenten alleen een analyse van de moederstoffen kan worden uitgevoerd. Hierbij is niet te zien in welke mate fluoride-ionen worden afgesplitst van de keten, want zelfs het verbreken van slechts één C-F binding zou al tot verwijdering van de moederstof leiden. Uiteraard is het uiteindelijke doel van het reductieproces het verbreken van alle organische fluorverbindingen. Doordat de rapportagegrens voor fluoride-ionen vooralsnog 20  $\mu\text{g}/\text{L}$  is, en de PFAS-componenten in ng/L voorkomen in bronnen voor drinkwater kan nog niet worden vastgesteld in hoeverre mineralisatie optreedt. Overigens is wel een eerste poging gedaan om met behulp van non-targetanalyse transformatieproducten van PFAS op te sporen, maar dit onderzoek zou bij hogere afbraakpercentages herhaald moeten worden (Hofman-Caris et al. 2024).









Figuur 13: concentratieverloop van PFAS bij toevoeging van 100 mg  $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{L}$  als functie van de UV-dosis bij drie pH-waarden en met en zonder toevoeging van KI. De experimenten bij pH 8 zijn uitgevoerd in concentraat, de experimenten bij hogere pH-waarden in Milli-Q.

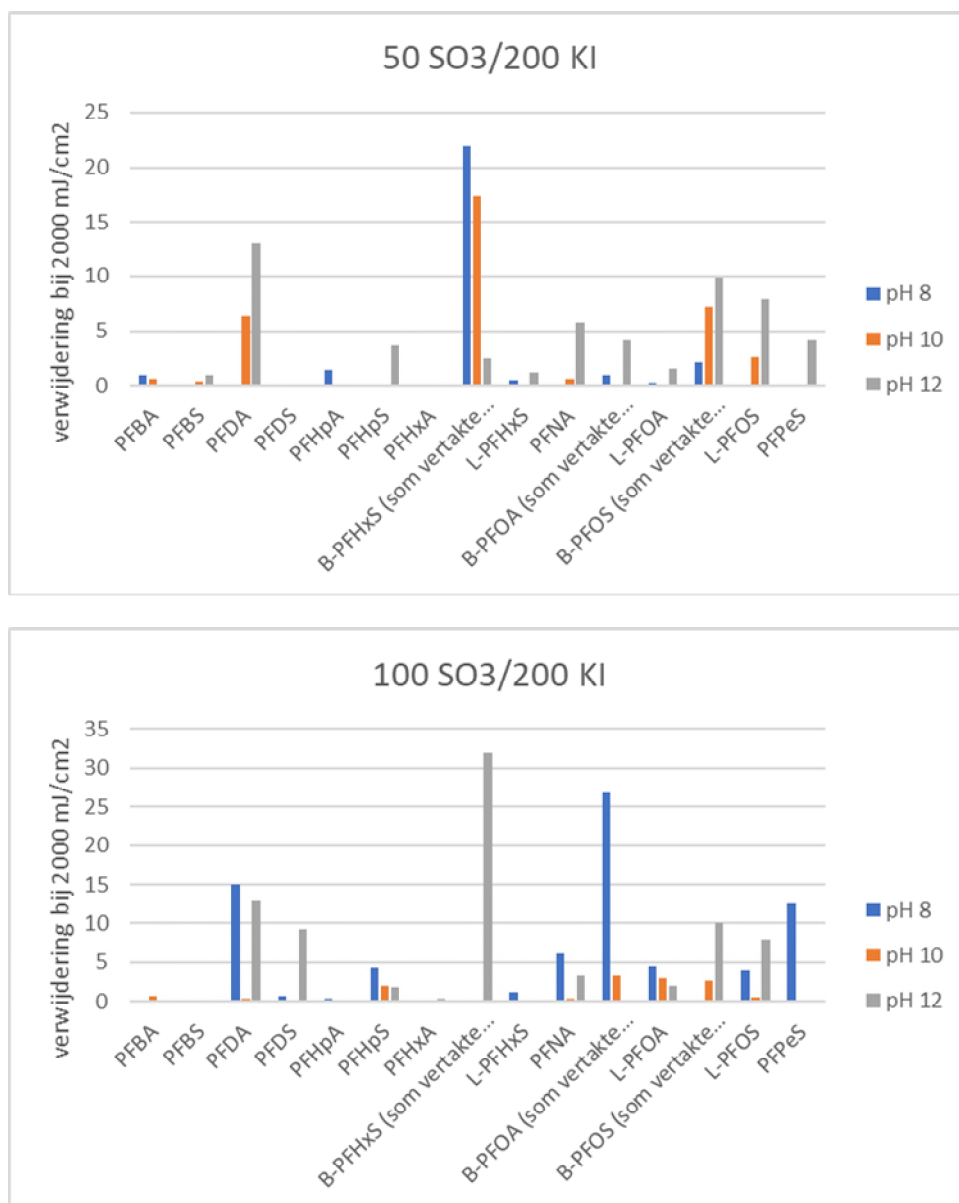
Omdat uit modellering (Hofman-Caris et al. 2024) was gebleken dat de slechte afbraak in concentraat mogelijk door de aanwezigheid van nitraat wordt veroorzaakt, zijn experimenten uitgevoerd in Milli-Q en drinkwater van Nieuwegein met verschillende concentraties nitraat. Tevens zijn experimenten uitgevoerd met concentraat dat twee of vier keer verdund was. De effecten zijn berekend bij een UV-dosis van 2000  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ . Hiertoe is uit de series experimenten bij verschillende UV-doses de reactiesnelheidsconstante  $K$  ( $\text{cm}^2/\text{mJ}$ ) berekend volgens:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = K * H \quad [6]$$

Hierin is  $C_0$  de beginconcentratie (in  $\text{ng}/\text{L}$ ),  $C$  de eindconcentratie in de oplossing,  $H$  de UV-dosis ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ). Behalve in die gevallen waarin de beginconcentratie van de PFAS erg laag was (en daardoor minder betrouwbaar), werd een hoge regressiecoëfficiënt ( $>0,9$ ) verkregen. Om een goede vergelijking van de effecten van verschillende parameters te kunnen maken, is met behulp van formule [7] op basis van deze  $K$ -waardes de omzetting bij 2000  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  berekend.

$$\text{omzetting} = 100 * (1 - e^{-K*2000}) \quad [7].$$

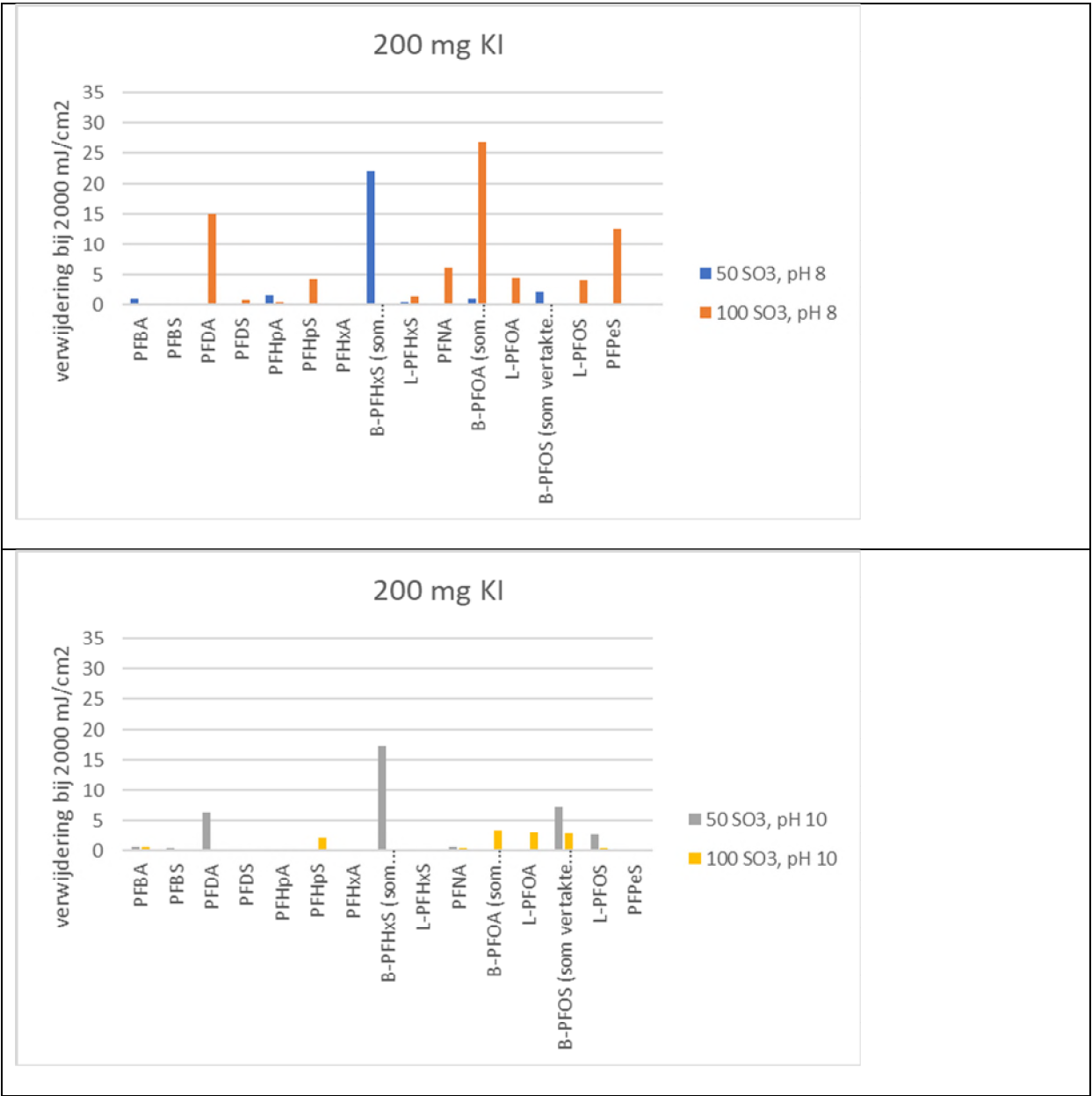
De resultaten van experimenten bij verschillende pH-waarden en verhoudingen sulfiet/jodide in concentraat zijn weergegeven in Figuur 14.

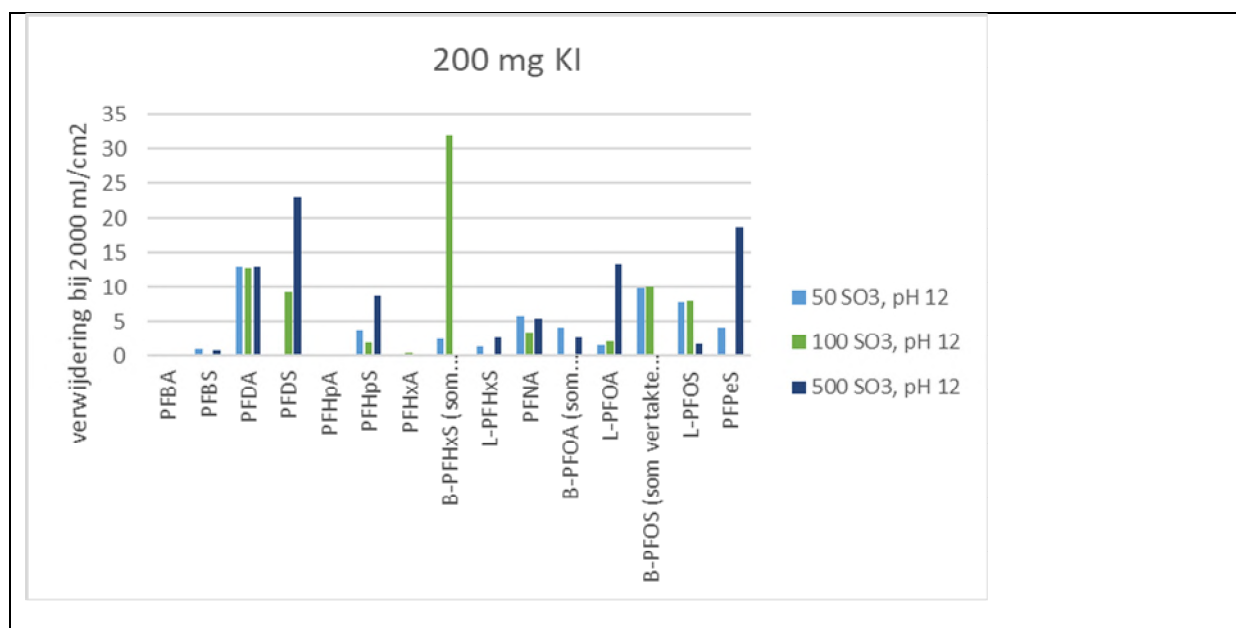


Figuur 14: omzetting bij 2000 ml/cm<sup>2</sup> in concentraat bij toepassing van 50 en 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en 200 mg KI /L, bij pH 8, 10 en 12.

Uit deze grafieken kan worden afgeleid dat de invloed van de pH op de afbraak niet heel duidelijk is. In alle gevallen is de afbraak laag ( $\leq 15\%$ ). Dit geldt niet voor een aantal vertakte PFAS, maar die kwamen voor in heel lage concentraties, waardoor de resultaten hiervan minder betrouwbaar zijn. Bij 100 mg sulfiet/L worden wel iets meer carboxylaten afgebroken dan bij 50 mg/L. De afbraak van perfluorsulfonaten lijkt vrijwel verwaarloosbaar te zijn onder deze omstandigheden.

In Figuur 15 wordt het effect van de pH en de sulfietconcentratie bij 200 mg KI/L weergegeven.





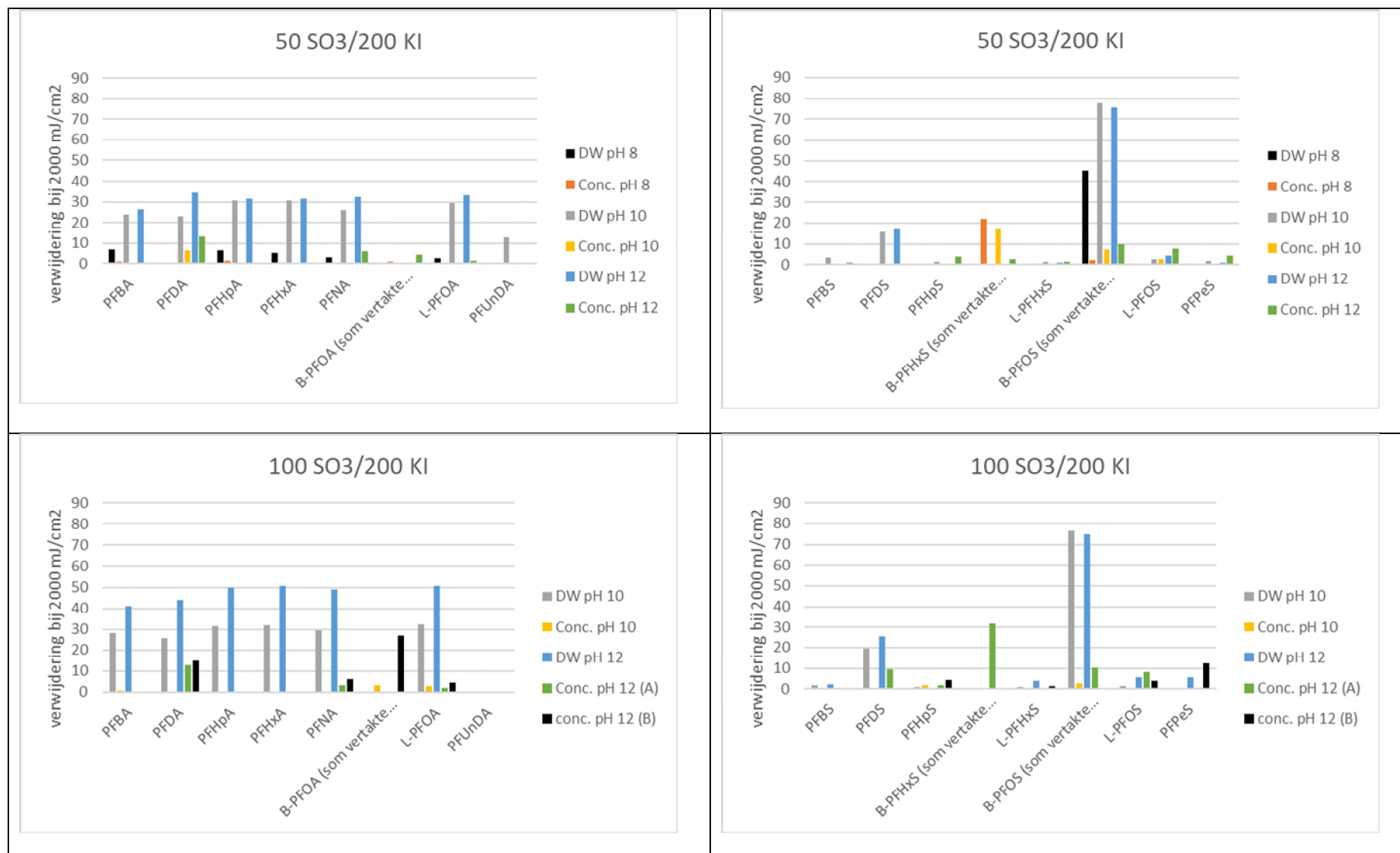
Figuur 15: afbraak bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup> en verschillende concentraties sulfiet en verschillende pH-waarden

De relatief hoge afbraak van de som van vertakte PFAS in Figuur 15 (bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup>) wordt waarschijnlijk veroorzaakt door onnauwkeurigheden als gevolg van de lage beginconcentraties van deze componenten. Ze zijn niet als dusdanig toegevoegd aan het concentraat, maar bevonden zich daar al in lage concentraties in. Het lijkt wel duidelijk dat een pH van 12 hogere omzettingen geeft in concentraat dan lagere pH-waarden. Verder is ook duidelijk dat het in concentraat wel nuttig kan zijn om de hoeveelheid sulfiet te verhogen tot 500 mg/L. Dit was in drinkwater en Milli-Q water niet het geval, daar leek het niet zinvol om een concentratie hoger dan 300 mg/L toe te passen (in Milli-Q was zelfs 100 mg/L al voldoende) (Hofman-Caris et al. 2024). Overigens moet hierbij worden opgemerkt dat bij hogere UV-doses hogere afbraakpercentages kunnen worden bereikt tot 20-30 %, zoals weergegeven in

. In de meeste gevallen hebben we voor de vergelijking van reactiecondities de berekende afbraak bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup> genomen, maar de experimenten zijn ook uitgevoerd bij hogere UV-doses t/m 3000 mJ/cm<sup>2</sup>. In Bijlage VI zijn de bereikte afbraakpercentages bij 3000 mJ/cm<sup>2</sup> genomen. De afbraak van perfluorcarboxylaten is beduidend lager in een concentraatmatrix dan in Milli-Q of drinkwater zie (Hofman-Caris et al. 2024). De afbraak van perfluorsulfonaten was in die schone watertypes veel lager dan die van de overeenkomstige carboxylaten. In valt echter op dat in de concentraatmatrix de invloed van de matrix op de totale afbraak bij sulfonaten juist kleiner is dan bij carboxylaten. Uiteraard betekenen deze data nog niet dat een succesvolle toepassing op korte termijn mogelijk zal zijn: deze data moeten vooral beschouwd worden als een eerste indicatie voor meer begrip van het proces, die uiteindelijk tot een beter begrip en daardoor mogelijk tot praktische toepassingen kan leiden.

#### 4.3.3 Vergelijking afbraak in DW en concentraat

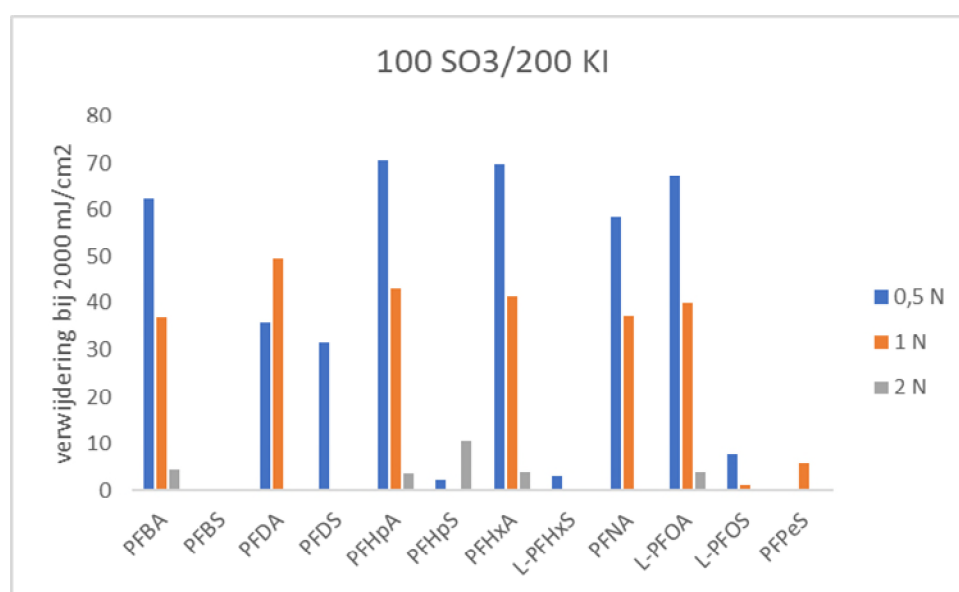
Een vergelijking van de afbraak in concentraat met die in drinkwater (DW) is gegeven in Figuur 16 .



Figuur 16: afbraak van PFAS in concentraat en drinkwater bij verschillende pH-waarden. Boven 50 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L en 200 mg KI/L; beneden 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L en 200 mg KI/L

Over het algemeen is de afbraak in drinkwater hoger dan die in concentraat, en net als in vorige experimenten is ook hier de afbraak van de carboxylaten meestal beter dan die van de perfluorsulfonaten. Dit lijkt niet te gelden voor vertakte B-PFOS, maar die kwamen in heel lage concentraties voor in de drinkwatermonsters, waardoor de verwijdering uitgedrukt in percentages wel hoog lijkt. Deze vertakte PFAS zijn niet toegevoegd aan de stockoplossing, en het is onduidelijk waar deze concentraties vandaan kwamen (aan deze data te zeggen zouden ze in het drinkwatermonster aanwezig kunnen zijn geweest). De samenstelling van de concentraatmatrix heeft duidelijk een negatieve invloed op de afbraak van PFAS, want in Milli-Q en drinkwater werden hogere afbraakpercentages waargenomen bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup> (> 80 %).

Omdat het vermoeden rees dat de lage afbraak hier te wijten zou kunnen zijn aan het nitraatgehalte van het concentraat, zijn experimenten uitgevoerd in Milli-Q water met verschillende nitraatgehaltenes. De resultaten van die metingen zijn weergegeven in Figuur 17.

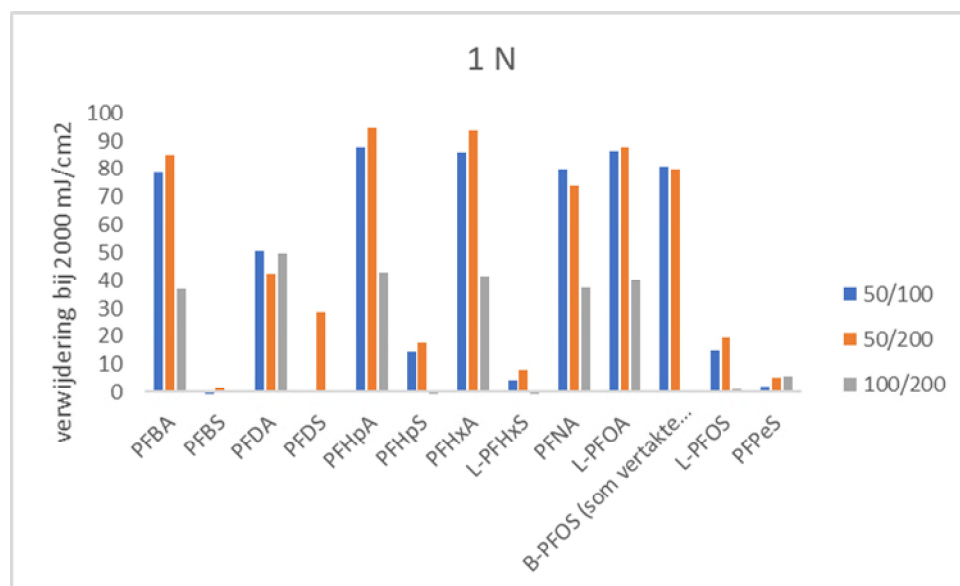


Figuur 17: afbraak van PFAS in Milli-Q bij pH 12 en verschillende nitraatconcentraties (0,5, 1 en 2 mg N/L); 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en 200 mg KI /L

Uit deze grafiek blijkt heel duidelijk dat inderdaad een hogere nitraatconcentratie (tot 2 mg N/L) een groot effect heeft op de afbraak van PFAS in Milli-Q. Hier is wel goed te zien dat dit effect vooral zichtbaar is voor de perfluorcarboxylaten, omdat de -sulfonaten niet noemenswaardig worden afgebroken.

Daarnaast is bij een gehalte van 1 mg N/L in Milli-Q ook gekeken naar de invloed van de verhouding sulfiet/jodide, zoals weergegeven in Figuur 18. Op deze manier kunnen we vaststellen of het 'stikstofprobleem' wellicht te verkleinen of op te lossen is door de verhouding sulfiet en jodide aan te passen.

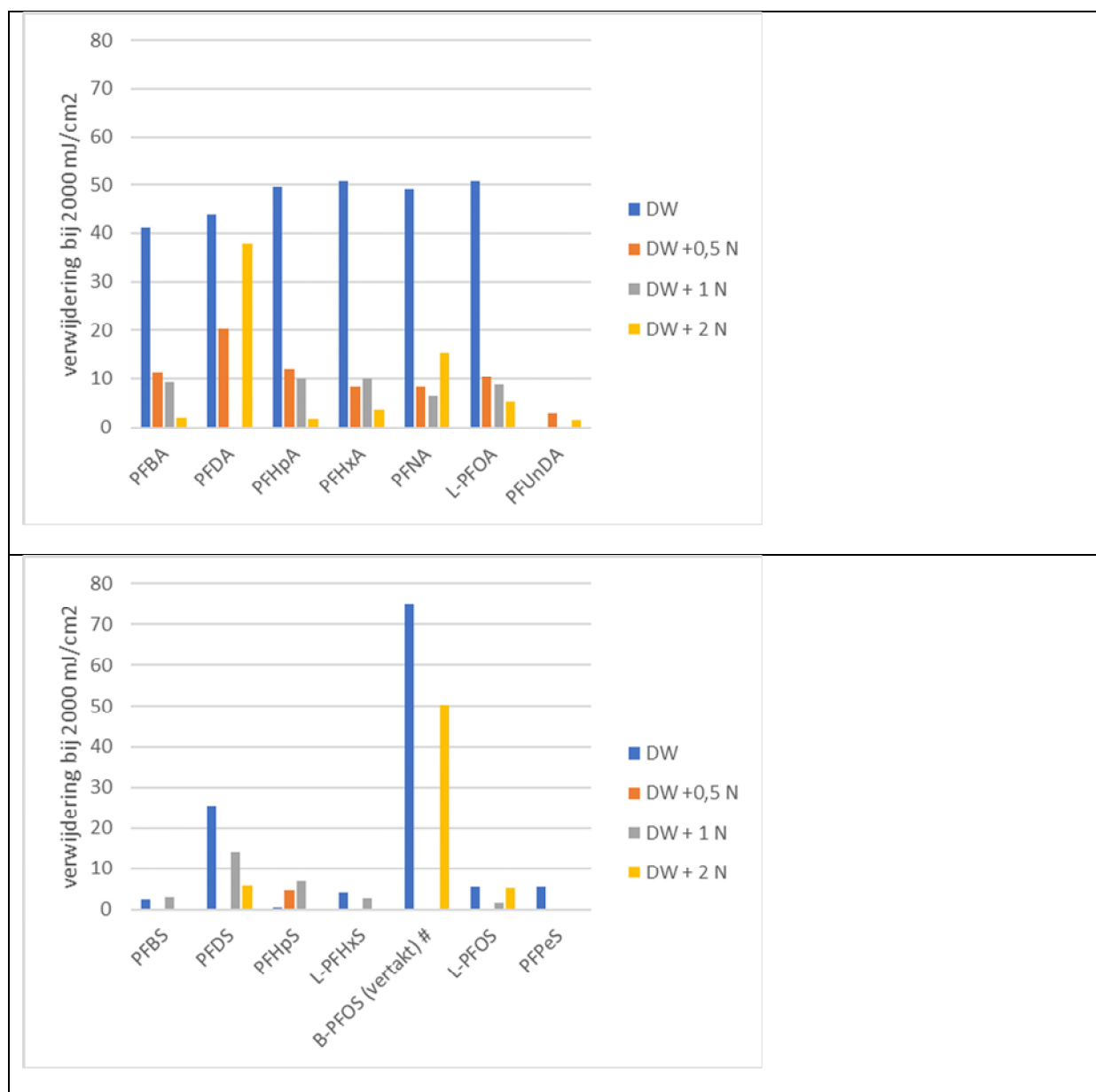




Figuur 18: afbraak van PFAS in Milli-Q bij pH 12 en een nitraatgehalte van 1 mg N/L. Verschillende verhoudingen Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/KI

Het toevoegen van 200 in plaats van 100 mg KI/L blijkt slechts een heel klein effect te hebben op de afbraak van de verschillende perfluorcarboxylaten in Milli-Q, terwijl voor de sulfonaten sowieso weinig tot nauwelijks afbraak kan worden waargenomen ( $\leq 15\%$ ). Toevoegen van 100 mg natriumsulfiet en 200 mg kaliumjodide per liter (dus een hogere jodide- in plaats van sulfietconcentratie) lijkt een averechts effect te hebben op de afbraak. Mogelijk treedt er quenching op bij te hoge concentraties.

Het experiment met verschillende hoeveelheden nitraat is ook herhaald in drinkwater (zie Figuur 19).



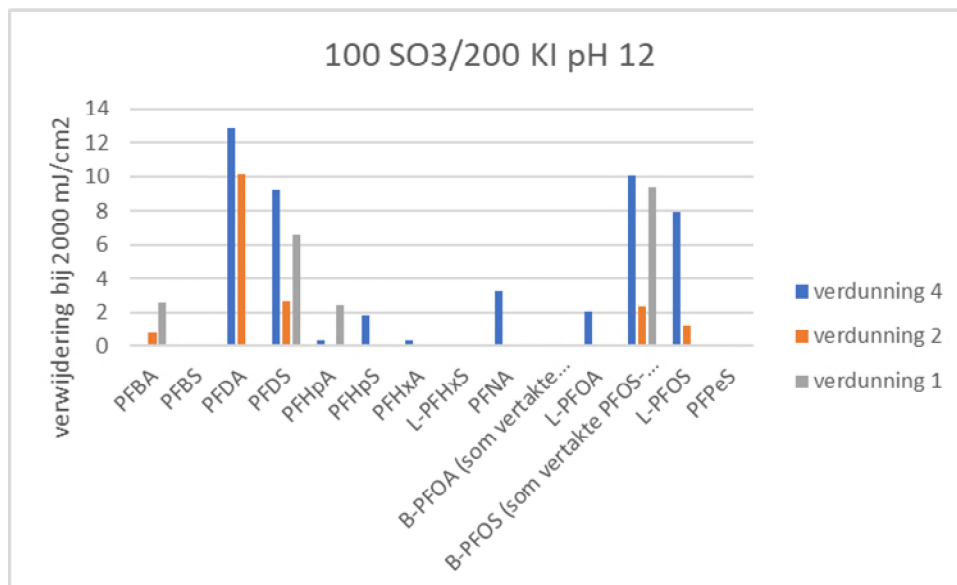
Figuur 19: afbraak van PFAS in drinkwater bij pH 12 en verschillende nitraatconcentraties; 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en 200 mg KI /L

Waar in Milli-Q nog een afbraak van > 70 of 80 % kon worden waargenomen voor de carboxylaten bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup>, is dat in drinkwater slechts ongeveer 50 %. Voor sulfonaten wordt in drinkwater een afbraak ≤ 25 % waargenomen, met uitzondering van de vertakte PFOS, die blijkbaar ook in deze drinkwatermonsters werd aangetroffen. De beginconcentratie was echter veel lager dan van de andere componenten die gespiked waren, waardoor de afbraak, tot onder de rapportagegrens, zo hoog lijkt.

Het is duidelijk dat toevoeging van nitraat, zelfs in lage concentraties, al een significant effect heeft op de afbraak van PFAS. Dit is vooral zichtbaar bij de carboxylaten, hoewel het ook voor de sulfonaten geldt. Het verder verhogen van het nitraatgehalte tot 1 of 2 mg N/L heeft nog wel een negatief effect, maar veel kleiner dan het toevoegen van 0,5 mg N/L aan drinkwater.

De aanwezigheid van nitraat zou dus de verklaring kunnen zijn waarom in concentraat over het algemeen een veel lagere afbraak van PFAS kan worden waargenomen dan in Milli-Q water of drinkwater. Dit is gecheckt door het concentraat te verdunnen met een factor 2 of 4, dat wil zeggen van een nitraatgehalte van 3,9 mg N/L naar respectievelijk 2,0 en 0,67 mg N/L. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 20. Inderdaad blijkt dat

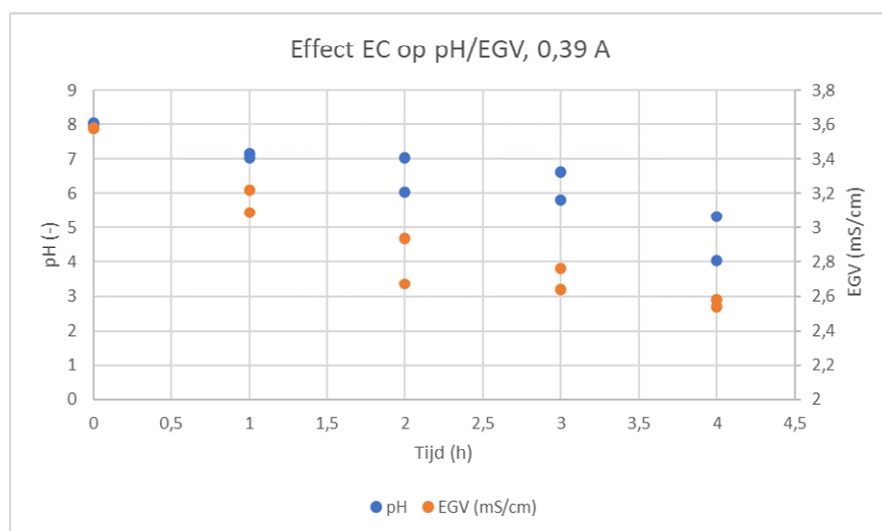
verlaging van de nitraatconcentratie een positief effect heeft op de verwijdering van PFAS, al is dit met name zichtbaar bij de carboxylaten, omdat de sulfonaten sowieso slecht lijken te worden afgebroken.



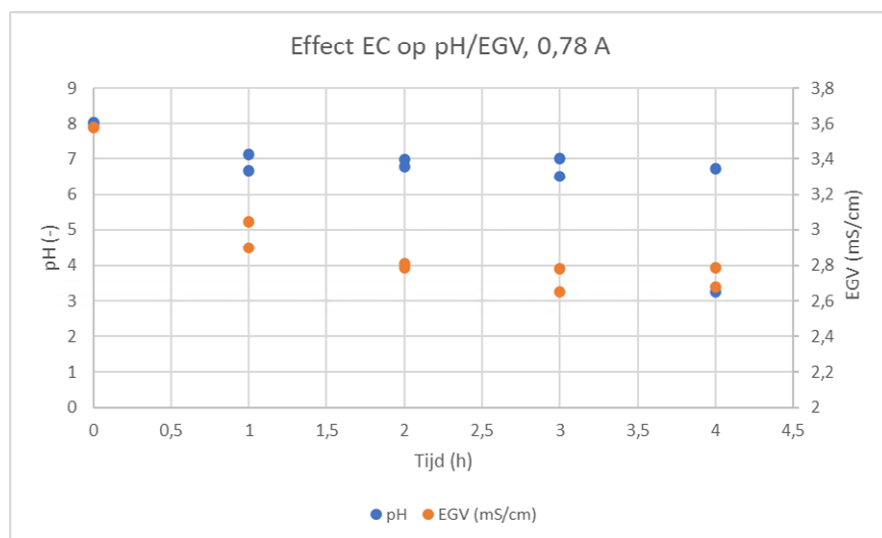
Figuur 20: verwijdering van PFAS uit concentraat bij pH 12 en toevoeging van 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en 200 mg KI/L, en verdunningsfactor 1, 2 en 4 (respectievelijk 3,9, 2,0 en 0,67 mg N/L).

## 5 Resultaten en discussie; anodische oxidatie experimenten

Bij het toepassen van de BDD elektrodes bij de anodische oxidatie experimenten vinden allerlei processen plaats die invloed hebben op de zuurgraad (pH) en elektrische geleidbaarheid (EGV); dit is weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22. Hieruit bleek dat zowel de EGV als de pH daalde bij de uitgevoerde experimenten; er leek weinig verschil te zijn tussen de toepassing van 0,39 of 0,78 A. Bij de experimenten ontstond een sterke chloorlucht wat aangeeft dat de vorming van chloor-actieve stoffen vanuit chloride ook plaatsvond. De ontstane matrix bleek zo sterk reactief dat voor de analyse een chemische reductor (0,5 g/l natriumthiosulfaat) moest worden toegevoegd omdat anders de interne standaarden, die bij de analyse worden gebruikt, volledig zouden worden afgebroken, waarschijnlijk door het gevormde chloor.



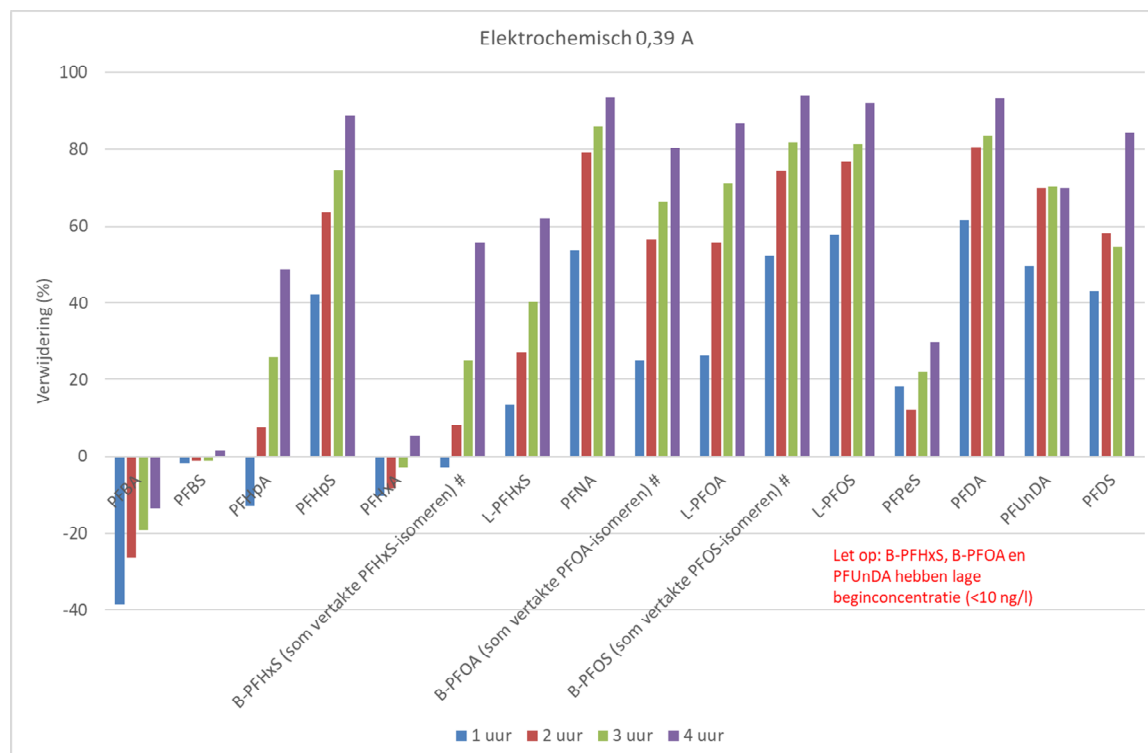
Figuur 21: Effect van de anodische oxidatie en tijd op de pH en EGV bij 0,39 A (duplo experimenten)



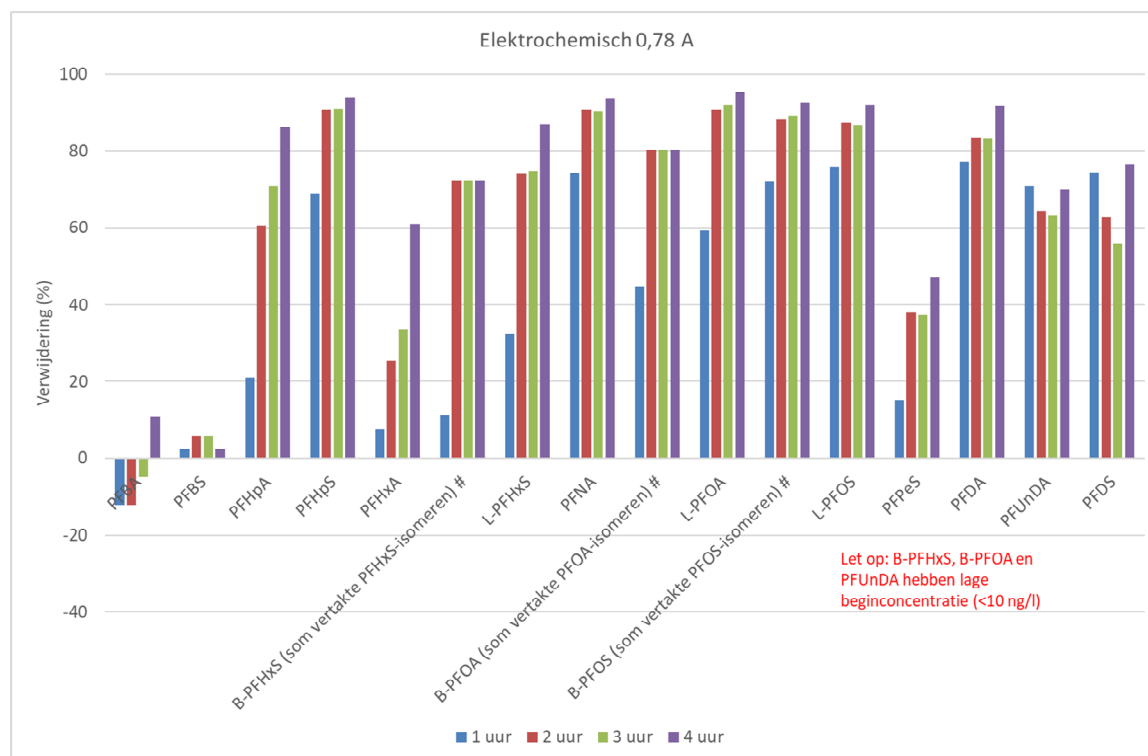
Figuur 22: Effect van de anodische oxidatie en tijd op de pH en EGV bij 0,78 A (duplo experimenten)

De daling van de pH kan wordt veroorzaakt door de vorming van protonen, zoals weergegeven in vergelijking 13, 20 en 26 in paragraaf 2.3. Dergelijke reacties hoeven uiteraard niet alleen met PFAS te hebben plaatsgevonden, aangezien de watermatrix, concentraat van een RO-proces, veel meer componenten bevatte, die ook omgezet kunnen zijn.

De elektrochemische afbraak van PFAS is weergegeven in Figuur 23 en Figuur 24.



Figuur 23: Omzetting van PFAS componenten door anodische (elektrochemische) oxidatie bij 0,39 A



Figuur 24: Omzetting van PFAS componenten door anodische (elektrochemische) oxidatie bij 0,78 A

De afbraak bij B-PFHxS, B-PFOA en PFUnDA lijkt relatief laag doordat de beginconcentratie laag was (respectievelijk 1,7, 2,5 en 1,9 ng/L). In het geval van B-PFHxS en B-PFOA komt dit doordat er niet bewust vertakte PFAS aan de stockoplossing was toegevoegd. B-PFOS wordt ook niet bewust toegevoegd, maar meestal wel in een lage maar significante concentratie in een gespikete oplossing aangetroffen. PFUnDA (C11) was weer in heel lage beginconcentraties aanwezig, en langere PFAS als PFDoDA (C12) en PFTrDA (C13), zijn niet boven de rapportagegrens aangetroffen, en dus buiten beschouwing gebleven (zie ook (Hofman-Caris 2024, Hofman-Caris et al. 2024, Van Veggel and Hofman-Caris 2024)). Een lage beginconcentratie heeft echter tot gevolg dat de omzetting maar tot een bepaald maximum kan worden vastgesteld, op het moment dat de rapportagegrens wordt bereikt (als de beginconcentratie 10 keer de rapportagegrens is, kan maximaal 90 % afbraak worden berekend, terwijl dat bij 100 keer de rapportagegrens 99 % is).

Bij een stroomsterkte van 0,39 A (Figuur 23) is duidelijk te zien dat een verlenging van de tijd in de meeste gevallen tot een sterkere afname van de concentratie leidt. Alleen bij de kleinere PFAS lijkt de concentratie door de elektrolyse toe te nemen. Dit geldt voor PFBA en PFBS (C4) en PFHxA (C6). Hierbij valt ook op dat de vorming minder lijkt te worden bij een langere reactietijd. Een verklaring hiervoor kan zijn dat bij de elektrolyse van grotere PFAS kleinere als transformatieproduct (TP) gevormd worden. Naarmate de reactie langer duurt, kunnen deze TP dan op hun beurt ook weer afgebroken worden. Dit is ook in overeenstemming met de resultaten uit Figuur 24, waarbij een hogere stroomsterkte van 0,78 A is toegepast. Ook hier lijken kleinere PFAS (PFBA) gevormd te worden, en neemt die vorming af bij langere reactietijden, totdat na 4 uur zelfs een netto afname in de concentratie kan worden waargenomen. Een hogere stroomsterkte zal ertoe leiden dat de gevormde TP zelf ook eerder afgebroken worden.

Verder valt op dat de PFAS die gevormd worden vooral carboxylaten zijn en in mindere mate sulfonaten. Dit zou ook kunnen verklaren waarom met name bij de wat kleinere PFAS de afbraak van sulfonaten beter lijkt te gaan dan die van carboxylaten (vergelijk PFHpA en PFHpS), terwijl bij PFDA en PFDS juist het omgekeerde effect lijkt op te treden. Als in principe grote carboxylaten worden omgezet in kleine, of zelfs sulfonaten in kleinere carboxylaten

worden omgezet, zou dat deze verschillen kunnen verklaren. Er zijn echter meer data en informatie over het optredende reactiemechanisme nodig om te kunnen vaststellen of dit een significant verschil is.

Over het algemeen lijkt het bij een hogere stroomsterkte van 0.78 A niet heel zinvol om langer dan 2 uur reactietijd aan te houden. Het verschil in afbraak tussen 2 en 3 uur is verwaarloosbaar, en na 4 uur wordt hooguit een kleine toename in afbraak waargenomen. Dit geldt overigens niet voor alle PFAS, want bij PFBA wordt na 4 uur een netto afbraak waargenomen, terwijl na 3 uur nog sprake was van een toename. Dit lijkt erop te wijzen dat na verdwijnen van de moederstof mogelijk nog TP gevormd en afgebroken kunnen worden. Eigenlijk zou, om dit goed te kunnen vaststellen, het fluoridegehalte van de oplossing bepaald moeten kunnen worden, maar de rapportagegrens van fluoride (20 µg/L) ligt significant hoger dan de grootteorde van de PFAS-concentraties in dit onderzoek (ng/L). In elk geval lijkt het te kort door de bocht om te stellen dat het niet nodig is een hogere stroomsterkte en/of langere reactietijd te hanteren, want mogelijk zijn er dan nog allerlei TP in het water aanwezig.

Over het algemeen lijkt anodische oxidatie wel een afbraak van  $\geq 70\%$ , voor veel typen PFAS zelf  $\geq 85\%$  te kunnen bewerkstelligen. Zeker omdat deze resultaten in RO-concentraat behaald werden, lijkt anodische oxidatie een effectief proces te kunnen zijn om PFAS af te breken. Het is echter wel aan te raden om meer onderzoek te doen, om te kijken in hoeverre PFAS worden afgebroken, en welke transformatieproducten mogelijk nog aanwezig zijn na het proces. Bovendien vereist opschaling van het proces nog wel enige aandacht, want tot nu toe zijn deze processen alleen op kleine schaal getest (Lu et al. 2020, Schaefer et al. 2020, McBeath et al. 2021, López-Vázquez et al. 2024, Saleh et al. 2024). Reactorontwerp en optimalisatie van het proces zijn dan ook nog zeker nodig, maar gezien de behaalde resultaten wel de moeite waard om te verkennen.

## 6 Vergelijking ARP en anodische oxidatie

Op dit moment worden twee technieken op grote schaal ingezet om PFAS uit bronnen voor drinkwater te verwijderen:

- Adsorptie op actieve kool
- Membraanfiltratie, met name RO

Beide technieken hebben voor- en nadelen. Bij RO is het nadeel vooral de relatief grote stroom concentraat die hierbij vrijkomt. Als dit concentraat onbehandeld wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater, pompen we het PFAS-probleem eigenlijk rond. Het zou beter zijn PFAS daadwerkelijk af te breken, en er fluoride van te maken in plaats van organische fluorverbindingen.

In dit rapport zijn twee technieken hiervoor onderzocht: ARP en anodische oxidatie. Beide staan nog in de kinderschoenen, en er zal voor beide meer onderzoek nodig zijn om de processen te kunnen optimaliseren.

ARP kan heel effectief zijn voor de afbraak van perfluorcarboxylaten, maar lijkt minder effectief voor de afbraak van perfluorsulfonaten in relatief schoon water. In een concentraatmatrix neemt de afbraak van de carboxylaten over het algemeen sterk af, maar bij de sulfonaten is dat effect minder sterk. In elk geval blijkt de aanwezigheid van nitraat een sterk negatieve invloed te hebben op de afbraak van de PFAS. Meer onderzoek is nodig om de afbraakreacties te begrijpen, en vervolgens te kunnen optimaliseren. Het is op dit moment nog niet te zeggen hoe effectief ARP dan wordt voor de afbraak van PFAS uit concentraatstromen.

ARP op basis van een UV-proces is goed op te schalen, met de beschikbare UV-reactoren. Deze worden al in full scale drinkwaterproductieprocessen toegepast voor desinfectie en geavanceerde oxidatie. Wel lijkt voor ARP een hogere UV-dosis nodig.

De eerste resultaten met anodische oxidatie op basis van BDD elektrodes in RO-concentraat zijn erg positief. Het lijkt erop dat in een concentraatstroom PFAS effectief kunnen worden afgebroken. Wel zijn dergelijke experimenten tot nu toe alleen op vrij kleine schaal uitgevoerd, en zal er nog meer onderzoek nodig zijn naar opschaling, en de economische aspecten van deze behandeling. BDD-elektrodes zijn voorlopig relatief duur.

Voor beide typen behandelingen, ARP en anodische oxidatie, geldt dat er transformatieproducten gevormd kunnen worden. Bij ons ARP-onderzoek leek dit minder een rol te spelen dan bij anodische oxidatie. Het is wel van groot belang hier aandacht aan te geven bij verder onderzoek, om te voorkomen dat een nieuw PFAS-probleem gecreëerd wordt.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Zoals vaker is waargenomen, zijn PFAS met lange ketens ( $> C_{10}$ ) vaak lastig aan te treffen in de stockoplossing, waarschijnlijk doordat ze aan het glaswerk adsorberen. Bij iets kleinere PFAS komt dat effect ook voor, maar kan zich ook desorptie voordoen. Voor de experimenten is uitgegaan van een gemiddelde beginconcentratie, maar hier kan dus een kleine variatie op voorkomen.

Membraanprocessen zijn effectief om PFAS uit water te verwijderen. Tegelijkertijd leveren ze een concentraatstroom op, die eigenlijk verder behandeld zou moeten worden voordat die kan worden afgevoerd. De beste oplossing is om PFAS chemisch af te breken, want anders komen ze uiteindelijk toch weer in het milieu terecht.

Geavanceerde reductie (onder anaerobe omstandigheden) kan PFAS afbreken. Hiervoor kan het beste een combinatie van UV/SO<sub>3</sub>/KI worden toegepast. Waar in een schone watermatrix een pH van 10 of 12 weinig verschil maakt, is in concentraat een pH van 12 echt effectiever.

Het blijkt dat in concentraat de afbraak van carboxylaten, die in schoon water  $> 85\%$  is, daalt tot onder  $25\%$ , terwijl de afbraak van sulfonaten, die in schoon water  $\leq 25\%$  was, niet verandert. De lagere afbraak van carboxylaten hangt zeer waarschijnlijk samen met de hogere nitraatconcentratie in concentraat. Nitraat is een scavenger, die al bij lage concentraties een significant negatief effect op de geavanceerde reductie van PFAS blijkt te hebben. Dit maakt toepassing van ARP in concentraat wel uitdagender.

Het feit dat de reductie van sulfonaten veel minder gevoelig is voor de samenstelling van de concentraatmatrix dan die van carboxylaten is een aanwijzing voor het onderliggende afbraakmechanisme, al is op dit moment nog niet duidelijk hoe dat precies werkt.

Zoals bij elk afbraakproces is het belangrijk oog te houden voor de mogelijke vorming van transformatieproducten. In het huidige onderzoek zijn er weinig transformatieproducten aangetoond, maar meer onderzoek hiernaar is wel wenselijk.

Anodische oxidatie van PFAS in een concentraatmatrix lijkt een effectieve afbraak van PFAS te geven. Een stroomsterkte van 0,39 of 0,78 A leek voor de grotere PFAS weinig verschil te maken, maar bij de lage stroomsterkte leek het gehalte aan kleine PFAS (met name PFBA) toe te nemen. Dit effect werd kleiner bij langduriger experimenten. Dit lijkt erop te wijzen dat grotere PFAS worden afgebroken tot kleinere, en dat het dus toch wel zinvol kan zijn om het proces bij een hogere stroomsterkte c.q. gedurende langere tijd te laten plaatsvinden.

Bovenstaande laat ook zien dat het bij anodische oxidatie van belang is rekening te houden met de mogelijke vorming van transformatieproducten, en dit zoveel mogelijk tegen te gaan door de reactieomstandigheden erop aan te passen.

Een belangrijk aandachtspunt voor anodische oxidatieprocessen voor de afbraak van PFAS is dat deze processen tot nu toe alleen op relatief kleine schaal zijn uitgevoerd. Opschaling vereist dan ook nog de nodige aandacht. Hierbij moeten ook economische factoren worden meegewogen, want de huidige BDD elektrodes zijn nog vrij duur.

## 7.2 Aanbevelingen

Het is aan te bevelen PFAS-houdende concentraatstromen van membraanprocessen zodanig te behandelen, dat PFAS chemisch worden afgebroken, om te voorkomen dat PFAS weer in het milieu terechtkomen. Geavanceerde reductie kan effectief zijn om PFAS af te breken, maar het wordt aanbevolen meer onderzoek te doen naar het afbraakmechanisme. Door een beter begrip van het proces kan het waarschijnlijk worden geoptimaliseerd. Hierdoor zou het ook effectiever kunnen worden voor de afbraak van PFAS in concentraatstromen. De rol van nitraat en de structuur van de PFAS (zoals carboxylaten versus sulfonaten) speelt hierbij een belangrijke rol, en zou verder onderzocht moeten worden. Daarnaast moet meer onderzoek worden gedaan naar de eventuele vorming van transformatieproducten. Opschaling van ARP lijkt niet echt een probleem te hoeven zijn.

Anodische oxidatie van PFAS lijkt ook in een concentraatmatrix goede afbraakresultaten te geven voor PFAS. Er zijn echter aanwijzingen dat er transformatieproducten gevormd kunnen worden, en het wordt aanbevolen hier meer onderzoek naar te doen, om te voorkomen dat die tot problemen gaan leiden. Ook zal meer onderzoek moeten worden gedaan naar de invloed van de watermatrix, en moet het proces nog geoptimaliseerd en met name ook ogeschaald worden. Tot nu toe zijn experimenten alleen op relatief kleine schaal uitgevoerd met dure BDD-elektrodes, en opschaling tot een economisch haalbaar full scale proces vereist nog meer onderzoek.

## 8 Referenties

- Albergamo, V., B. Blankert, W. G. J. van der Meer, P. de Voogt and E. R. Cornelissen (2020). "Removal of polar organic micropollutants by mixed-matrix reverse osmosis membranes." *Desalination* 479.
- Appleman, T. D., E. R. V. Dickenson, C. Bellona and C. P. Higgins (2013). "Nanofiltration and granular activated carbon treatment of perfluoroalkyl acids." *Journal of Hazardous Materials* 260: 740-746.
- Appleman, T. D., C. P. Higgins, O. Quiñones, B. J. Vanderford, C. Kolstad, J. C. Zeigler-Holady and E. R. V. Dickenson (2014). "Treatment of poly- and perfluoroalkyl substances in U.S. full-scale water treatment systems." *Water Research* 51: 246-255.
- Ateia, M., A. Maroli, N. Tharayil and T. Karanfil (2019). "The overlooked short- and ultrashort-chain poly- and perfluorinated substances: A review." *Chemosphere* 220: 866-882.
- Bao, Y., J. Huang, G. Cagnetta and G. Yu (2019). "Removal of F-53B as PFOS alternative in chrome plating wastewater by UV/Sulfite reduction." *Water Research* 163.
- Bolton, J. R. and K. G. Linden (2003). "Standardization of methods for fluence (UV Dose) determination in bench-scale UV experiments." *Journal of Environmental Engineering* 129(3): 209-215.
- Brendel, S., É. Fetter, C. Staude, L. Vierke and A. Biegel-Engler (2018). "Short-chain perfluoroalkyl acids: environmental concerns and a regulatory strategy under REACH." *Environmental Sciences Europe* 30(1).
- Crone, B. C., T. F. Speth, D. G. Wahman, S. J. Smith, G. Abulikemu, E. J. Kleiner and J. G. Pressman (2019). "Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in source water and their treatment in drinking water." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49(24): 2359-2396.
- Cui, D., X. Li and N. Quinete (2020). "Occurrence, fate, sources and toxicity of PFAS: What we know so far in Florida and major gaps." *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* 130.
- Cui, J., P. Gao and Y. Deng (2020). "Destruction of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) with Advanced Reduction Processes (ARPs): A Critical Review." *Environmental Science and Technology* 54(7): 3752-3766.
- De Waal, L. (2021). VO Kraamkamer: elektrochemische zuiveringsprocessen; Efficiënte zuivering van doelstoffen middels elektrochemische technieken, BTO 2021.053, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Dong, X., C. Li, W. Zheng and G. Wang (2018). Degradation of Polybrominated Aiphenyl Ethers in a UV Advanced Reduction Process with Different Reducing Agents. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Duan, Y. and B. Batchelor (2014). "Impacts of natural organic matter on perchlorate removal by an advanced reduction process." *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 49(6): 731-740.
- Eke, J., L. Banks, M. A. Mottaleb, A. J. Morris, O. V. Tsyusko and I. C. Escobar (2021). "Dual-functional phosphorene nanocomposite membranes for the treatment of perfluorinated water: An investigation of perfluorooctanoic acid removal via filtration combined with ultraviolet irradiation or oxygenation." *Membranes* 11(1): 1-18.
- Fennell, B. D., S. P. Mezyk and G. McKay (2022). "Critical Review of UV-Advanced Reduction Processes for the Treatment of Chemical Contaminants in Water." *ACS Environmental Au* 2(3): 178-205.
- Fennell, B. D., A. Odorisio and G. McKay (2022). "Quantifying Hydrated Electron Transformation Kinetics in UV-Advanced Reduction Processes Using the Re-,UVMMethod." *Environmental Science and Technology* 56(14): 10329-10338.
- Franke, V., P. McCleaf, K. Lindegren and L. Ahrens (2019). "Efficient removal of per- And polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: Nanofiltration combined with active carbon or anion exchange." *Environmental Science: Water Research and Technology* 5(11): 1836-1843.
- Hara, K., K. Sayama and H. Arakawa (1999). "UV photoinduced reduction of water to hydrogen in Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, and Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> aqueous solutions." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 128(1-3): 27-31.
- Hofman-Caris, C. H. M. (2024). PFAS-verwijdering uit drinkwater; overzicht van literatuur en kooldata uit de praktijk BTO 2024-037, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Hofman-Caris, C. H. M., D. Harmsen and A. Zoontjes (2024). Verwijdering van PFAS uit drinkwater met behulp van geavanceerde reductie; mogelijke vorming van transformatieproducten, BTO 2024-001, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.

- Hofman-Caris, C. H. M., D. Harmsen, A. Zoontjes and D. Vughs (2024). Verwijdering van PFAS uit drinkwater met behulp van geavanceerde reductie; mogelijke vorming van transformatieproducten, BTO 2024-001, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Hofman-Caris, C. H. M., D. H. Harmsen and B. A. Wols (2021). "UV/sulphite as alternative for UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for micropollutant degradation in drinking water." *Water Supply* 21(8): 4109-4120.
- Hofman-Caris, C. H. M. and D. J. H. Harmsen (2020). "Advanced reduction processes for the removal of metabolites from water." *UVSolutions* 2020(Issue): 33-38.
- Hofman-Caris, C. H. M., D. J. H. Harmsen, B. A. Wols, E. F. Beerendonk and L. L. M. Keltjens (2012). "The Use of Larger Volumes in a Collimated Beam Setup." *Ozone: Science and Engineering* 34(2): 125-128.
- Hofman-Caris, C. H. M. and W. Siegers (2022). Effectiviteit van verschillende soorten adsorbentia voor de verwijdering van PFAS uit water, KWR 2022.111, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Jung, B., R. Nicola, B. Batchelor and A. Abdel-Wahab (2014). "Effect of low- and medium-pressure Hg UV irradiation on bromate removal in advanced reduction process." *Chemosphere* 117(1): 663-672.
- Li, X., J. Ma, G. Liu, J. Fang, S. Yue, Y. Guan, L. Chen and X. Liu (2012). "Efficient reductive dechlorination of monochloroacetic acid by sulfite/UV process." *Environmental Science and Technology* 46(13): 7342-7349.
- Liu, X., B. P. Vellanki, B. Batchelor and A. Abdel-Wahab (2014). "Degradation of 1,2-dichloroethane with advanced reduction processes (ARPs): Effects of process variables and mechanisms." *Chemical Engineering Journal* 237: 300-307.
- Liu, X., S. Yoon, B. Batchelor and A. Abdel-Wahab (2013). "Photochemical degradation of vinyl chloride with an Advanced Reduction Process (ARP) - Effects of reagents and pH." *Chemical Engineering Journal* 215-216: 868-875.
- Liu, Z., Z. Chen, J. Gao, Y. Yu, Y. Men, C. Gu and J. Liu (2022). "Accelerated Degradation of Perfluorosulfonates and Perfluorocarboxylates by UV/Sulfite + Iodide: Reaction Mechanisms and System Efficiencies." *Environmental Science and Technology* 56(6): 3699-3709.
- López-Vázquez, J., C. S. Santos, R. Montes, R. Rodil, J. B. Quintana, J. Gäbler, L. Schäfer, F. C. Moreira and V. J. P. Vilar (2024). "Insights into the application of the anodic oxidation process for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water matrices." *Chemical Engineering Journal* 482.
- Lu, D., S. Sha, J. Luo, Z. Huang and X. Zhang Jackie (2020). "Treatment train approaches for the remediation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A critical review." *Journal of Hazardous Materials* 386.
- McBeath, S. T., A. Serrano Mora, F. Asadi Zeidabadi, B. K. Mayer, P. McNamara, M. Mohseni, M. R. Hoffmann and N. J. D. Graham (2021). "Progress and prospect of anodic oxidation for the remediation of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater using diamond electrodes." *Current Opinion in Electrochemistry* 30.
- McBeath, S. T., D. P. Wilkinson and N. J. D. Graham (2019). "Application of boron-doped diamond electrodes for the anodic oxidation of pesticide micropollutants in a water treatment process: A critical review." *Environmental Science: Water Research and Technology* 5(12): 2090-2107.
- Merino, N., Y. Qu, R. A. Deeb, E. L. Hawley, M. R. Hoffmann and S. Mahendra (2016). "Degradation and Removal Methods for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in Water." *Environmental Engineering Science* 33(9): 615-649.
- Nederlandse Overheid. (2021, 13-10-2021). "Drinkwaterbesluit." 13-10-2021. Retrieved 07-01-2022, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2021-10-13>.
- Nzeribe, B. N., M. Crimi, S. Mededovic Thagard and T. M. Holsen (2019). "Physico-Chemical Processes for the Treatment of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): A review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49(10): 866-915.
- Phong Vo, H. N., H. H. Ngo, W. Guo, T. M. Hong Nguyen, J. Li, H. Liang, L. Deng, Z. Chen and T. A. Hang Nguyen (2020). "Poly- and perfluoroalkyl substances in water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation." *Journal of Water Process Engineering* 36.
- Rahman, M. F., S. Peldszus and W. B. Anderson (2014). "Behaviour and fate of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: A review." *Water Research* 50: 318-340.
- Saleh, L., M. Remot, Q. B. Remaury, P. Pardon, P. Labadi, H. Budzinski, C. Coutanceau and J. P. Croué (2024). "PFAS degradation by anodic electrooxidation: Influence of BDD electrode configuration and presence of dissolved organic matter." *Chemical Engineering Journal* 489.
- Schaefer, C. E., D. Tran, Y. Fang, Y. J. Choi, C. P. Higgins and T. J. Strathmann (2020). "Electrochemical treatment of poly- And perfluoroalkyl substances in brines." *Environmental Science: Water Research and Technology* 6(10): 2704-2712.
- Sharma, S., N. P. Shetti, S. Basu, M. N. Nadagouda and T. M. Aminabhavi (2022). "Remediation of per- and polyfluoroalkyls (PFAS) via electrochemical methods." *Chemical Engineering Journal* 430.

- Sivagami, K., P. Sharma, A. V. Karim, G. Mohanakrishna, S. Karthika, G. Divyapriya, R. Saravanathamizhan and A. N. Kumar (2023). "Electrochemical-based approaches for the treatment of forever chemicals: Removal of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from wastewater." *Science of the Total Environment* 861.
- Söregård, M., G. Niarchos, P. E. Jensen and L. Ahrens (2019). "Electrodialytic per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) removal mechanism for contaminated soil." *Chemosphere* 232: 224-231.
- Tow, E. W., M. S. Ersan, S. Kum, T. Lee, T. F. Speth, C. Owen, C. Bellona, M. N. Nadagouda, A. M. Mikelonis, P. Westerhoff, C. Mysore, V. S. Frenkel, V. Desilva, W. S. Walker, A. K. Safulko and D. A. Ladner (2021). "Managing and treating per-and polyfluoroalkyl substances (Pfas) in membrane concentrates." *AWWA Water Science* 3(5).
- Trang, B., Y. Li, X. S. Xue, M. Ateia, K. N. Houk and W. R. Dichtel (2022). "Low-temperature mineralization of perfluorocarboxylic acids." *Science (New York, N.Y.)* 377(6608): 839-845.
- Van Veggel, M. and C. H. M. Hofman-Caris (2024). PFAS-verwijdering met behulp van foam fractionering, BTO 2024.041, KWR Water Research Institute, Nieuwegein.
- Wang, L. and X. Liu (2019). "Fast degradation of monochloroacetic acid by bioi-enhanced UV/S(IV) process: Efficiency and mechanism." *Catalysts* 9(5).
- Wols, B. A., D. J. H. Harmsen, E. F. Beerendonk and C. H. M. Hofman-Caris (2014). "Predicting pharmaceutical degradation by UV (LP)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes: A kinetic model." *Chemical Engineering Journal* 255: 334-343.
- Xiao, F. (2017). "Emerging poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review of current literature." *Water Research* 124: 482-495.
- Xiao, Q., Y. Ren and S. Yu (2017). "Pilot study on bromate reduction from drinking water by UV/sulfite systems: Economic cost comparisons, effects of environmental parameters and mechanisms." *Chemical Engineering Journal* 330: 1203-1210.
- Xiao, Q., T. Wang, S. Yu, P. Yi and L. Li (2017). "Influence of UV lamp, sulfur(IV) concentration, and pH on bromate degradation in UV/sulfite systems: Mechanisms and applications." *Water Research* 111: 288-296.
- Xiao, Q., S. Yu, L. Li, T. Wang, X. Liao and Y. Ye (2017). "An overview of advanced reduction processes for bromate removal from drinking water: Reducing agents, activation methods, applications and mechanisms." *Journal of Hazardous Materials* 324: 230-240.
- Xiong, Z., H. Zhang, W. Zhang, B. Lai and G. Yao (2019). "Removal of nitrophenols and their derivatives by chemical redox: A review." *Chemical Engineering Journal* 359: 13-31.
- Yang, L., L. He, J. Xue, Y. Ma, Y. Shi, L. Wu and Z. Zhang (2020). "UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>- based advanced reduction processes of aqueous contaminants: Current status and prospects." *Chemical Engineering Journal* 397.
- Yazdanbakhsh, A., A. Eslami, G. Moussavi, M. Rafiee and A. Sheikhmohammadi (2018). "Photo-assisted degradation of 2, 4, 6-trichlorophenol by an advanced reduction process based on sulfite anion radical: Degradation, dechlorination and mineralization." *Chemosphere* 191: 156-165.
- Yin, R., P. Shen and Z. Lu (2019). "A green approach for the reduction of graphene oxide by the ultraviolet/sulfite process." *Journal of Colloid and Interface Science* 550: 110-116.
- Yoon, S., D. S. Han, X. Liu, B. Batchelor and A. Abdel-Wahab (2014). "Degradation of 1,2-dichloroethane using advanced reduction processes." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2(1): 731-737.
- Yu, K., X. Li, L. Chen, J. Fang, H. Chen, Q. Li, N. Chi and J. Ma (2018). "Mechanism and efficiency of contaminant reduction by hydrated electron in the sulfite/iodide/UV process." *Water Research* 129: 357-364.
- Yu, X., D. Cabooter and R. Dewil (2018). "Effects of process variables and kinetics on the degradation of 2,4-dichlorophenol using advanced reduction processes (ARP)." *Journal of Hazardous Materials* 357: 81-88.
- Zhang, J., L. Gao, D. Bergmann, T. Bulatovic, A. Surapaneni and S. Gray (2023). "Review of influence of critical operation conditions on by-product/intermediate formation during thermal destruction of PFAS in solid/biosolids." *Science of the Total Environment* 854.

# I   Modellering van UV/SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> proces

| Model based upon steady state solvated electron concentration |            |             |              |                        |                |    |  |              |
|---------------------------------------------------------------|------------|-------------|--------------|------------------------|----------------|----|--|--------------|
| - Role of SO3. in degradation in PFAS?                        |            |             |              |                        |                |    |  |              |
|                                                               |            |             |              |                        |                |    |  |              |
| Scavengers                                                    | MW (g/mol) | Conc (mg/L) | Conc (mol/L) | Reaction rate constant |                |    |  | Contribution |
| H <sup>+</sup>                                                | 1          | 0           | 1,00E-08     | 2,30E+10               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| O <sub>2</sub>                                                | 32         | 0           | 0            | 1,90E+10               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  | 62         | 10          | 0,000161     | 9,70E+09               | Bfenell (2022) |    |  | 92%          |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                                  | 46         | 0           | 0            | 3,50E+09               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| N <sub>2</sub> O                                              | 44         | 0           | 0            | 9,10E+09               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                 | 61         | 300         | 0,004918     | 1,00E+06               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                                 | 60         | 100         | 0,001667     | 3,90E+05               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| DOC                                                           | 12         | 15          | 0,00125      | 1,00E+08               | Bfenell (2022) |    |  | 7%           |
| SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                                 | 80         | 60          | 0,00075      | 1,50E+06               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                 | 81         | 0           | 0            | 1,20E+08               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
| BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                 | 127,9      | 0           | 0            | 2,30E+09               | Bfenell (2022) |    |  | 0%           |
|                                                               |            |             |              |                        |                |    |  |              |
| Total scavenging capacity                                     |            |             |              | 1,70E+06               | 1/s            |    |  |              |
|                                                               |            |             |              |                        |                |    |  |              |
| Formation of e <sub>aq</sub> -                                |            |             |              | LP                     |                | MP |  |              |
| Concentration of sulfite                                      | 60         | mg/L        |              |                        |                |    |  |              |

|                                       |          |                |  |                        |            |                        |            |  |
|---------------------------------------|----------|----------------|--|------------------------|------------|------------------------|------------|--|
| Concentration of sulfite              | 0,00075  | mol/L          |  |                        |            |                        |            |  |
| Molar extinction sulfite              |          |                |  | 18                     | L/mol/cm   | see tab MP             |            |  |
| Quantum yield sulfite                 |          |                |  | 0,12                   | mol/Einst  | see tab MP             |            |  |
| Energy of a photon                    |          |                |  | 4,70E+05               | J/Einst    | see tab MP             |            |  |
| UV dose                               |          |                |  | 1000                   | mJ/cm²     | 1002                   | mJ/cm²     |  |
|                                       |          |                |  | 7,94E-06               | mol/L      | 1,18E-04               | mol/L      |  |
|                                       |          |                |  |                        |            |                        |            |  |
|                                       |          |                |  | LP                     |            | MP                     |            |  |
| Reaction of PFAS with e_aq- (L/mol/s) |          |                |  | Total degradation (ln) | Percentage | Total degradation (ln) | Percentage |  |
| TFA                                   | 1,90E+06 | Bfenell (2022) |  | 8,89E-06               | 0,0        | 1,32E-04               | 0,0        |  |
| PFOS                                  | 2,40E+09 | Bfenell (2022) |  | 1,12E-02               | 1,1        | 1,67E-01               | 15,3       |  |
| PFOS                                  | 7,30E+07 | Bfenell (2022) |  | 3,42E-04               | 0,0        | 5,07E-03               | 0,5        |  |
| PFOA                                  | 7,10E+08 | Bfenell (2022) |  | 3,32E-03               | 0,3        | 4,93E-02               | 4,8        |  |
| PFOA                                  | 5,10E+07 | Bfenell (2022) |  | 2,39E-04               | 0,0        | 3,54E-03               | 0,4        |  |
| PFOA                                  | 1,70E+07 | Bfenell (2022) |  | 7,95E-05               | 0,0        | 1,18E-03               | 0,1        |  |
| PFBS                                  | 1,80E+09 | Bfenell (2022) |  | 8,42E-03               | 0,8        | 1,25E-01               | 11,7       |  |
| PFHxS                                 | 1,70E+09 | Bfenell (2022) |  | 7,95E-03               | 0,8        | 1,18E-01               | 11,1       |  |
|                                       |          |                |  |                        |            |                        |            |  |

## II Samenstelling concentraat

Tabel 10: samenstelling concentraatmonsters

| Component          | eenheid | Concentraat<br>maart 2023 | Concentraat<br>maart 2023; pH<br>12 | Concentraat mei<br>2023 | Concentraat mei<br>2023; pH 12 |
|--------------------|---------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| pH                 | pH      | 8,2                       | 12                                  | 8,1                     | 12,2                           |
| Temperatuur (pH)   | °C      | 20,4                      | 20,5                                | 20,9                    | 20,7                           |
| Carbonaat          | mg/l    | <6,0                      | 850                                 | <6,0                    | 1500                           |
| Waterstofcarbonaat | mg/l    | 620                       | 270                                 | 730                     | 260                            |
| TOC                | mg C/l  | 16<br>17                  | 14                                  | 19                      | 15                             |
| Chloride           | mg Cl/l | 890                       | 840                                 | 620                     | 600                            |
| Nitraat            | mg N/l  | 2,0                       | 1,9                                 | 3,0                     | 3,1                            |
| Sulfaat            | mg/l    | 340                       | 330                                 | 260                     | 280                            |
| Lithium            | µg/l    | 61                        | 57                                  | 40                      | 37                             |
| Beryllium          | µg/l    | <0,01                     | <0,01                               | <0,01                   | <0,01                          |
| Boor               | µg/l    | 110                       | 1100                                | 72                      | 850                            |
| Natrium            | µg/l    | 403700                    | 791700                              | 389300                  | 1227100                        |
| Magnesium          | µg/l    | 67800                     | 130                                 | 69100                   | 42                             |
| Aluminium          | µg/l    | 10                        | 6,8                                 | 7,1                     | 11                             |
| Kalium             | µg/l    | 29300                     | 20900                               | 37700                   | 33300                          |
| Calcium            | µg/l    | 207200                    | 950                                 | 353500                  | 1600                           |



|           |      |       |       |       |       |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
| Scandium  | µg/l | <1,0  | <1,0  | <1,0  | <1,0  |
| Titanium  | µg/l | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 |
| Vanadium  | µg/l | 0,16  | 0,14  | 0,22  | 0,21  |
| Chroom    | µg/l | 1,5   | 2,8   | <0,50 | <0,50 |
| Mangaan   | µg/l | 0,18  | 0,4   | 0,19  | <0,05 |
| IJzer     | µg/l | <10   | <10   | <10   | <10   |
| Kobalt    | µg/l | 0,46  | 0,68  | 0,71  | 0,66  |
| Nikkel    | µg/l | 6,8   | 3,2   | 7,1   | 2,8   |
| Koper     | µg/l | 4,0   | 4,1   | 5,0   | 3,2   |
| Zink      | µg/l | 1,5   | 5,2   | 1,4   | 2,4   |
| Gallium   | µg/l | 0,41  | 0,01  | 0,39  | 0,02  |
| Germanium | µg/l | 0,01  | <0,01 | 0,02  | 0,01  |
| Arseen    | µg/l | 1,8   | 1,4   | 1,2   | 0,91  |
| Seleen    | µg/l | 4,5   | 2,6   | 2,6   | <0,50 |
| Rubidium  | µg/l | 27    | 27    | 20    | 20    |
| Strontium | µg/l | 2000  | 150   | 1800  | 130   |
| Yttrium   | µg/l | 0,04  | <0,01 | 0,05  | 0,01  |
| Zirkonium | µg/l | 0,11  | <0,05 | 0,06  | <0,05 |
| Niobium   | µg/l | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Molybdeen | µg/l | 6,9   | 6,6   | 5,0   | 5,0   |
| Ruthenium | µg/l | 0,01  | 0,02  | 0,01  | 0,05  |
| Palladium | µg/l | 1,6   | 0,13  | 1,8   | 0,15  |
| Zilver    | µg/l | <0,02 | <0,02 | 0,02  | <0,02 |

|              |      |       |       |       |       |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Cadmium      | µg/l | 0,02  | 0,01  | 0,02  | 0,02  |
| Indium       | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,02  | 0,02  |
| Tin          | µg/l | <0,05 | 0,06  | <0,05 | <0,05 |
| Antimoon     | µg/l | 0,84  | 0,89  | 0,79  | 0,82  |
| Telluur      | µg/l | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Cesium       | µg/l | 0,24  | 0,33  | 0,18  | 0,25  |
| Barium       | µg/l | 190   | 4,7   | 160   | 5,6   |
| Lanthanium   | µg/l | 0,02  | <0,01 | 0,01  | <0,01 |
| Cerium       | µg/l | 0,01  | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Praseodymium | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Neodymium    | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,01  | <0,01 |
| Samarium     | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Europium     | µg/l | 0,04  | <0,01 | 0,04  | <0,01 |
| Gadolinium   | µg/l | 0,51  | 0,49  | 0,56  | 0,55  |
| Terbium      | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Dysprosium   | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Holmium      | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Erbium       | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Thulium      | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Ytterbium    | µg/l | 0,01  | <0,01 | 0,01  | 0,01  |
| Lutenium     | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Hafnium      | µg/l | 0,09  | 0,02  | <0,02 | <0,02 |
| Tantalium    | µg/l | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 |

|          |      |       |       |       |       |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|
| Wolfraam | µg/l | 0,03  | 0,04  | 0,06  | 0,06  |
| Renium   | µg/l | 0,1   | 0,1   | 0,05  | 0,05  |
| Osmium   | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,02 | <0,01 |
| Iridium  | µg/l | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,01  |
| Platina  | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Thallium | µg/l | 0,02  | 0,01  | 0,03  | 0,01  |
| Lood     | µg/l | 0,07  | 0,06  | 0,02  | 0,02  |
| Bismut   | µg/l | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Thorium  | µg/l | <0,10 | <0,10 | <0,10 | <0,10 |
| Uranium  | µg/l | 3,0   | 0,22  | 2,3   | 0,12  |

### III Data reductie-experimenten

| a                                                       | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>0 mJcm2 A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>0 mJcm2 B | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>2000 mJcm2<br>A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>2000 mJcm2<br>B | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l<br>3000 mJcm2<br>A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>3000 mJcm2<br>B |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 49                                                                          | 50                                                                          | 44                                                                                | 46                                                                                | 46                                                                             | 44                                                                                |
| PFBS                                                    | 49                                                                          | 50                                                                          | 48                                                                                | 50                                                                                | 51                                                                             | 48                                                                                |
| PFDA                                                    | 13                                                                          | 11                                                                          | 12                                                                                | 11                                                                                | 13                                                                             | 13                                                                                |
| PFDoDA                                                  | <1,5                                                                        | <1,5                                                                        | <1,5                                                                              | <1,5                                                                              | <1,5                                                                           | <1,5                                                                              |
| PFDS                                                    | 3,2                                                                         | 2,9                                                                         | 3,3                                                                               | 3,0                                                                               | 3,8                                                                            | 4,3                                                                               |
| PFHpA                                                   | 56                                                                          | 57                                                                          | 51                                                                                | 53                                                                                | 53                                                                             | 50                                                                                |
| PFHpS                                                   | 37                                                                          | 39                                                                          | 38                                                                                | 36                                                                                | 42                                                                             | 39                                                                                |
| PFHxA                                                   | 55                                                                          | 55                                                                          | 52                                                                                | 52                                                                                | 52                                                                             | 50                                                                                |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                        | <1,5                                                                        | <1,5                                                                              | <1,5                                                                              | <1,5                                                                           | <1,5                                                                              |
| L-PFHxS                                                 | 50                                                                          | 51                                                                          | 51                                                                                | 51                                                                                | 53                                                                             | 50                                                                                |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFNA                                                  | 32   | 33   | 32   | 30   | 32   | 31   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                | 50   | 51   | 50   | 48   | 49   | 48   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 5,4  | 5,1  | 2,8  | 2,5  | 2,3  | 2,2  |
| L-PFOS                                                | 24   | 24   | 26   | 25   | 27   | 24   |
| PFPeS                                                 | 58   | 60   | 59   | 59   | 64   | 59   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | 1,2  | 0,91 | 0,90 | 0,92 | 1,2  | 1,1  |

| <b>b</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG<br/>+ 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 0<br/>mJcm2 A</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG + 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 0<br/>mJcm2 B</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG + 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 2000<br/>mJcm2 A</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG + 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 2000<br/>mJcm2 B</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG + 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 3000<br/>mJcm2 A</b> | <b>MD lamp<br/>Drinkwater<br/>NG + 50<br/>mg/INa2SO3<br/>+ 200mg/l KI<br/>pH 10 3000<br/>mJcm2 B</b> |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA     | 47                                                                                                    | 49                                                                                                | 40                                                                                                   | 39                                                                                                   | 29                                                                                                   | 32                                                                                                   |

|                                                   |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFBS                                              | 50   | 50   | 48   | 49   | 50   | 45   |
| PFDA                                              | 11   | 11   | 9,1  | 8,0  | 6,8  | 8,0  |
| PFDoDA                                            | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS                                              | 4,2  | 4,2  | 3,3  | 3,1  | 3,3  | 3,6  |
| PFHpA                                             | 57   | 57   | 42   | 40   | 30   | 34   |
| PFHpS                                             | 40   | 39   | 39   | 39   | 38   | 39   |
| PFHxA                                             | 57   | 57   | 44   | 41   | 29   | 34   |
| B-PFHxS (som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren) # | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                           | 52   | 53   | 52   | 53   | 52   | 50   |
| PFNA                                              | 32   | 32   | 25   | 24   | 19   | 21   |
| B-PFOA (som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren) #   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                            | 52   | 51   | 40   | 37   | 27   | 32   |
| B-PFOS (som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren) #   | 5,1  | 5,4  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                            | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   |
| PFPeS                                             | 61   | 60   | 60   | 57   | 59   | 60   |
| PFTTrDA                                           | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                            | 0,88 | 0,84 | 0,79 | <1,5 | 0,61 | 0,77 |

| c                                                       | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>0 mJcm2 A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>0 mJcm2 B | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>2000 mJcm2<br>A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>2000 mJcm2<br>B | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>3000 mJcm2<br>A | MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 2<br>mg/ N<br>+ 100<br>mg/INa2SO3<br>+ 200mg/l KI<br>3000 mJcm2<br>B |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 43                                                                                               | 47                                                                                               | 46                                                                                                     | 43                                                                                                     | 46                                                                                                     | 41                                                                                                     |
| PFBS                                                    | 47                                                                                               | 47                                                                                               | 47                                                                                                     | 47                                                                                                     | 55                                                                                                     | 47                                                                                                     |
| PFDA                                                    | 11                                                                                               | 32                                                                                               | 15                                                                                                     | 12                                                                                                     | 10                                                                                                     | 11                                                                                                     |
| PFDODA                                                  | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   |
| PFDS                                                    | 1,6                                                                                              | 2,2                                                                                              | 1,7                                                                                                    | 1,9                                                                                                    | 1,5                                                                                                    | 2,0                                                                                                    |
| PFHpA                                                   | 52                                                                                               | 54                                                                                               | 51                                                                                                     | 51                                                                                                     | 56                                                                                                     | 49                                                                                                     |
| PFHpS                                                   | 31                                                                                               | 32                                                                                               | 30                                                                                                     | 31                                                                                                     | 35                                                                                                     | 31                                                                                                     |
| PFHxA                                                   | 54                                                                                               | 54                                                                                               | 51                                                                                                     | 51                                                                                                     | 56                                                                                                     | 48                                                                                                     |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   |
| L-PFHxS                                                 | 46                                                                                               | 47                                                                                               | 46                                                                                                     | 45                                                                                                     | 54                                                                                                     | 46                                                                                                     |
| PFNA                                                    | 25                                                                                               | 36                                                                                               | 26                                                                                                     | 25                                                                                                     | 25                                                                                                     | 23                                                                                                     |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte                              | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                             | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFOA-<br>isomeren)<br>#                               |      |      |      |      |      |      |
| L-PFOA                                                | 43   | 49   | 43   | 41   | 46   | 41   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 4,0  | 4,3  | 3,3  | 3,3  | <1,5 | 1,5  |
| L-PFOS                                                | 16   | 17   | 15   | 14   | 16   | 16   |
| PFPeS                                                 | 54   | 57   | 57   | 57   | 65   | 57   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | <1,5 | 0,62 | <1,5 | <1,5 | 0,62 | 0,63 |

| d    | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 +<br>50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 200 mg/l<br>KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 +<br>50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 200 mg/l<br>KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> A | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +200<br>mg/l KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> B |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 47                                                                                                                                                | 47                                                                                                                                                | 39                                                                                                                                                 | 39                                                                                                                                          | 29                                                                                                                                                 | 26                                                                                                                                                 |
| PFBS | 48                                                                                                                                                | 49                                                                                                                                                | 48                                                                                                                                                 | 49                                                                                                                                          | 50                                                                                                                                                 | 49                                                                                                                                                 |
| PFDA | 14                                                                                                                                                | 15                                                                                                                                                | 10                                                                                                                                                 | 9,8                                                                                                                                         | 7,8                                                                                                                                                | 7,1                                                                                                                                                |



|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFDODA                                                  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS                                                    | 2,8  | 3,0  | 2,4  | 2,5  | 2,1  | 2,2  |
| PFHpA                                                   | 53   | 54   | 43   | 45   | 29   | 25   |
| PFHpS                                                   | 34   | 35   | 36   | 36   | 34   | 35   |
| PFHxA                                                   | 53   | 56   | 45   | 46   | 28   | 26   |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 50   | 51   | 49   | 52   | 49   | 50   |
| PFNA                                                    | 29   | 31   | 22   | 24   | 17   | 14   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                  | 49   | 48   | 38   | 40   | 25   | 22   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | 4,4  | 4,9  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                  | 19   | 21   | 19   | 20   | 19   | 18   |
| PFPeS                                                   | 58   | 61   | 58   | 59   | 60   | 58   |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,68 | 0,75 | 0,66 | 0,67 | <1,5 | <1,5 |

| e                                                       | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG +100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+ 200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG +100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+ 200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG+100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG+100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG+100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG+100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 B |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 43                                                                                                     | 46                                                                                                     | 43                                                                                                      | 44                                                                                                      | 44                                                                                                      | 46                                                                                                      |
| PFBS                                                    | 48                                                                                                     | 49                                                                                                     | 47                                                                                                      | 48                                                                                                      | 48                                                                                                      | 48                                                                                                      |
| PFDA                                                    | 10                                                                                                     | 14                                                                                                     | 11                                                                                                      | 9,9                                                                                                     | 8,1                                                                                                     | 9,3                                                                                                     |
| PFDoDA                                                  | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    |
| PFDS                                                    | 3,3                                                                                                    | 3,0                                                                                                    | 3,0                                                                                                     | 3,1                                                                                                     | 2,3                                                                                                     | 2,6                                                                                                     |
| PFHpA                                                   | 54                                                                                                     | 55                                                                                                     | 51                                                                                                      | 53                                                                                                      | 50                                                                                                      | 51                                                                                                      |
| PFHpS                                                   | 37                                                                                                     | 37                                                                                                     | 38                                                                                                      | 39                                                                                                      | 37                                                                                                      | 38                                                                                                      |
| PFHxA                                                   | 52                                                                                                     | 55                                                                                                     | 48                                                                                                      | 53                                                                                                      | 47                                                                                                      | 51                                                                                                      |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                    |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| L-PFHxS                                               | 51   | 51   | 51   | 51   | 49   | 50   |
| PFNA                                                  | 31   | 34   | 30   | 31   | 28   | 29   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                | 48   | 50   | 48   | 48   | 45   | 47   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 4,9  | 5,3  | 2,7  | 2,6  | 1,6  | 1,7  |
| L-PFOS                                                | 23   | 25   | 23   | 24   | 22   | 23   |
| PFPeS                                                 | 59   | 58   | 59   | 59   | 57   | 58   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,71 | <1,5 | 0,61 |

|   |                                                                                                                    |                                                                                                                    |                                                                                                                     |                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                                                                                  |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| f | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 10<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 200 mg/l | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 10<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 200 mg/l | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH<br>10+100<br>mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 10<br>100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH<br>10+100<br>mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 10<br>100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                         | KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>A | KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>B | KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> A | KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> B | KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> A | KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PFBA                                                    | 120                         | 120                         | 91                             | 90                             | 70                             | 72                             |
| PFBS                                                    | 48                          | 48                          | 46                             | 46                             | 46                             | 49                             |
| PFDA                                                    | 9,1                         | 9,7                         | 7,0                            | 6,8                            | 5,8                            | 6,3                            |
| PFDoDA                                                  | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           |
| PFDS                                                    | 2,9                         | 3,1                         | 2,8                            | 2,7                            | 1,7                            | 2,3                            |
| PFHpA                                                   | 54                          | 53                          | 40                             | 37                             | 29                             | 30                             |
| PFHpS                                                   | 35                          | 36                          | 35                             | 34                             | 34                             | 37                             |
| PFHxA                                                   | 53                          | 55                          | 39                             | 38                             | 30                             | 29                             |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           |
| L-PFHxS                                                 | 50                          | 49                          | 49                             | 48                             | 48                             | 50                             |
| PFNA                                                    | 29                          | 30                          | 22                             | 21                             | 17                             | 17                             |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           |
| L-PFOA                                                  | 48                          | 49                          | 36                             | 34                             | 26                             | 26                             |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte                              | 4,8                         | 5,0                         | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           | <1,5                           |

| PFOS-<br>isomeren)<br># |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| L-PFOS                  | 21   | 22   | 21   | 20   | 21   | 22   |
| PFPeS                   | 55   | 58   | 56   | 57   | 56   | 58   |
| PFTTrDA                 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                  | 0,60 | 0,68 | 0,67 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| g      | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH<br>12+100<br>mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 B |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 46                                                                                                            | 45                                                                                                         | 32                                                                                                            | 31                                                                                                            | 19                                                                                                            | 18                                                                                                            |
| PFBS   | 50                                                                                                            | 50                                                                                                         | 49                                                                                                            | 48                                                                                                            | 48                                                                                                            | 49                                                                                                            |
| PFDA   | 13                                                                                                            | 16                                                                                                         | 9,7                                                                                                           | 7,9                                                                                                           | 5,6                                                                                                           | 6,0                                                                                                           |
| PFDoDA | <1,5                                                                                                          | <1,5                                                                                                       | <1,5                                                                                                          | <1,5                                                                                                          | <1,5                                                                                                          | <1,5                                                                                                          |
| PFDS   | 3,7                                                                                                           | 3,3                                                                                                        | 2,5                                                                                                           | 2,8                                                                                                           | 1,9                                                                                                           | 2,6                                                                                                           |
| PFHpA  | 56                                                                                                            | 54                                                                                                         | 35                                                                                                            | 34                                                                                                            | 17                                                                                                            | 17                                                                                                            |
| PFHpS  | 37                                                                                                            | 37                                                                                                         | 35                                                                                                            | 34                                                                                                            | 39                                                                                                            | 38                                                                                                            |
| PFHxA  | 56                                                                                                            | 56                                                                                                         | 35                                                                                                            | 35                                                                                                            | 17                                                                                                            | 16                                                                                                            |

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomerer)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 52   | 51   | 49   | 48   | 48   | 50   |
| PFNA                                                    | 30   | 31   | 19   | 19   | 10   | 9,4  |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomerer)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                  | 49   | 49   | 31   | 30   | 15   | 14   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomerer)<br>#   | 4,4  | 4,7  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                  | 20   | 20   | 19   | 20   | 17   | 19   |
| PFPeS                                                   | 60   | 62   | 58   | 53   | 55   | 60   |
| PFTTrDA                                                 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                  | 0,65 | 0,73 | <1,5 | 0,62 | <1,5 | <1,5 |

| h | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH | CB VO-PFAS:<br>MD lamp UW pH |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|   |                              |                              |                              |                              |                              |                              |

|                                                         | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI 0<br/>mJcm<sup>2</sup> A</b> | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI 0<br/>mJcm<sup>2</sup> B</b> | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI<br/>2000 mJcm<sup>2</sup> A</b> | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI<br/>2000 mJcm<sup>2</sup> B</b> | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI<br/>3000 mJcm<sup>2</sup> A</b> | <b>12<br/>+0,5mg/l N<br/>+100mg/l Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub><br/>+200 mg/l KI<br/>3000 mJcm<sup>2</sup> B</b> |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 46                                                                                                           | 46                                                                                                           | 25                                                                                                              | 25                                                                                                              | 7,0                                                                                                             | 10                                                                                                              |
| PFBS                                                    | 49                                                                                                           | 47                                                                                                           | 50                                                                                                              | 48                                                                                                              | 47                                                                                                              | 49                                                                                                              |
| PFDA                                                    | 17                                                                                                           | 11                                                                                                           | 13                                                                                                              | 8,0                                                                                                             | 6,7                                                                                                             | 6,5                                                                                                             |
| PFDoDA                                                  | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            |
| PFDS                                                    | 3,9                                                                                                          | 2,9                                                                                                          | 2,4                                                                                                             | 2,4                                                                                                             | 1,8                                                                                                             | 2,0                                                                                                             |
| PFHpA                                                   | 52                                                                                                           | 54                                                                                                           | 24                                                                                                              | 24                                                                                                              | 5,0                                                                                                             | 7,9                                                                                                             |
| PFHpS                                                   | 33                                                                                                           | 31                                                                                                           | 32                                                                                                              | 32                                                                                                              | 30                                                                                                              | 31                                                                                                              |
| PFHxA                                                   | 51                                                                                                           | 53                                                                                                           | 24                                                                                                              | 24                                                                                                              | 5,3                                                                                                             | 7,9                                                                                                             |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            |
| L-PFHxS                                                 | 48                                                                                                           | 46                                                                                                           | 46                                                                                                              | 45                                                                                                              | 45                                                                                                              | 45                                                                                                              |
| PFNA                                                    | 27                                                                                                           | 26                                                                                                           | 14                                                                                                              | 13                                                                                                              | 5,3                                                                                                             | 7,1                                                                                                             |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            |
| L-PFOA                                                  | 46                                                                                                           | 44                                                                                                           | 22                                                                                                              | 21                                                                                                              | 5,4                                                                                                             | 8,0                                                                                                             |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                | 18   | 18   | 18   | 17   | 14   | 17   |
| PFPeS                                                 | 53   | 49   | 54   | 54   | 54   | 58   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| i      | CB VO-PFAS<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100<br>mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>0mJcm2 A | CB VO-PFAS<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100<br>mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>0mJcm2 B | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>2000mJcm2 A | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>2000mJcm2 B | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>3000mJcm2 A | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+0,5mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>3000mJcm2 B |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 10                                                                                                           | 45                                                                                                           | 48                                                                                                        | 45                                                                                                        | 42                                                                                                        | 38                                                                                                        |
| PFBS   | 49                                                                                                           | 49                                                                                                           | 48                                                                                                        | 49                                                                                                        | 49                                                                                                        | 49                                                                                                        |
| PFDA   | 6,5                                                                                                          | 12                                                                                                           | 9,4                                                                                                       | 9,9                                                                                                       | 7,9                                                                                                       | 7,3                                                                                                       |
| PFDODA | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                         | <1,5                                                                                                      | <1,5                                                                                                      | <1,5                                                                                                      | <1,5                                                                                                      |
| PFDS   | 2,0                                                                                                          | 1,9                                                                                                          | 2,1                                                                                                       | 2,6                                                                                                       | 2,0                                                                                                       | 2,1                                                                                                       |
| PFHpA  | 7,9                                                                                                          | 54                                                                                                           | 54                                                                                                        | 51                                                                                                        | 47                                                                                                        | 43                                                                                                        |
| PFHpS  | 31                                                                                                           | 35                                                                                                           | 37                                                                                                        | 33                                                                                                        | 33                                                                                                        | 35                                                                                                        |



|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFHxA                                                   | 7,9  | 52   | 52   | 51   | 48   | 44   |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 45   | 47   | 49   | 49   | 48   | 50   |
| PFNA                                                    | 7,1  | 25   | 25   | 26   | 23   | 21   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                  | 8,0  | 53   | 52   | 52   | 47   | 43   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                  | 17   | 16   | 18   | 19   | 17   | 17   |
| PFPeS                                                   | 58   | 55   | 59   | 50   | 58   | 65   |
| PFTrDA                                                  | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | 0,62 | <1,5 | <1,5 |

| j                                                       | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI 0<br>mJcm2 A | CBVO-PFAS<br>MDlamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI 0<br>mJcm2 B | CBVO-PFAS<br>MDlampDrinkwater<br>NG pH 12<br>+1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>2000mJcm2 A | CBVO-PFAS<br>MDlampDrinkwater<br>NG pH 12<br>+ 1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>2000mJcm2 B | CBVO-PFAS<br>MDlampDrinkwater<br>NG pH 12<br>+ 1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>3000mJcm2 A | CBVO-PFAS<br>MDlampDrinkwater<br>NG pH 12<br>+ 1 mg/IN<br>+100mg/INa2SO3<br>+200mg/IKI<br>3000mJcm2 B |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 51                                                                                                     | 51                                                                                                      | 46                                                                                                   | 45                                                                                                    | 45                                                                                                    | 44                                                                                                    |
| PFBS                                                    | 48                                                                                                     | 48                                                                                                      | 48                                                                                                   | 48                                                                                                    | 48                                                                                                    | 42                                                                                                    |
| PFDA                                                    | 8,5                                                                                                    | 9,1                                                                                                     | 16                                                                                                   | 11                                                                                                    | 9,6                                                                                                   | 9,2                                                                                                   |
| PFDODA                                                  | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                 | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  |
| PFDS                                                    | 2,0                                                                                                    | 2,5                                                                                                     | 1,9                                                                                                  | 1,7                                                                                                   | 2,2                                                                                                   | 1,6                                                                                                   |
| PFHpA                                                   | 52                                                                                                     | 53                                                                                                      | 48                                                                                                   | 48                                                                                                    | 45                                                                                                    | 44                                                                                                    |
| PFHpS                                                   | 35                                                                                                     | 36                                                                                                      | 33                                                                                                   | 33                                                                                                    | 34                                                                                                    | 30                                                                                                    |
| PFHxA                                                   | 52                                                                                                     | 53                                                                                                      | 48                                                                                                   | 48                                                                                                    | 46                                                                                                    | 43                                                                                                    |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                 | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  |
| L-PFHxS                                                 | 48                                                                                                     | 48                                                                                                      | 48                                                                                                   | 48                                                                                                    | 49                                                                                                    | 42                                                                                                    |
| PFNA                                                    | 25                                                                                                     | 25                                                                                                      | 26                                                                                                   | 23                                                                                                    | 23                                                                                                    | 21                                                                                                    |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-                     | <1,5                                                                                                   | <1,5                                                                                                    | <1,5                                                                                                 | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  | <1,5                                                                                                  |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| isomeren)<br>#                                        |      |      |      |      |      |      |
| L-PFOA                                                | 51   | 52   | 49   | 48   | 45   | 43   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                | 17   | 18   | 17   | 18   | 18   | 16   |
| PFPeS                                                 | 59   | 51   | 59   | 57   | 58   | 50   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| k    | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>A | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm <sup>2</sup><br>B | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> A | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm <sup>2</sup> B | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> A | CB VO-<br>PFAS<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 1 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm <sup>2</sup> B |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 46                                                                                                                                                 | 47                                                                                                                                                 | 34                                                                                                                                                    | 35                                                                                                                                                    | 23                                                                                                                                                    | 19                                                                                                                                                    |
| PFBS | 48                                                                                                                                                 | 48                                                                                                                                                 | 47                                                                                                                                                    | 48                                                                                                                                                    | 48                                                                                                                                                    | 48                                                                                                                                                    |
| PFDA | 14                                                                                                                                                 | 16                                                                                                                                                 | 6,8                                                                                                                                                   | 7,6                                                                                                                                                   | 6,3                                                                                                                                                   | 4,9                                                                                                                                                   |

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFDODA                                                  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS                                                    | 2,5  | 2,0  | 2,4  | 2,4  | 2,2  | 2,1  |
| PFHpA                                                   | 52   | 52   | 36   | 37   | 21   | 18   |
| PFHpS                                                   | 30   | 31   | 35   | 34   | 32   | 30   |
| PFHxA                                                   | 52   | 51   | 38   | 37   | 21   | 19   |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 46   | 45   | 46   | 47   | 46   | 45   |
| PFNA                                                    | 25   | 25   | 19   | 19   | 12   | 10   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                  | 45   | 44   | 32   | 32   | 21   | 16   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                  | 17   | 17   | 18   | 18   | 17   | 15   |
| PFPeS                                                   | 57   | 59   | 59   | 51   | 56   | 50   |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| I                                                       | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 2 mg/l N<br>+ 100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+ 2 mg/l N<br>+ 100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 0 mJcm2<br>B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+2 mg/l N<br>+ 100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+2 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 2000<br>mJcm2 B | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+2 mg/l N<br>+ 100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 A | CB VO-<br>PFAS:<br>MD lamp<br>UW<br>pH 12<br>+2 mg/l N<br>+100 mg/l<br>Na2SO3<br>+200 mg/l<br>KI 3000<br>mJcm2 B |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 46                                                                                                              | 48                                                                                                              | 45                                                                                                                | 46                                                                                                               | 41                                                                                                                | 46                                                                                                               |
| PFBS                                                    | 50                                                                                                              | 49                                                                                                              | 49                                                                                                                | 49                                                                                                               | 58                                                                                                                | 51                                                                                                               |
| PFDA                                                    | 8,4                                                                                                             | 7,8                                                                                                             | 8,5                                                                                                               | 8,2                                                                                                              | 28                                                                                                                | 18                                                                                                               |
| PFDoDA                                                  | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                             | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                             |
| PFDS                                                    | 2,6                                                                                                             | 2,1                                                                                                             | 2,4                                                                                                               | 2,7                                                                                                              | 2,4                                                                                                               | 3,2                                                                                                              |
| PFHpA                                                   | 50                                                                                                              | 52                                                                                                              | 51                                                                                                                | 50                                                                                                               | 43                                                                                                                | 52                                                                                                               |
| PFHpS                                                   | 39                                                                                                              | 37                                                                                                              | 34                                                                                                                | 31                                                                                                               | 33                                                                                                                | 33                                                                                                               |
| PFHxA                                                   | 53                                                                                                              | 51                                                                                                              | 51                                                                                                                | 48                                                                                                               | 46                                                                                                                | 53                                                                                                               |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                            | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                             | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                             |

|                                                       |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| L-PFHxS                                               | 46   | 46   | 47   | 47   | 54   | 49   |
| PFNA                                                  | 24   | 23   | 25   | 23   | 25   | 27   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                | 45   | 43   | 43   | 40   | 39   | 45   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                | 17   | 17   | 18   | 18   | 19   | 18   |
| PFPeS                                                 | 56   | 60   | 60   | 61   | 74   | 64   |
| PFTTrDA                                               | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA                                                | 46   | 48   | 45   | 46   | 41   | 46   |

| m | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI 0<br>mJcm2 A | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI 0<br>mJcm2 B | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI<br>2000 mJcm2<br>A | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI<br>2000 mJcm2<br>B | CB VO-PFAS:<br>MD lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12<br>+ 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI<br>3000 mJcm2<br>A | CB VO-<br>PFAS:MD<br>lamp<br>Drinkwater<br>NG pH 12 + 50<br>mg/INa2SO3<br>+ 100mg/IKI<br>3000 mJcm2<br>B |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFBA                                                    | 58   | 62   | 56   | 55   | 51   | 46   |
| PFBS                                                    | 52   | 52   | 52   | 52   | 51   | 61   |
| PFDA                                                    | 15   | 15   | 11   | 10   | 8,0  | 8,8  |
| PFDODA                                                  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS                                                    | 3,1  | 2,8  | 2,3  | 2,6  | 2,8  | 1,9  |
| PFHpA                                                   | 55   | 56   | 49   | 50   | 40   | 37   |
| PFHpS                                                   | 39   | 43   | 39   | 38   | 38   | 39   |
| PFHxA                                                   | 56   | 55   | 48   | 50   | 41   | 37   |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 51   | 52   | 53   | 51   | 52   | 60   |
| PFNA                                                    | 29   | 30   | 25   | 25   | 21   | 18   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOA                                                  | 52   | 51   | 46   | 43   | 38   | 33   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-                     | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| isomeren)<br># |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| L-PFOS         | 21   | 22   | 20   | 21   | 20   | 20   |
| PFPeS          | 62   | 60   | 56   | 53   | 63   | 66   |
| PFTTrDA        | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA         | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| n                                                       | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 63                                                                                              | 54                                                                                              | 54                                                                                                 | 65                                                                                                 | 60                                                                                                 | 58                                                                                                 |
| PFBS                                                    | 71                                                                                              | 67                                                                                              | 74                                                                                                 | 68                                                                                                 | 74                                                                                                 | 67                                                                                                 |
| PFDA                                                    | 8,9                                                                                             | 6,8                                                                                             | 6,7                                                                                                | 7,2                                                                                                | 7,0                                                                                                | 5,7                                                                                                |
| PFDoDA                                                  | 0,83                                                                                            | 0,67                                                                                            | 0,68                                                                                               | 0,78                                                                                               | 0,64                                                                                               | 0,60                                                                                               |
| PFDS                                                    | 63                                                                                              | 63                                                                                              | 64                                                                                                 | 61                                                                                                 | 65                                                                                                 | 61                                                                                                 |
| PFHpA                                                   | 45                                                                                              | 41                                                                                              | 43                                                                                                 | 41                                                                                                 | 44                                                                                                 | 40                                                                                                 |
| PFHpS                                                   | 70                                                                                              | 67                                                                                              | 69                                                                                                 | 68                                                                                                 | 68                                                                                                 | 68                                                                                                 |
| PFHxA                                                   | 1,5                                                                                             | 1,6                                                                                             | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 1,6                                                                                                |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 57                                                                                              | 54                                                                                              | 58                                                                                                 | 53                                                                                                 | 59                                                                                                 | 54                                                                                                 |



|                                                       |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| L-PFHxS                                               | 37  | 33  | 34  | 32  | 37  | 31  |
| PFNA                                                  | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 1,9 |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | 67  | 64  | 65  | 62  | 67  | 61  |
| L-PFOA                                                | 9,3 | 7,8 | 7,2 | 7,9 | 7,8 | 7,0 |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 31  | 25  | 24  | 27  | 27  | 23  |
| L-PFOS                                                | 63  | 58  | 65  | 58  | 64  | 62  |
| PFPeS                                                 | 63  | 54  | 54  | 65  | 60  | 58  |
| PFTTrDA                                               | 71  | 67  | 74  | 68  | 74  | 67  |
| PFUnDA                                                | 8,9 | 6,8 | 6,7 | 7,2 | 7,0 | 5,7 |

| o    | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 51                                                                                              | 51                                                                                              | 51                                                                                                 | 50                                                                                                 | 51                                                                                                 | 50                                                                                                 |
| PFBS | 60                                                                                              | 58                                                                                              | 58                                                                                                 | 60                                                                                                 | 59                                                                                                 | 59                                                                                                 |

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFDA                                                    | 9,0  | 8,4  | 6,7  | 8,8  | 7,4  | 7,6  |
| PFDoDA                                                  | 0,88 | 0,94 | 0,88 | 0,97 | 0,88 | 0,82 |
| PFDS                                                    | 59   | 58   | 59   | 59   | 60   | 62   |
| PFHpA                                                   | 43   | 39   | 43   | 44   | 44   | 44   |
| PFHpS                                                   | 57   | 56   | 60   | 59   | 58   | 58   |
| PFHxA                                                   | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 54   | 52   | 52   | 54   | 55   | 55   |
| L-PFHxS                                                 | 36   | 34   | 33   | 38   | 35   | 37   |
| PFNA                                                    | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 60   | 60   | 60   | 63   | 62   | 63   |
| L-PFOA                                                  | 7,1  | 6,2  | 6,5  | 7,4  | 5,8  | 6,5  |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | 29   | 25   | 26   | 29   | 25   | 27   |
| L-PFOS                                                  | 57   | 58   | 56   | 59   | 60   | 59   |

|        |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PFPeS  | 51  | 51  | 51  | 50  | 51  | 50  |
| PFTrDA | 60  | 58  | 58  | 60  | 59  | 59  |
| PFUnDA | 9,0 | 8,4 | 6,7 | 8,8 | 7,4 | 7,6 |

| p                                                       | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 1000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 1000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 45                                                                                              | 46                                                                                              | 44                                                                                                 | 44                                                                                                 | 44                                                                                                 | 44                                                                                                 |
| PFBS                                                    | 51                                                                                              | 54                                                                                              | 52                                                                                                 | 53                                                                                                 | 53                                                                                                 | 53                                                                                                 |
| PFDA                                                    | 5,8                                                                                             | 8,2                                                                                             | 6,9                                                                                                | 7,7                                                                                                | 8,6                                                                                                | 7,1                                                                                                |
| PFDoDA                                                  | 0,75                                                                                            | 1,1                                                                                             | 0,62                                                                                               | 1,6                                                                                                | 0,77                                                                                               | 0,75                                                                                               |
| PFDS                                                    | 58                                                                                              | 57                                                                                              | 56                                                                                                 | 56                                                                                                 | 57                                                                                                 | 54                                                                                                 |
| PFHpA                                                   | 37                                                                                              | 45                                                                                              | 42                                                                                                 | 44                                                                                                 | 44                                                                                                 | 42                                                                                                 |
| PFHpS                                                   | 53                                                                                              | 53                                                                                              | 57                                                                                                 | 58                                                                                                 | 53                                                                                                 | 52                                                                                                 |
| PFHxA                                                   | 0,75                                                                                            | 0,75                                                                                            | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 51                                                                                              | 54                                                                                              | 52                                                                                                 | 51                                                                                                 | 55                                                                                                 | 54                                                                                                 |
| L-PFHxS                                                 | 30                                                                                              | 35                                                                                              | 33                                                                                                 | 35                                                                                                 | 36                                                                                                 | 33                                                                                                 |
| PFNA                                                    | 0,75                                                                                            | 0,75                                                                                            | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               | 0,75                                                                                               |

|                                                       |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | 53  | 57  | 55  | 58  | 59  | 59  |
| L-PFOA                                                | 4,7 | 6,4 | 5,3 | 5,6 | 4,8 | 4,3 |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 20  | 28  | 24  | 26  | 28  | 25  |
| L-PFOS                                                | 53  | 58  | 55  | 58  | 58  | 57  |
| PFPeS                                                 | 45  | 46  | 44  | 44  | 44  | 44  |
| PFTTrDA                                               | 51  | 54  | 52  | 53  | 53  | 53  |
| PFUnDA                                                | 5,8 | 8,2 | 6,9 | 7,7 | 8,6 | 7,1 |

| q      | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 40                                                                                             | 40                                                                                             | 4,4                                                                                               | 4,3                                                                                               | 2,8                                                                                               | 2,9                                                                                               |
| PFBS   | 48                                                                                             | 46                                                                                             | 46                                                                                                | 46                                                                                                | 46                                                                                                | 46                                                                                                |
| PFDA   | 9,9                                                                                            | 10                                                                                             | 4,5                                                                                               | 5,7                                                                                               | 4,8                                                                                               | 4,7                                                                                               |
| PFDoDA | 1,6                                                                                            | 2,4                                                                                            | 1,6                                                                                               | 1,7                                                                                               | 1,0                                                                                               | 1,2                                                                                               |

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFDS                                                    | 53   | 55   | 2,0  | 2,6  | 0,87 | 0,72 |
| PFHpA                                                   | 44   | 48   | 39   | 40   | 33   | 34   |
| PFHpS                                                   | 46   | 49   | 2,1  | 2,2  | 0,86 | 1,0  |
| PFHxA                                                   | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 50   | 51   | 47   | 47   | 44   | 44   |
| L-PFHxS                                                 | 36   | 37   | 5,2  | 7,1  | 6,0  | 7,1  |
| PFNA                                                    | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 51   | 56   | 3,5  | 4,4  | 2,7  | 3,8  |
| L-PFOA                                                  | 5,8  | 6,3  | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | 28   | 30   | 24   | 24   | 20   | 21   |
| L-PFOS                                                  | 55   | 59   | 54   | 55   | 52   | 53   |
| PFPeS                                                   | 40   | 40   | 4,4  | 4,3  | 2,8  | 2,9  |
| PFTTrDA                                                 | 48   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   |

|        |     |    |     |     |     |     |
|--------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| PFUnDA | 9,9 | 10 | 4,5 | 5,7 | 4,8 | 4,7 |
|--------|-----|----|-----|-----|-----|-----|

| r                                                       | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 43                                                                                             | 44                                                                                             | 9,6                                                                                               | 6,9                                                                                               | 4,7                                                                                               | 4,5                                                                                               |
| PFBS                                                    | 46                                                                                             | 49                                                                                             | 46                                                                                                | 50                                                                                                | 48                                                                                                | 48                                                                                                |
| PFDA                                                    | 8,2                                                                                            | 10                                                                                             | 6,0                                                                                               | 2,9                                                                                               | 3,2                                                                                               | 3,5                                                                                               |
| PFDODA                                                  | 1,2                                                                                            | 1,6                                                                                            | 1,9                                                                                               | 1,3                                                                                               | 1,5                                                                                               | 1,1                                                                                               |
| PFDS                                                    | 56                                                                                             | 58                                                                                             | 8,1                                                                                               | 5,0                                                                                               | 2,5                                                                                               | 2,5                                                                                               |
| PFHpA                                                   | 46                                                                                             | 48                                                                                             | 44                                                                                                | 41                                                                                                | 34                                                                                                | 38                                                                                                |
| PFHpS                                                   | 45                                                                                             | 52                                                                                             | 7,0                                                                                               | 4,4                                                                                               | 2,9                                                                                               | 3,1                                                                                               |
| PFHxA                                                   | 0,75                                                                                           | 0,75                                                                                           | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 51                                                                                             | 53                                                                                             | 50                                                                                                | 50                                                                                                | 48                                                                                                | 49                                                                                                |
| L-PFHxS                                                 | 37                                                                                             | 53                                                                                             | 11                                                                                                | 5,0                                                                                               | 4,7                                                                                               | 4,3                                                                                               |
| PFNA                                                    | 0,75                                                                                           | 0,75                                                                                           | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-                     | 57                                                                                             | 59                                                                                             | 10                                                                                                | 4,9                                                                                               | 3,3                                                                                               | 3,0                                                                                               |

| isomeren)<br>#                                        |     |     |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|
| L-PFOA                                                | 5,7 | 7,0 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 26  | 32  | 28   | 26   | 20   | 23   |
| L-PFOS                                                | 59  | 58  | 57   | 55   | 58   | 57   |
| PFPeS                                                 | 43  | 44  | 9,6  | 6,9  | 4,7  | 4,5  |
| PFTTrDA                                               | 46  | 49  | 46   | 50   | 48   | 48   |
| PFUnDA                                                | 8,2 | 10  | 6,0  | 2,9  | 3,2  | 3,5  |

| s      | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 65                                                                                             | 62                                                                                             | 61                                                                                                | 62                                                                                                | 64                                                                                                | 64                                                                                                |
| PFBS   | 70                                                                                             | 70                                                                                             | 70                                                                                                | 70                                                                                                | 69                                                                                                | 70                                                                                                |
| PFDA   | 9,1                                                                                            | 8,8                                                                                            | 8,9                                                                                               | 8,7                                                                                               | 7,8                                                                                               | 7,9                                                                                               |
| PFDoDA | 1,1                                                                                            | 0,88                                                                                           | 1,2                                                                                               | 1,3                                                                                               | 1,1                                                                                               | 1,0                                                                                               |
| PFDS   | 61                                                                                             | 60                                                                                             | 63                                                                                                | 63                                                                                                | 62                                                                                                | 62                                                                                                |
| PFHpA  | 45                                                                                             | 42                                                                                             | 46                                                                                                | 47                                                                                                | 41                                                                                                | 43                                                                                                |
| PFHpS  | 70                                                                                             | 70                                                                                             | 70                                                                                                | 71                                                                                                | 70                                                                                                | 72                                                                                                |

|                                                         |     |     |     |     |     |      |
|---------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| PFHxA                                                   | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,7 | 1,5 | 0,75 |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 57  | 54  | 57  | 57  | 55  | 55   |
| L-PFHxS                                                 | 38  | 35  | 38  | 40  | 34  | 35   |
| PFNA                                                    | 2,4 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3  |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 66  | 63  | 68  | 68  | 67  | 64   |
| L-PFOA                                                  | 9,6 | 9,2 | 9,3 | 9,3 | 7,9 | 8,2  |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | 29  | 28  | 30  | 30  | 25  | 27   |
| L-PFOS                                                  | 63  | 63  | 66  | 69  | 66  | 64   |
| PFPeS                                                   | 65  | 62  | 61  | 62  | 64  | 64   |
| PFTrDA                                                  | 70  | 70  | 70  | 70  | 69  | 70   |
| PFUnDA                                                  | 9,1 | 8,8 | 8,9 | 8,7 | 7,8 | 7,9  |



| t                                                       | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 12 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                                    | 60                                                                                             | 62                                                                                             | 57                                                                                                | 63                                                                                                | 62                                                                                                | 62                                                                                                |
| PFBS                                                    | 70                                                                                             | 68                                                                                             | 69                                                                                                | 69                                                                                                | 67                                                                                                | 68                                                                                                |
| PFDA                                                    | 10                                                                                             | 11                                                                                             | 9,5                                                                                               | 9,3                                                                                               | 8,1                                                                                               | 8,6                                                                                               |
| PFDoDA                                                  | 1,2                                                                                            | 1,1                                                                                            | 1,2                                                                                               | 1,2                                                                                               | 1,3                                                                                               | 1,6                                                                                               |
| PFDS                                                    | 61                                                                                             | 60                                                                                             | 63                                                                                                | 63                                                                                                | 62                                                                                                | 61                                                                                                |
| PFHpA                                                   | 45                                                                                             | 47                                                                                             | 45                                                                                                | 45                                                                                                | 43                                                                                                | 43                                                                                                |
| PFHpS                                                   | 65                                                                                             | 67                                                                                             | 66                                                                                                | 69                                                                                                | 69                                                                                                | 66                                                                                                |
| PFHxA                                                   | 1,6                                                                                            | 0,75                                                                                           | 0,75                                                                                              | 0,75                                                                                              | 1,5                                                                                               | 1,5                                                                                               |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 56                                                                                             | 56                                                                                             | 56                                                                                                | 56                                                                                                | 55                                                                                                | 54                                                                                                |
| L-PFHxS                                                 | 39                                                                                             | 40                                                                                             | 39                                                                                                | 39                                                                                                | 36                                                                                                | 34                                                                                                |
| PFNA                                                    | 2,4                                                                                            | 2,5                                                                                            | 2,3                                                                                               | 2,4                                                                                               | 2,4                                                                                               | 2,2                                                                                               |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 67                                                                                             | 68                                                                                             | 67                                                                                                | 69                                                                                                | 66                                                                                                | 64                                                                                                |
| L-PFOA                                                  | 10                                                                                             | 10                                                                                             | 9,0                                                                                               | 9,4                                                                                               | 8,7                                                                                               | 8,2                                                                                               |

|                                                       |    |    |     |     |     |     |
|-------------------------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 31 | 33 | 29  | 31  | 28  | 28  |
| L-PFOS                                                | 64 | 66 | 62  | 61  | 61  | 62  |
| PFPeS                                                 | 60 | 62 | 57  | 63  | 62  | 62  |
| PFTTrDA                                               | 70 | 68 | 69  | 69  | 67  | 68  |
| PFUnDA                                                | 10 | 11 | 9,5 | 9,3 | 8,1 | 8,6 |

| u                                     | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 50 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 200<br>mg/l KI 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA                                  | 63                                                                                    | 67                                                                                    | 58                                                                                       | 64                                                                                       | 68                                                                                       | 65                                                                                       |
| PFBS                                  | 69                                                                                    | 72                                                                                    | 70                                                                                       | 68                                                                                       | 70                                                                                       | 74                                                                                       |
| PFDA                                  | 7,7                                                                                   | 6,9                                                                                   | 7,3                                                                                      | 7,9                                                                                      | 7,3                                                                                      | 8,7                                                                                      |
| PFDoDA                                | 1,2                                                                                   | 1,0                                                                                   | 1,1                                                                                      | 0,96                                                                                     | 1,3                                                                                      | 1,5                                                                                      |
| PFDS                                  | 63                                                                                    | 65                                                                                    | 62                                                                                       | 60                                                                                       | 62                                                                                       | 66                                                                                       |
| PFHpA                                 | 46                                                                                    | 44                                                                                    | 45                                                                                       | 48                                                                                       | 46                                                                                       | 52                                                                                       |
| PFHpS                                 | 70                                                                                    | 70                                                                                    | 71                                                                                       | 70                                                                                       | 69                                                                                       | 73                                                                                       |
| PFHxA                                 | 1,6                                                                                   | 1,6                                                                                   | 0,75                                                                                     | 0,75                                                                                     | 1,5                                                                                      | 1,6                                                                                      |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS- | 57                                                                                    | 56                                                                                    | 54                                                                                       | 56                                                                                       | 55                                                                                       | 59                                                                                       |

|                                                       |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| isomeren)<br>#                                        |     |     |     |     |     |     |
| L-PFHxS                                               | 38  | 37  | 37  | 40  | 35  | 41  |
| PFNA                                                  | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,4 |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br># | 66  | 67  | 65  | 67  | 64  | 69  |
| L-PFOA                                                | 11  | 11  | 10  | 11  | 9,8 | 12  |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br># | 32  | 30  | 30  | 33  | 29  | 35  |
| L-PFOS                                                | 62  | 66  | 63  | 60  | 66  | 71  |
| PFPeS                                                 | 63  | 67  | 58  | 64  | 68  | 65  |
| PFTTrDA                                               | 69  | 72  | 70  | 68  | 70  | 74  |
| PFUnDA                                                | 7,7 | 6,9 | 7,3 | 7,9 | 7,3 | 8,7 |

|      |                                                                                                 |                                                                                                 |                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| v    | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>pH 10 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
| PFBA | 61                                                                                              | 67                                                                                              | 61                                                                                                 | 60                                                                                                 | 67                                                                                                 | 64                                                                                                 |

|                                                         |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PFBS                                                    | 67   | 68   | 68   | 66   | 70   | 68   |
| PFDA                                                    | 6,5  | 6,1  | 6,6  | 7,0  | 6,0  | 5,9  |
| PFDoDA                                                  | 0,76 | 0,76 | 0,96 | 0,91 | 0,65 | 0,75 |
| PFDS                                                    | 59   | 63   | 61   | 60   | 62   | 61   |
| PFHpA                                                   | 42   | 46   | 46   | 44   | 42   | 41   |
| PFHpS                                                   | 64   | 68   | 70   | 68   | 66   | 71   |
| PFHxA                                                   | 0,75 | 0,75 | 1,5  | 1,6  | 1,6  | 0,75 |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | 54   | 55   | 55   | 55   | 55   | 54   |
| L-PFHxS                                                 | 34   | 33   | 36   | 35   | 32   | 32   |
| PFNA                                                    | 2,3  | 2,3  | 2,2  | 2,2  | 2,1  | 2,3  |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 65   | 65   | 65   | 63   | 62   | 61   |
| L-PFOA                                                  | 8,6  | 8,5  | 8,7  | 8,9  | 7,9  | 7,9  |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | 27   | 25   | 28   | 28   | 25   | 24   |

|         |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| L-PFOS  | 60  | 62  | 62  | 62  | 61  | 63  |
| PFPeS   | 61  | 67  | 61  | 60  | 67  | 64  |
| PFTTrDA | 67  | 68  | 68  | 66  | 70  | 68  |
| PFUnDA  | 6,5 | 6,1 | 6,6 | 7,0 | 6,0 | 5,9 |

| w      | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 49                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 18                                                                                                                   | 20                                                                                                                   | 11                                                                                                                   | 13                                                                                                                   |
| PFBS   | 41                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 50                                                                                                                   | 43                                                                                                                   | 46                                                                                                                   | 44                                                                                                                   |
| PFDA   | 20                                                                                                                | 4,4                                                                                                               | 8,3                                                                                                                  | 9                                                                                                                    | 9,7                                                                                                                  | 13                                                                                                                   |
| PFDoDA | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                              | <1,5                                                                                                                 | <1,5                                                                                                                 | <1,5                                                                                                                 | <1,5                                                                                                                 |
| PFDS   | 3                                                                                                                 | 0,66                                                                                                              | 2,6                                                                                                                  | 3,1                                                                                                                  | 3                                                                                                                    | 11                                                                                                                   |
| PFHpA  | 54                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 19                                                                                                                   | 21                                                                                                                   | 9,5                                                                                                                  | 9,6                                                                                                                  |
| PFHpS  | 44                                                                                                                | 1,1                                                                                                               | 38                                                                                                                   | 44                                                                                                                   | 39                                                                                                                   | 38                                                                                                                   |
| PFHxA  | 49                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 18                                                                                                                   | 21                                                                                                                   | 8,5                                                                                                                  | 9,8                                                                                                                  |
| PFHxS  | 50                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 52                                                                                                                   | 53                                                                                                                   | 46                                                                                                                   | 47                                                                                                                   |
| PFNA   | 37                                                                                                                | 1,8                                                                                                               | 13                                                                                                                   | 16                                                                                                                   | 7,2                                                                                                                  | 9,5                                                                                                                  |
| PFOA   | 57                                                                                                                | 1,8                                                                                                               | 20                                                                                                                   | 21                                                                                                                   | 11                                                                                                                   | 10                                                                                                                   |
| PFOS   | 84                                                                                                                | 23                                                                                                                | 180                                                                                                                  | 56                                                                                                                   | 700                                                                                                                  | 50                                                                                                                   |
| PFPeS  | 62                                                                                                                | <1,5                                                                                                              | 53                                                                                                                   | 64                                                                                                                   | 53                                                                                                                   | 51                                                                                                                   |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | 0,63 | <1,5 | 1,4  |

| x       | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 44                                                                                                                      | 49                                                                                                                      | 14                                                                                                                            | 15                                                                                                                            | 2,3                                                                                                                           | 5,4                                                                                                                           |
| PFBS    | 45                                                                                                                      | 41                                                                                                                      | 44                                                                                                                            | 42                                                                                                                            | 45                                                                                                                            | 45                                                                                                                            |
| PFDA    | 16                                                                                                                      | 14                                                                                                                      | 4,7                                                                                                                           | 4,4                                                                                                                           | 1,1                                                                                                                           | 2,7                                                                                                                           |
| PFDoDA  | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          |
| PFDS    | 2,5                                                                                                                     | 3,3                                                                                                                     | 1,6                                                                                                                           | 3,4                                                                                                                           | 2,2                                                                                                                           | 2,4                                                                                                                           |
| PFHpA   | 57                                                                                                                      | 55                                                                                                                      | 14                                                                                                                            | 12                                                                                                                            | 2,2                                                                                                                           | 4,9                                                                                                                           |
| PFHpS   | 43                                                                                                                      | 46                                                                                                                      | 40                                                                                                                            | 37                                                                                                                            | 36                                                                                                                            | 42                                                                                                                            |
| PFHxA   | 51                                                                                                                      | 49                                                                                                                      | 14                                                                                                                            | 13                                                                                                                            | 2,2                                                                                                                           | 5,3                                                                                                                           |
| PFHxS   | 56                                                                                                                      | 50                                                                                                                      | 51                                                                                                                            | 50                                                                                                                            | 48                                                                                                                            | 51                                                                                                                            |
| PFNA    | 43                                                                                                                      | 43                                                                                                                      | 9,2                                                                                                                           | 8,7                                                                                                                           | 0,69                                                                                                                          | 3                                                                                                                             |
| PFOA    | 61                                                                                                                      | 56                                                                                                                      | 14                                                                                                                            | 14                                                                                                                            | 2,3                                                                                                                           | 5,4                                                                                                                           |
| PFOS    | 63                                                                                                                      | 33                                                                                                                      | 35                                                                                                                            | 29                                                                                                                            | 55                                                                                                                            | 37                                                                                                                            |
| PFPeS   | 63                                                                                                                      | 61                                                                                                                      | 58                                                                                                                            | 51                                                                                                                            | 54                                                                                                                            | 54                                                                                                                            |
| PFTTrDA | <9,0                                                                                                                    | <9,0                                                                                                                    | <9,0                                                                                                                          | <9,0                                                                                                                          | <9,0                                                                                                                          | <9,0                                                                                                                          |

|        |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| PFUnDA | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
|--------|------|------|------|------|------|------|

| y       | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 0<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 0<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 2000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 2000<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 3000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH<br>12 : 3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 44                                                         | 51                                                         | 44                                                            | 47                                                            | 43                                                            | 43                                                            |
| PFBS    | 45                                                         | 43                                                         | 45                                                            | 44                                                            | 43                                                            | 46                                                            |
| PFDA    | 12                                                         | 12                                                         | 12                                                            | 11                                                            | 11                                                            | 11                                                            |
| PFDoDA  | <1,5                                                       | <1,5                                                       | <1,5                                                          | <1,5                                                          | <1,5                                                          | <1,5                                                          |
| PFDS    | 2                                                          | 2,3                                                        | 2,9                                                           | 2                                                             | 2                                                             | 1,5                                                           |
| PFHpA   | 51                                                         | 50                                                         | 53                                                            | 52                                                            | 54                                                            | 51                                                            |
| PFHpS   | 38                                                         | 46                                                         | 38                                                            | 43                                                            | 43                                                            | 44                                                            |
| PFHxA   | 51                                                         | 54                                                         | 52                                                            | 49                                                            | 51                                                            | 52                                                            |
| PFHxS   | 50                                                         | 50                                                         | 50                                                            | 50                                                            | 49                                                            | 51                                                            |
| PFNA    | 41                                                         | 40                                                         | 36                                                            | 37                                                            | 37                                                            | 37                                                            |
| PFOA    | 54                                                         | 56                                                         | 54                                                            | 51                                                            | 53                                                            | 54                                                            |
| PFOS    | 32                                                         | 28                                                         | 28                                                            | 26                                                            | 29                                                            | 30                                                            |
| PFPeS   | 57                                                         | 56                                                         | 53                                                            | 58                                                            | 56                                                            | 56                                                            |
| PFTTrDA | <9,0                                                       | <9,0                                                       | <9,0                                                          | <9,0                                                          | <9,0                                                          | <9,0                                                          |
| PFUnDA  | 0,76                                                       | <1,5                                                       | <1,5                                                          | <1,5                                                          | <1,5                                                          | 0,62                                                          |

| z       | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>:2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 44                                                                                                                      | 46                                                                                                                      | 7,4                                                                                                                            | 8,2                                                                                                                           | 4,7                                                                                                                           | 2,5                                                                                                                           |
| PFBS    | 43                                                                                                                      | 42                                                                                                                      | 42                                                                                                                             | 41                                                                                                                            | 45                                                                                                                            | 42                                                                                                                            |
| PFDA    | 11                                                                                                                      | 11                                                                                                                      | 4,2                                                                                                                            | 6,7                                                                                                                           | 3,4                                                                                                                           | 5,7                                                                                                                           |
| PFDoDA  | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          |
| PFDS    | 1,8                                                                                                                     | 2,4                                                                                                                     | 1,8                                                                                                                            | 2,6                                                                                                                           | 1,7                                                                                                                           | 1,8                                                                                                                           |
| PFHpA   | 54                                                                                                                      | 54                                                                                                                      | 5,4                                                                                                                            | 6,5                                                                                                                           | 2,3                                                                                                                           | 1,4                                                                                                                           |
| PFHpS   | 39                                                                                                                      | 40                                                                                                                      | 36                                                                                                                             | 33                                                                                                                            | 37                                                                                                                            | 37                                                                                                                            |
| PFHxA   | 52                                                                                                                      | 56                                                                                                                      | 5,7                                                                                                                            | 6                                                                                                                             | 2,1                                                                                                                           | 1,1                                                                                                                           |
| PFHxS   | 51                                                                                                                      | 52                                                                                                                      | 46                                                                                                                             | 47                                                                                                                            | 49                                                                                                                            | 44                                                                                                                            |
| PFNA    | 37                                                                                                                      | 40                                                                                                                      | 5                                                                                                                              | 8,3                                                                                                                           | 3,5                                                                                                                           | 4,2                                                                                                                           |
| PFOA    | 52                                                                                                                      | 53                                                                                                                      | 5,9                                                                                                                            | 7,7                                                                                                                           | 3,1                                                                                                                           | 3,1                                                                                                                           |
| PFOS    | 29                                                                                                                      | 30                                                                                                                      | 26                                                                                                                             | 25                                                                                                                            | 23                                                                                                                            | 23                                                                                                                            |
| PFPeS   | 59                                                                                                                      | 54                                                                                                                      | 48                                                                                                                             | 53                                                                                                                            | 58                                                                                                                            | 59                                                                                                                            |
| PFTTrDA | <9,0                                                                                                                    | <9,0                                                                                                                    | <9,0                                                                                                                           | <9,0                                                                                                                          | <9,0                                                                                                                          | <9,0                                                                                                                          |
| PFUnDA  | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                    | <1,5                                                                                                                           | 0,68                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          | <1,5                                                                                                                          |



| aa      | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 49                                                                                  | 46                                                                                  | 7,6                                                                                       | 12                                                                                        | 3                                                                                         | 3,2                                                                                       |
| PFBS    | 44                                                                                  | 42                                                                                  | 43                                                                                        | 41                                                                                        | 43                                                                                        | 43                                                                                        |
| PFDA    | 8,8                                                                                 | 10                                                                                  | 2,7                                                                                       | 7,9                                                                                       | 1,8                                                                                       | 3                                                                                         |
| PFDoDA  | <1,5                                                                                | <1,5                                                                                | <1,5                                                                                      | <1,5                                                                                      | <1,5                                                                                      | <1,5                                                                                      |
| PFDS    | 2,1                                                                                 | 1,8                                                                                 | 2                                                                                         | 2,7                                                                                       | 1,1                                                                                       | 2,2                                                                                       |
| PFHpA   | 49                                                                                  | 50                                                                                  | 5,1                                                                                       | 9,7                                                                                       | 0,87                                                                                      | 1,3                                                                                       |
| PFHpS   | 39                                                                                  | 38                                                                                  | 36                                                                                        | 36                                                                                        | 34                                                                                        | 31                                                                                        |
| PFHxA   | 50                                                                                  | 50                                                                                  | 4,7                                                                                       | 9,6                                                                                       | 0,74                                                                                      | 1                                                                                         |
| PFHxS   | 48                                                                                  | 49                                                                                  | 45                                                                                        | 46                                                                                        | 44                                                                                        | 43                                                                                        |
| PFNA    | 34                                                                                  | 36                                                                                  | 4,2                                                                                       | 12                                                                                        | 1,6                                                                                       | 2,9                                                                                       |
| PFOA    | 48                                                                                  | 49                                                                                  | 5,5                                                                                       | 12                                                                                        | 1,5                                                                                       | 2,3                                                                                       |
| PFOS    | 26                                                                                  | 25                                                                                  | 25                                                                                        | 26                                                                                        | 19                                                                                        | 21                                                                                        |
| PFPeS   | 58                                                                                  | 55                                                                                  | 55                                                                                        | 53                                                                                        | 54                                                                                        | 47                                                                                        |
| PFTTrDA | <9,0                                                                                | <9,0                                                                                | <9,0                                                                                      | <9,0                                                                                      | <9,0                                                                                      | <9,0                                                                                      |
| PFUnDA  | 0,64                                                                                | 0,84                                                                                | <1,5                                                                                      | 0,72                                                                                      | <1,5                                                                                      | <1,5                                                                                      |

[illegible]

|         | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm2 A | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm2 B | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 2000<br>mJ/cm2 A | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 2000<br>mJ/cm2 B | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 3000<br>mJ/cm2 A | mg/L Na2SO3<br>+ 25 mg/L KI<br>pH 12 : 3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| PFBA    | 44                                                   | 42                                                   | 20                                                      | 21                                                      | 9                                                       | 11                                                      |
| PFBS    | 45                                                   | 43                                                   | 43                                                      | 45                                                      | 45                                                      | 42                                                      |
| PFDA    | 11                                                   | 12                                                   | 7,4                                                     | 9,6                                                     | 5,7                                                     | 4,4                                                     |
| PFDaDA  | <1,5                                                 | <1,5                                                 | <1,5                                                    | <1,5                                                    | <1,5                                                    | <3,0                                                    |
| PFDS    | 3                                                    | 2,9                                                  | 3,3                                                     | 3,5                                                     | 2,1                                                     | 2,4                                                     |
| PFHpA   | 50                                                   | 53                                                   | 21                                                      | 20                                                      | 5,3                                                     | 7,2                                                     |
| PFHpS   | 41                                                   | 41                                                   | 37                                                      | 40                                                      | 38                                                      | 36                                                      |
| PFHxA   | 51                                                   | 50                                                   | 20                                                      | 21                                                      | 5,8                                                     | 6,9                                                     |
| PFHxS   | 49                                                   | 50                                                   | 46                                                      | 50                                                      | 49                                                      | 47                                                      |
| PFNA    | 37                                                   | 39                                                   | 17                                                      | 19                                                      | 7,8                                                     | 6,3                                                     |
| PFOA    | 52                                                   | 54                                                   | 21                                                      | 22                                                      | 6,9                                                     | 8,2                                                     |
| PFOS    | 27                                                   | 30                                                   | 26                                                      | 30                                                      | 25                                                      | 22                                                      |
| PFPeS   | 57                                                   | 61                                                   | 57                                                      | 60                                                      | 67                                                      | 56                                                      |
| PFTTrDA | <9,0                                                 | <9,0                                                 | <9,0                                                    | <9,0                                                    | <9,0                                                    | <18                                                     |
| PFUnDA  | 1                                                    | <1,5                                                 | <1,5                                                    | 0,73                                                    | 0,82                                                    | <3,0                                                    |

[illegible]

|         | pH 12 : 0<br>mJ/cm2 A | pH 12 : 0<br>mJ/cm2 B | pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 A | pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 B | pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 A | pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| PFBA    | 63                    | 61                    | 64                          | 66                          | 68                          | 66                          |
| PFBS    | 73                    | 72                    | 72                          | 71                          | 75                          | 75                          |
| PFDA    | 10                    | 11                    | 9,2                         | 9,3                         | 8,9                         | 7,9                         |
| PFDODA  | <1,5                  | <1,5                  | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                        |
| PFDS    | 1,6                   | 1,5                   | 1,3                         | 1,4                         | 1,2                         | 1,3                         |
| PFHpA   | 65                    | 56                    | 61                          | 60                          | 60                          | 59                          |
| PFHpS   | 39                    | 36                    | 37                          | 36                          | 36                          | 35                          |
| PFHxA   | 72                    | 70                    | 76                          | 70                          | 73                          | 70                          |
| PFHxS   | 52                    | 51                    | 53                          | 51                          | 53                          | 51                          |
| PFNA    | 38                    | 37                    | 35                          | 35                          | 35                          | 32                          |
| PFOA    | 65                    | 59                    | 61                          | 61                          | 61                          | 60                          |
| PFOS    | 29                    | 29                    | 25                          | 25                          | 24                          | 23                          |
| PFPeS   | 57                    | 53                    | 54                          | 52                          | 51                          | 55                          |
| PFTTrDA | <9,0                  | <9,0                  | <9,0                        | <9,0                        | <9,0                        | <9,0                        |
| PFUnDA  | 0,78                  | <1,5                  | 0,67                        | <1,5                        | <1,5                        | <1,5                        |

|    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                     |                                                                     |                                                                     |                                                                     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ad | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|

|         |      |      | 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|---------|------|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| PFBA    | 47   | 43   | 4,3                          | 3,8                          | 2,3                          | 4,5                          |
| PFBS    | 45   | 44   | 44                           | 42                           | 42                           | 45                           |
| PFDA    | 12   | 12   | 6,7                          | 6,7                          | 4,4                          | 6,5                          |
| PFDoDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5                         | <1,5                         | <1,5                         | <1,5                         |
| PFDS    | 3,8  | 2,7  | 2,3                          | 2,1                          | 1,9                          | 2,7                          |
| PFHpA   | 51   | 50   | 2,5                          | 1,7                          | 0,73                         | 2,9                          |
| PFHpS   | 38   | 39   | 35                           | 33                           | 31                           | 34                           |
| PFHxA   | 51   | 52   | 2,1                          | 1,5                          | 0,74                         | 2                            |
| PFHxS   | 48   | 49   | 47                           | 44                           | 43                           | 43                           |
| PFNA    | 36   | 37   | 7,3                          | 6                            | 3,3                          | 8,3                          |
| PFOA    | 49   | 53   | 4,5                          | 3,1                          | 1,7                          | 4,9                          |
| PFOS    | 27   | 29   | 23                           | 22                           | 21                           | 23                           |
| PFPeS   | 59   | 55   | 53                           | 50                           | 53                           | 54                           |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0                         | <9,0                         | <9,0                         | <9,0                         |
| PFUnDA  | 0,94 | 0,84 | <1,5                         | 0,84                         | 0,7                          | 0,98                         |

| ae   | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ + 300<br>mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>+ 100 mg/L KI<br>pH 12 : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 46                                                                                                                    | 47                                                                                                                    | 8,4                                                                                                                      | 9,2                                                                                                                      | 2,9                                                                                                                      | 2,3                                                                                                                      |

|        |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| PFBS   | 45   | 43   | 44   | 43   | 44   | 44   |
| PFDA   | 12   | 11   | 5,4  | 5,3  | 3,2  | 2,4  |
| PFDoDA | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS   | 2,3  | 1,9  | 2    | 2,5  | 1,9  | 1,4  |
| PFHpA  | 52   | 51   | 5,8  | 6,4  | 1,3  | 1,4  |
| PFHpS  | 44   | 40   | 39   | 37   | 34   | 32   |
| PFHxA  | 54   | 50   | 6,3  | 6,5  | 1,3  | 0,78 |
| PFHxS  | 51   | 48   | 49   | 48   | 44   | 45   |
| PFNA   | 40   | 39   | 5,9  | 6,7  | 2,6  | 2,4  |
| PFOA   | 54   | 50   | 6,8  | 7,2  | 2,5  | 2,4  |
| PFOS   | 44   | 32   | 26   | 26   | 29   | 26   |
| PFPeS  | 60   | 54   | 53   | 55   | 56   | 53   |
| PFTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA | 0,97 | 0,65 | 0,61 | 0,71 | 0,66 | <1,5 |

| af   | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 43                                                                                                                       | 42                                                                                                                       | 11                                                                                                                             | 6,3                                                                                                                            | 2                                                                                                                              | 3,4                                                                                                                            |
| PFBS | 44                                                                                                                       | 42                                                                                                                       | 45                                                                                                                             | 42                                                                                                                             | 44                                                                                                                             | 42                                                                                                                             |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDA    | 12   | 11   | 6,8  | 5,5  | 1,9  | 3,7  |
| PFDoDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 2,9  | 2,5  | 2    | 2,2  | 1,8  | 2,5  |
| PFHpA   | 51   | 52   | 8,6  | 3,8  | 1,3  | 1,5  |
| PFHpS   | 42   | 41   | 39   | 35   | 32   | 32   |
| PFHxA   | 51   | 49   | 8,5  | 3,9  | 0,83 | 1,1  |
| PFHxS   | 48   | 47   | 49   | 45   | 43   | 44   |
| PFNA    | 38   | 37   | 9,7  | 6    | 1,8  | 2,9  |
| PFOA    | 53   | 49   | 9,3  | 5,1  | 2,3  | 2,6  |
| PFOS    | 29   | 27   | 25   | 24   | 20   | 21   |
| PFPeS   | 54   | 53   | 58   | 58   | 52   | 50   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,91 | 1,1  | 0,83 | 0,74 | <1,5 | <1,5 |

| ag   | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 42                                                                                                                       | 45                                                                                                                       | 1,4                                                                                                                            | 1,2                                                                                                                            | 1,3                                                                                                                            | 1,2                                                                                                                            |
| PFBS | 43                                                                                                                       | 43                                                                                                                       | 44                                                                                                                             | 43                                                                                                                             | 42                                                                                                                             | 41                                                                                                                             |
| PFDA | 11                                                                                                                       | 11                                                                                                                       | 2,7                                                                                                                            | 3,7                                                                                                                            | 1,7                                                                                                                            | 4,5                                                                                                                            |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDODA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 2,1  | 2,2  | 2    | 2,1  | 1,6  | 1,9  |
| PFHpA   | 49   | 52   | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 1,5  |
| PFHpS   | 43   | 39   | 28   | 29   | 23   | 21   |
| PFHxA   | 50   | 49   | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 1,5  |
| PFHxS   | 48   | 48   | 39   | 42   | 37   | 33   |
| PFNA    | 37   | 37   | 2,2  | 2,4  | 1,3  | 4,4  |
| PFOA    | 51   | 51   | 1,4  | 1,6  | 1,4  | 2,5  |
| PFOS    | 26   | 26   | 17   | 17   | 13   | 13   |
| PFPeS   | 55   | 52   | 50   | 55   | 47   | 43   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,9  | 1,1  | 0,67 | 0,74 | <1,5 | <1,5 |

| ah   | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 60                                                                                                                                  | 64                                                                                                                                  | 61                                                                                                                                        | 65                                                                                                                                        | 62                                                                                                                                        | 65                                                                                                                                        |
| PFBS | 74                                                                                                                                  | 74                                                                                                                                  | 70                                                                                                                                        | 72                                                                                                                                        | 72                                                                                                                                        | 78                                                                                                                                        |
| PFDA | 10                                                                                                                                  | 11                                                                                                                                  | 8,4                                                                                                                                       | 11                                                                                                                                        | 7,8                                                                                                                                       | 8,7                                                                                                                                       |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDODA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 1,6  | 2,2  | 1,3  | 1,8  | 1,2  | 1,3  |
| PFHpA   | 57   | 62   | 59   | 61   | 61   | 61   |
| PFHpS   | 37   | 39   | 33   | 37   | 32   | 34   |
| PFHxA   | 68   | 73   | 72   | 74   | 71   | 72   |
| PFHxS   | 51   | 53   | 48   | 52   | 50   | 51   |
| PFNA    | 35   | 36   | 32   | 36   | 32   | 33   |
| PFOA    | 61   | 60   | 57   | 63   | 57   | 58   |
| PFOS    | 27   | 27   | 22   | 26   | 21   | 22   |
| PFPeS   | 58   | 62   | 55   | 60   | 59   | 60   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,89 | 1    | 0,62 | 0,88 | 0,65 | 0,78 |

| ai     | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>0 mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | 100 mg/l<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/l KI<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Proceswater                                                                            | Proceswater                                                                                  | Proceswater                                                                                  | Proceswater                                                                                  | Proceswater                                                                                  |
| PFBA   | 55                                                                                     | 62                                                                                           | 61                                                                                           | 62                                                                                           | 57                                                                                           |
| PFBS   | 69                                                                                     | 67                                                                                           | 70                                                                                           | 68                                                                                           | 70                                                                                           |
| PFDA   | 9,4                                                                                    | 8,5                                                                                          | 8,0                                                                                          | 7,2                                                                                          | 7,2                                                                                          |
| PFDODA | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                         | <1,5                                                                                         | <1,5                                                                                         | <1,5                                                                                         |



|                                                         |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| PFDS                                                    | 0,99 | 1,3  | 1,2  | 0,87 | 0,80 |
| PFHpA                                                   | 61   | 57   | 62   | 63   | 60   |
| PFHpS                                                   | 45   | 49   | 46   | 38   | 41   |
| PFHxA                                                   | 66   | 67   | 69   | 74   | 70   |
| B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomeren)<br># | <1,5 | 1,5  | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| L-PFHxS                                                 | 55   | 55   | 55   | 54   | 53   |
| PFNA                                                    | 39   | 38   | 37   | 33   | 37   |
| B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomeren)<br>#   | 3,8  | 2,4  | 2,2  | 2,6  | 2,8  |
| L-PFOA                                                  | 69   | 64   | 66   | 64   | 66   |
| B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomeren)<br>#   | <1,5 | 11   | 11   | <1,5 | <1,5 |
| L-PFOS                                                  | 32   | 33   | 32   | 28   | 30   |
| PFPeS                                                   | 77   | 63   | 67   | 66   | 63   |
| PFTTrDA                                                 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |

|        |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|
| PFUnDA | 0,63 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
|--------|------|------|------|------|------|

| aj      | CB PFAS - MD<br>lamp - milliQ<br>pH=10 +100<br>mg/L Na2SO3<br>- 0 mJ/cm2 | CB PFAS - MD<br>lamp - milliQ<br>pH=10 +100<br>mg/L Na2SO3<br>- 2000<br>mJ/cm2 A | CB PFAS - MD<br>lamp - milliQ<br>pH=10 +100<br>mg/L Na2SO3<br>- 2000<br>mJ/cm2 A | CB PFAS - MD<br>lamp - milliQ<br>pH=10 +100<br>mg/L Na2SO3<br>- 3000<br>mJ/cm2 A | CB PFAS - MD<br>lamp - milliQ<br>pH=10 +100<br>mg/L Na2SO3<br>- 3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 45                                                                       | 43                                                                               | 44                                                                               | 43                                                                               | 43                                                                               |
| PFBS    | 45                                                                       | 45                                                                               | 43                                                                               | 45                                                                               | 45                                                                               |
| PFDA    | 13                                                                       | 12                                                                               | 12                                                                               | 12                                                                               | 12                                                                               |
| PFDoDA  | <1,5                                                                     | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             |
| PFDS    | 2,2                                                                      | 2,7                                                                              | 2,5                                                                              | 2,4                                                                              | 2,2                                                                              |
| PFHpA   | 51                                                                       | 48                                                                               | 48                                                                               | 45                                                                               | 47                                                                               |
| PFHpS   | 38                                                                       | 37                                                                               | 37                                                                               | 36                                                                               | 41                                                                               |
| PFHxA   | 51                                                                       | 47                                                                               | 47                                                                               | 47                                                                               | 47                                                                               |
| PFHxS   | 47                                                                       | 49                                                                               | 48                                                                               | 48                                                                               | 50                                                                               |
| PFNA    | 40                                                                       | 36                                                                               | 37                                                                               | 34                                                                               | 35                                                                               |
| PFOA    | 54                                                                       | 50                                                                               | 50                                                                               | 46                                                                               | 47                                                                               |
| PFOS    | 28                                                                       | 28                                                                               | 29                                                                               | 29                                                                               | 29                                                                               |
| PFPeS   | 69                                                                       | 57                                                                               | 54                                                                               | 55                                                                               | 60                                                                               |
| PFTTrDA | <9,0                                                                     | <9,0                                                                             | <9,0                                                                             | <9,0                                                                             | <9,0                                                                             |
| PFUnDA  | <1,5                                                                     | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             | <1,5                                                                             |

| ak      | CB PFAS -<br>MD lamp -<br>milliQ<br>pH=12<br>+100 mg/L<br>Na2SO3 - 0<br>mJ/cm2 | CB PFAS -<br>MD lamp -<br>milliQ<br>pH=12<br>+100 mg/L<br>Na2SO3 -<br>2000<br>mJ/cm2 A | CB PFAS -<br>MD lamp -<br>milliQ<br>pH=12<br>+100 mg/L<br>Na2SO3 -<br>2000<br>mJ/cm2 B | CB PFAS -<br>MD lamp -<br>milliQ<br>pH=12<br>+100 mg/L<br>Na2SO3 -<br>3000<br>mJ/cm2 A | CB PFAS -<br>MD lamp -<br>milliQ<br>pH=12<br>+100 mg/L<br>Na2SO3 -<br>3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 55                                                                             | 50                                                                                     | 57                                                                                     | 56                                                                                     | 59                                                                                     |
| PFBS    | 47                                                                             | 47                                                                                     | 47                                                                                     | 47                                                                                     | 47                                                                                     |
| PFDA    | 13                                                                             | 13                                                                                     | 14                                                                                     | 14                                                                                     | 14                                                                                     |
| PFDoDA  | <1,5                                                                           | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   |
| PFDS    | 1,9                                                                            | 2,0                                                                                    | 1,9                                                                                    | 1,7                                                                                    | 2,2                                                                                    |
| PFHpA   | 54                                                                             | 54                                                                                     | 54                                                                                     | 54                                                                                     | 55                                                                                     |
| PFHpS   | 40                                                                             | 41                                                                                     | 41                                                                                     | 43                                                                                     | 42                                                                                     |
| PFHxA   | 54                                                                             | 53                                                                                     | 55                                                                                     | 54                                                                                     | 55                                                                                     |
| PFHxS   | 52                                                                             | 51                                                                                     | 52                                                                                     | 52                                                                                     | 52                                                                                     |
| PFNA    | 42                                                                             | 42                                                                                     | 41                                                                                     | 41                                                                                     | 43                                                                                     |
| PFOA    | 56                                                                             | 56                                                                                     | 57                                                                                     | 54                                                                                     | 56                                                                                     |
| PFOS    | 30                                                                             | 29                                                                                     | 30                                                                                     | 29                                                                                     | 31                                                                                     |
| PFPeS   | 66                                                                             | 60                                                                                     | 58                                                                                     | 62                                                                                     | 66                                                                                     |
| PFTTrDA | <9,0                                                                           | <9,0                                                                                   | <9,0                                                                                   | <9,0                                                                                   | <9,0                                                                                   |
| PFUnDA  | <1,5                                                                           | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   | <1,5                                                                                   |

| al      | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 49                                                                           | <1,5                                                                         | 18                                                                              | 20                                                                              | 11                                                                              | 13                                                                              |
| PFBS    | 41                                                                           | <1,5                                                                         | 50                                                                              | 43                                                                              | 46                                                                              | 44                                                                              |
| PFDA    | 20                                                                           | 4,4                                                                          | 8,3                                                                             | 9                                                                               | 9,7                                                                             | 13                                                                              |
| PFDODA  | <1,5                                                                         | <1,5                                                                         | <1,5                                                                            | <1,5                                                                            | <1,5                                                                            | <1,5                                                                            |
| PFDS    | 3                                                                            | 0,66                                                                         | 2,6                                                                             | 3,1                                                                             | 3                                                                               | 11                                                                              |
| PFHpA   | 54                                                                           | <1,5                                                                         | 19                                                                              | 21                                                                              | 9,5                                                                             | 9,6                                                                             |
| PFHpS   | 44                                                                           | 1,1                                                                          | 38                                                                              | 44                                                                              | 39                                                                              | 38                                                                              |
| PFHxA   | 49                                                                           | <1,5                                                                         | 18                                                                              | 21                                                                              | 8,5                                                                             | 9,8                                                                             |
| PFHxS   | 50                                                                           | <1,5                                                                         | 52                                                                              | 53                                                                              | 46                                                                              | 47                                                                              |
| PFNA    | 37                                                                           | 1,8                                                                          | 13                                                                              | 16                                                                              | 7,2                                                                             | 9,5                                                                             |
| PFOA    | 57                                                                           | 1,8                                                                          | 20                                                                              | 21                                                                              | 11                                                                              | 10                                                                              |
| PFOS    | 84                                                                           | 23                                                                           | 180                                                                             | 56                                                                              | 700                                                                             | 50                                                                              |
| PFPeS   | 62                                                                           | <1,5                                                                         | 53                                                                              | 64                                                                              | 53                                                                              | 51                                                                              |
| PFTTrDA | <9,0                                                                         | <9,0                                                                         | <9,0                                                                            | <9,0                                                                            | <9,0                                                                            | <9,0                                                                            |
| PFUnDA  | <1,5                                                                         | <1,5                                                                         | <1,5                                                                            | 0,63                                                                            | <1,5                                                                            | 1,4                                                                             |

[illegible]

|         | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 : 0<br>mJ/cm2 A | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 : 0<br>mJ/cm2 B | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>2000<br>mJ/cm2 A | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>2000<br>mJ/cm2 B | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>3000<br>mJ/cm2 A | mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 10 :<br>3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| PFBA    | 44                                                       | 49                                                       | 14                                                             | 15                                                             | 2,3                                                            | 5,4                                                            |
| PFBS    | 45                                                       | 41                                                       | 44                                                             | 42                                                             | 45                                                             | 45                                                             |
| PFDA    | 16                                                       | 14                                                       | 4,7                                                            | 4,4                                                            | 1,1                                                            | 2,7                                                            |
| PFDoDA  | <1,5                                                     | <1,5                                                     | <1,5                                                           | <1,5                                                           | <1,5                                                           | <1,5                                                           |
| PFDS    | 2,5                                                      | 3,3                                                      | 1,6                                                            | 3,4                                                            | 2,2                                                            | 2,4                                                            |
| PFHpA   | 57                                                       | 55                                                       | 14                                                             | 12                                                             | 2,2                                                            | 4,9                                                            |
| PFHpS   | 43                                                       | 46                                                       | 40                                                             | 37                                                             | 36                                                             | 42                                                             |
| PFHxA   | 51                                                       | 49                                                       | 14                                                             | 13                                                             | 2,2                                                            | 5,3                                                            |
| PFHxS   | 56                                                       | 50                                                       | 51                                                             | 50                                                             | 48                                                             | 51                                                             |
| PFNA    | 43                                                       | 43                                                       | 9,2                                                            | 8,7                                                            | 0,69                                                           | 3                                                              |
| PFOA    | 61                                                       | 56                                                       | 14                                                             | 14                                                             | 2,3                                                            | 5,4                                                            |
| PFOS    | 63                                                       | 33                                                       | 35                                                             | 29                                                             | 55                                                             | 37                                                             |
| PFPeS   | 63                                                       | 61                                                       | 58                                                             | 51                                                             | 54                                                             | 54                                                             |
| PFTTrDA | <9,0                                                     | <9,0                                                     | <9,0                                                           | <9,0                                                           | <9,0                                                           | <9,0                                                           |
| PFUnDA  | <1,5                                                     | <1,5                                                     | <1,5                                                           | <1,5                                                           | <1,5                                                           | <1,5                                                           |

| an | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L KI pH |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|    |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |

|         | 12 : 0<br>mJ/cm2 A | 12 : 0<br>mJ/cm2 B | 12 : 2000<br>mJ/cm2 A | 12 : 2000<br>mJ/cm2 B | 12 : 3000<br>mJ/cm2 A | 12 : 3000<br>mJ/cm2 B |
|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| PFBA    | 44                 | 51                 | 44                    | 47                    | 43                    | 43                    |
| PFBS    | 45                 | 43                 | 45                    | 44                    | 43                    | 46                    |
| PFDA    | 12                 | 12                 | 12                    | 11                    | 11                    | 11                    |
| PFDoDA  | <1,5               | <1,5               | <1,5                  | <1,5                  | <1,5                  | <1,5                  |
| PFDS    | 2                  | 2,3                | 2,9                   | 2                     | 2                     | 1,5                   |
| PFHpA   | 51                 | 50                 | 53                    | 52                    | 54                    | 51                    |
| PFHpS   | 38                 | 46                 | 38                    | 43                    | 43                    | 44                    |
| PFHxA   | 51                 | 54                 | 52                    | 49                    | 51                    | 52                    |
| PFHxS   | 50                 | 50                 | 50                    | 50                    | 49                    | 51                    |
| PFNA    | 41                 | 40                 | 36                    | 37                    | 37                    | 37                    |
| PFOA    | 54                 | 56                 | 54                    | 51                    | 53                    | 54                    |
| PFOS    | 32                 | 28                 | 28                    | 26                    | 29                    | 30                    |
| PFPeS   | 57                 | 56                 | 53                    | 58                    | 56                    | 56                    |
| PFTTrDA | <9,0               | <9,0               | <9,0                  | <9,0                  | <9,0                  | <9,0                  |
| PFUnDA  | 0,76               | <1,5               | <1,5                  | <1,5                  | <1,5                  | 0,62                  |

|    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                          |                                                                                          |                                                                                          |                                                                                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ao | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm2 B | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 A | MD lamp<br>milliQ +100<br>mg/L<br>Na2SO3 +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm2 B |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFBA    | 44   | 46   | 7,4  | 8,2  | 4,7  | 2,5  |
| PFBS    | 43   | 42   | 42   | 41   | 45   | 42   |
| PFDA    | 11   | 11   | 4,2  | 6,7  | 3,4  | 5,7  |
| PFDODA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 1,8  | 2,4  | 1,8  | 2,6  | 1,7  | 1,8  |
| PFHpA   | 54   | 54   | 5,4  | 6,5  | 2,3  | 1,4  |
| PFHpS   | 39   | 40   | 36   | 33   | 37   | 37   |
| PFHxA   | 52   | 56   | 5,7  | 6    | 2,1  | 1,1  |
| PFHxS   | 51   | 52   | 46   | 47   | 49   | 44   |
| PFNA    | 37   | 40   | 5    | 8,3  | 3,5  | 4,2  |
| PFOA    | 52   | 53   | 5,9  | 7,7  | 3,1  | 3,1  |
| PFOS    | 29   | 30   | 26   | 25   | 23   | 23   |
| PFPeS   | 59   | 54   | 48   | 53   | 58   | 59   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | 0,68 | <1,5 | <1,5 |

| ap   | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 49                                                                                                                       | 46                                                                                                                       | 7,6                                                                                                                            | 12                                                                                                                             | 3                                                                                                                              | 3,2                                                                                                                            |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFBS    | 44   | 42   | 43   | 41   | 43   | 43   |
| PFDA    | 8,8  | 10   | 2,7  | 7,9  | 1,8  | 3    |
| PFDoDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 2,1  | 1,8  | 2    | 2,7  | 1,1  | 2,2  |
| PFHpA   | 49   | 50   | 5,1  | 9,7  | 0,87 | 1,3  |
| PFHpS   | 39   | 38   | 36   | 36   | 34   | 31   |
| PFHxA   | 50   | 50   | 4,7  | 9,6  | 0,74 | 1    |
| PFHxS   | 48   | 49   | 45   | 46   | 44   | 43   |
| PFNA    | 34   | 36   | 4,2  | 12   | 1,6  | 2,9  |
| PFOA    | 48   | 49   | 5,5  | 12   | 1,5  | 2,3  |
| PFOS    | 26   | 25   | 25   | 26   | 19   | 21   |
| PFPeS   | 58   | 55   | 55   | 53   | 54   | 47   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,64 | 0,84 | <1,5 | 0,72 | <1,5 | <1,5 |

| aq   | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI : 3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 44                                                                                                                | 42                                                                                                                | 20                                                                                                                   | 21                                                                                                                   | 9                                                                                                                    | 11                                                                                                                   |
| PFBS | 45                                                                                                                | 43                                                                                                                | 43                                                                                                                   | 45                                                                                                                   | 45                                                                                                                   | 42                                                                                                                   |



|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDA    | 11   | 12   | 7,4  | 9,6  | 5,7  | 4,4  |
| PFDoDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <3,0 |
| PFDS    | 3    | 2,9  | 3,3  | 3,5  | 2,1  | 2,4  |
| PFHpA   | 50   | 53   | 21   | 20   | 5,3  | 7,2  |
| PFHpS   | 41   | 41   | 37   | 40   | 38   | 36   |
| PFHxA   | 51   | 50   | 20   | 21   | 5,8  | 6,9  |
| PFHxS   | 49   | 50   | 46   | 50   | 49   | 47   |
| PFNA    | 37   | 39   | 17   | 19   | 7,8  | 6,3  |
| PFOA    | 52   | 54   | 21   | 22   | 6,9  | 8,2  |
| PFOS    | 27   | 30   | 26   | 30   | 25   | 22   |
| PFPeS   | 57   | 61   | 57   | 60   | 67   | 56   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <18  |
| PFUnDA  | 1    | <1,5 | <1,5 | 0,73 | 0,82 | <3,0 |

| ar   | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 63                                                                                                                                  | 61                                                                                                                                  | 64                                                                                                                                        | 66                                                                                                                                        | 68                                                                                                                                        | 66                                                                                                                                        |
| PFBS | 73                                                                                                                                  | 72                                                                                                                                  | 72                                                                                                                                        | 71                                                                                                                                        | 75                                                                                                                                        | 75                                                                                                                                        |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDA    | 10   | 11   | 9,2  | 9,3  | 8,9  | 7,9  |
| PFDoDA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 1,6  | 1,5  | 1,3  | 1,4  | 1,2  | 1,3  |
| PFHpA   | 65   | 56   | 61   | 60   | 60   | 59   |
| PFHpS   | 39   | 36   | 37   | 36   | 36   | 35   |
| PFHxA   | 72   | 70   | 76   | 70   | 73   | 70   |
| PFHxS   | 52   | 51   | 53   | 51   | 53   | 51   |
| PFNA    | 38   | 37   | 35   | 35   | 35   | 32   |
| PFOA    | 65   | 59   | 61   | 61   | 61   | 60   |
| PFOS    | 29   | 29   | 25   | 25   | 24   | 23   |
| PFPeS   | 57   | 53   | 54   | 52   | 51   | 55   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,78 | <1,5 | 0,67 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |

| as   | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>miliQ + 300<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>50 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA | 47                                                                                                                     | 43                                                                                                                     | 4,3                                                                                                                          | 3,8                                                                                                                          | 2,3                                                                                                                          | 4,5                                                                                                                          |
| PFBS | 45                                                                                                                     | 44                                                                                                                     | 44                                                                                                                           | 42                                                                                                                           | 42                                                                                                                           | 45                                                                                                                           |
| PFDA | 12                                                                                                                     | 12                                                                                                                     | 6,7                                                                                                                          | 6,7                                                                                                                          | 4,4                                                                                                                          | 6,5                                                                                                                          |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDODA  | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 |
| PFDS    | 3,8  | 2,7  | 2,3  | 2,1  | 1,9  | 2,7  |
| PFHpA   | 51   | 50   | 2,5  | 1,7  | 0,73 | 2,9  |
| PFHpS   | 38   | 39   | 35   | 33   | 31   | 34   |
| PFHxA   | 51   | 52   | 2,1  | 1,5  | 0,74 | 2    |
| PFHxS   | 48   | 49   | 47   | 44   | 43   | 43   |
| PFNA    | 36   | 37   | 7,3  | 6    | 3,3  | 8,3  |
| PFOA    | 49   | 53   | 4,5  | 3,1  | 1,7  | 4,9  |
| PFOS    | 27   | 29   | 23   | 22   | 21   | 23   |
| PFPeS   | 59   | 55   | 53   | 50   | 53   | 54   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,94 | 0,84 | <1,5 | 0,84 | 0,7  | 0,98 |

| at     | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 46                                                                                                                       | 47                                                                                                                       | 8,4                                                                                                                            | 9,2                                                                                                                            | 2,9                                                                                                                            | 2,3                                                                                                                            |
| PFBS   | 45                                                                                                                       | 43                                                                                                                       | 44                                                                                                                             | 43                                                                                                                             | 44                                                                                                                             | 44                                                                                                                             |
| PFDA   | 12                                                                                                                       | 11                                                                                                                       | 5,4                                                                                                                            | 5,3                                                                                                                            | 3,2                                                                                                                            | 2,4                                                                                                                            |
| PFDODA | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFDS    | 2,3  | 1,9  | 2    | 2,5  | 1,9  | 1,4  |
| PFHpA   | 52   | 51   | 5,8  | 6,4  | 1,3  | 1,4  |
| PFHpS   | 44   | 40   | 39   | 37   | 34   | 32   |
| PFHxA   | 54   | 50   | 6,3  | 6,5  | 1,3  | 0,78 |
| PFHxS   | 51   | 48   | 49   | 48   | 44   | 45   |
| PFNA    | 40   | 39   | 5,9  | 6,7  | 2,6  | 2,4  |
| PFOA    | 54   | 50   | 6,8  | 7,2  | 2,5  | 2,4  |
| PFOS    | 44   | 32   | 26   | 26   | 29   | 26   |
| PFPeS   | 60   | 54   | 53   | 55   | 56   | 53   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,97 | 0,65 | 0,61 | 0,71 | 0,66 | <1,5 |

| au     | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 43                                                                                                                       | 42                                                                                                                       | 11                                                                                                                             | 6,3                                                                                                                            | 2                                                                                                                              | 3,4                                                                                                                            |
| PFBS   | 44                                                                                                                       | 42                                                                                                                       | 45                                                                                                                             | 42                                                                                                                             | 44                                                                                                                             | 42                                                                                                                             |
| PFDA   | 12                                                                                                                       | 11                                                                                                                       | 6,8                                                                                                                            | 5,5                                                                                                                            | 1,9                                                                                                                            | 3,7                                                                                                                            |
| PFDoDA | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           |
| PFDS   | 2,9                                                                                                                      | 2,5                                                                                                                      | 2                                                                                                                              | 2,2                                                                                                                            | 1,8                                                                                                                            | 2,5                                                                                                                            |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFHpA   | 51   | 52   | 8,6  | 3,8  | 1,3  | 1,5  |
| PFHpS   | 42   | 41   | 39   | 35   | 32   | 32   |
| PFHxA   | 51   | 49   | 8,5  | 3,9  | 0,83 | 1,1  |
| PFHxS   | 48   | 47   | 49   | 45   | 43   | 44   |
| PFNA    | 38   | 37   | 9,7  | 6    | 1,8  | 2,9  |
| PFOA    | 53   | 49   | 9,3  | 5,1  | 2,3  | 2,6  |
| PFOS    | 29   | 27   | 25   | 24   | 20   | 21   |
| PFPeS   | 54   | 53   | 58   | 58   | 52   | 50   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,91 | 1,1  | 0,83 | 0,74 | <1,5 | <1,5 |

| av     | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>milliQ +<br>300 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L<br>KI pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 42                                                                                                                       | 45                                                                                                                       | 1,4                                                                                                                            | 1,2                                                                                                                            | 1,3                                                                                                                            | 1,2                                                                                                                            |
| PFBS   | 43                                                                                                                       | 43                                                                                                                       | 44                                                                                                                             | 43                                                                                                                             | 42                                                                                                                             | 41                                                                                                                             |
| PFDA   | 11                                                                                                                       | 11                                                                                                                       | 2,7                                                                                                                            | 3,7                                                                                                                            | 1,7                                                                                                                            | 4,5                                                                                                                            |
| PFDODA | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                     | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           | <1,5                                                                                                                           |
| PFDS   | 2,1                                                                                                                      | 2,2                                                                                                                      | 2                                                                                                                              | 2,1                                                                                                                            | 1,6                                                                                                                            | 1,9                                                                                                                            |
| PFHpA  | 49                                                                                                                       | 52                                                                                                                       | 1,5                                                                                                                            | 1,5                                                                                                                            | 1,5                                                                                                                            | 1,5                                                                                                                            |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFHpS   | 43   | 39   | 28   | 29   | 23   | 21   |
| PFHxA   | 50   | 49   | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 1,5  |
| PFHxS   | 48   | 48   | 39   | 42   | 37   | 33   |
| PFNA    | 37   | 37   | 2,2  | 2,4  | 1,3  | 4,4  |
| PFOA    | 51   | 51   | 1,4  | 1,6  | 1,4  | 2,5  |
| PFOS    | 26   | 26   | 17   | 17   | 13   | 13   |
| PFPeS   | 55   | 52   | 50   | 55   | 47   | 43   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,9  | 1,1  | 0,67 | 0,74 | <1,5 | <1,5 |

| aw     | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 : 0<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>2000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> A | MD lamp<br>RO<br>concentraat<br>+ 500 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>200 mg/L KI<br>pH 12 :<br>3000<br>mJ/cm <sup>2</sup> B |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFBA   | 60                                                                                                                                  | 64                                                                                                                                  | 61                                                                                                                                        | 65                                                                                                                                        | 62                                                                                                                                        | 65                                                                                                                                        |
| PFBS   | 74                                                                                                                                  | 74                                                                                                                                  | 70                                                                                                                                        | 72                                                                                                                                        | 72                                                                                                                                        | 78                                                                                                                                        |
| PFDA   | 10                                                                                                                                  | 11                                                                                                                                  | 8,4                                                                                                                                       | 11                                                                                                                                        | 7,8                                                                                                                                       | 8,7                                                                                                                                       |
| PFDoDA | <1,5                                                                                                                                | <1,5                                                                                                                                | <1,5                                                                                                                                      | <1,5                                                                                                                                      | <1,5                                                                                                                                      | <1,5                                                                                                                                      |
| PFDS   | 1,6                                                                                                                                 | 2,2                                                                                                                                 | 1,3                                                                                                                                       | 1,8                                                                                                                                       | 1,2                                                                                                                                       | 1,3                                                                                                                                       |
| PFHpA  | 57                                                                                                                                  | 62                                                                                                                                  | 59                                                                                                                                        | 61                                                                                                                                        | 61                                                                                                                                        | 61                                                                                                                                        |

|         |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| PFHpS   | 37   | 39   | 33   | 37   | 32   | 34   |
| PFHxA   | 68   | 73   | 72   | 74   | 71   | 72   |
| PFHxS   | 51   | 53   | 48   | 52   | 50   | 51   |
| PFNA    | 35   | 36   | 32   | 36   | 32   | 33   |
| PFOA    | 61   | 60   | 57   | 63   | 57   | 58   |
| PFOS    | 27   | 27   | 22   | 26   | 21   | 22   |
| PFPeS   | 58   | 62   | 55   | 60   | 59   | 60   |
| PFTTrDA | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 | <9,0 |
| PFUnDA  | 0,89 | 1    | 0,62 | 0,88 | 0,65 | 0,78 |

| ay   | pH 10, 0<br>mJ/cm2 A | pH 10, 0<br>mJ/cm2 B | pH 10, 0<br>mJ/cm2 C | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 A | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 B | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 A | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 A | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 B | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 A | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 A | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 B | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 A |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PFOA | 89                   | 92                   | 90                   | 90                        | 88                        | 87                        | 86                        | 78                        | 78                        | 69                         | 60                         | 73                         |

| ax   | pH 8, 0<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 0<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 0<br>mJ/cm2 C<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2<br>A100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |
|------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| PFOA | 81                                                                 | 89                                                                 | 86                                                                 | 88                                                                   | 89                                                                   | 86                                                                   | 83                                                                   | 88                                                                   | 85                                                                   | 77                                                                         | 78                                                                                                                      | 84                                                                       |

| ay   | pH 10, 0<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10, 0<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10, 0<br>mJ/cm2 C<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 10,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |
|------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| PFOA | 89                                                                  | 92                                                                  | 90                                                                  | 90                                                                       | 88                                                                       | 87                                                                       | 86                                                                       | 78                                                                       | 78                                                                       | 69                                                                        | 60                                                                        | 73                                                                        |

| az   | pH 12, 0<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI | pH 12, 0<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI | pH 12, 0<br>mJ/cm2 C<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI | pH 12,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI | pH 12,<br>1000<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI | pH 12,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> +<br>100 mg/L<br>KI |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| PFOA | 83                                                                                      | 79                                                                                      | 80                                                                                      | 29                                                                                            | 23                                                                                            | 30                                                                                            |

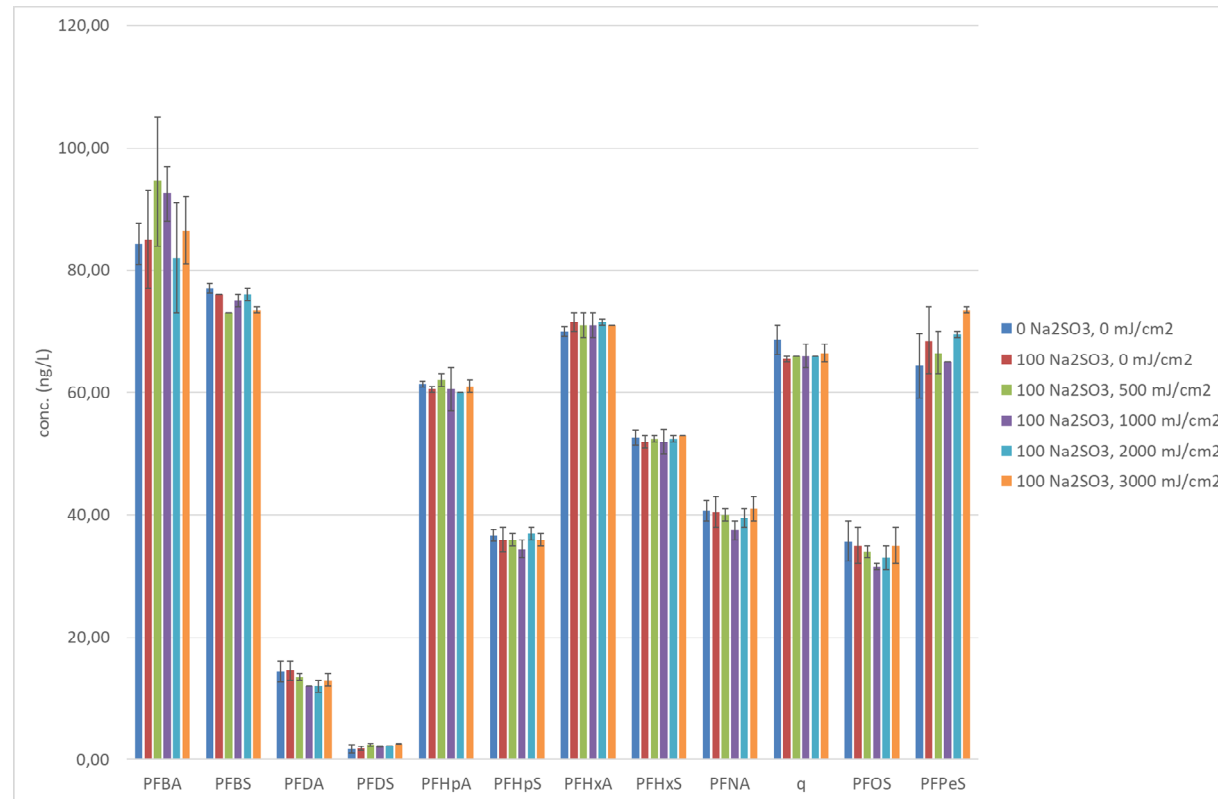
| ba   | pH 8, 0<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 0<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 0<br>mJ/cm2 C<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 250<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8, 500<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2<br>A100<br>mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2 B<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | pH 8,<br>1000<br>mJ/cm2 A<br>100 mg/L<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |
|------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| PFOS | 56                                                                 | 55                                                                 | 53                                                                 | 54                                                                   | 55                                                                   | 54                                                                   | 53                                                                   | 57                                                                   | 53                                                                   | 55                                                                         | 57                                                                       | 52                                                                       |



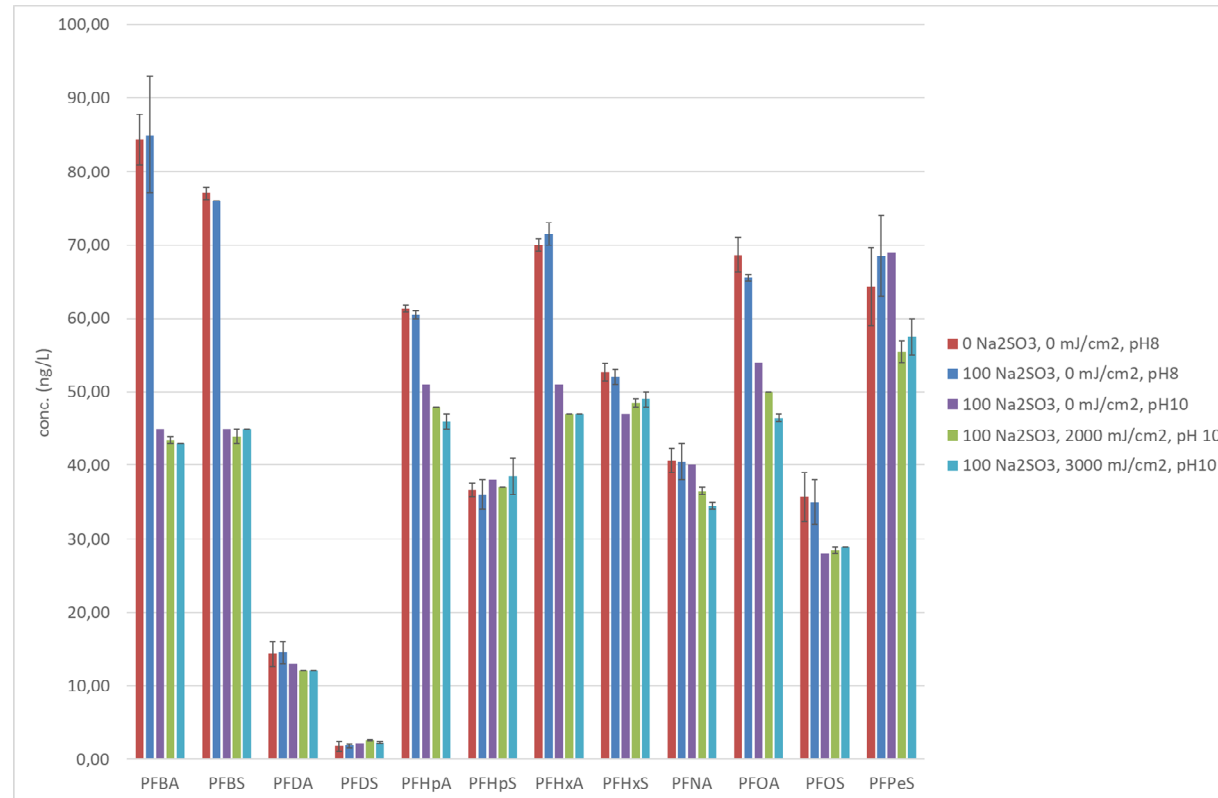
| bb   | pH 10, 0                        | pH 10, 0                        | pH 10, 0                        | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          | pH 10,                          |
|------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|      | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 B                        | mJ/cm2 C                        | 250                             | 250                             | 250                             | 500                             | 500                             | 500                             | 1000                            | 1000                            | 1000                            |
|      | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 B                        | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 B                        | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 A                        | mJ/cm2 B                        | mJ/cm2 A                        |
|      | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        | 100 mg/L                        |
|      | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |                                 |                                 | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |
| PFOS | 57                              | 58                              | 59                              | 53                              | 55                              | 56                              | 52                              | 57                              | 58                              | 54                              | 55                              | 57                              |

| bc   | pH 12, 0                          | pH 12, 0                          | pH 12, 0                          | pH 12,                            | pH 12,                            | pH 12,                            |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|      | mJ/cm2 A                          | mJ/cm2 B                          | mJ/cm2 C                          | 1000                              | 1000                              | 1000                              |
|      | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | mJ/cm2 A                          | mJ/cm2 B                          | mJ/cm2 A                          |
|      | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          |
|      | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + |
|      | KI                                | KI                                | KI                                | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          | 100 mg/L                          |
|      |                                   |                                   |                                   | KI                                | KI                                | KI                                |
| PFOS | 55                                | 52                                | 55                                | 48                                | 45                                | 45                                |

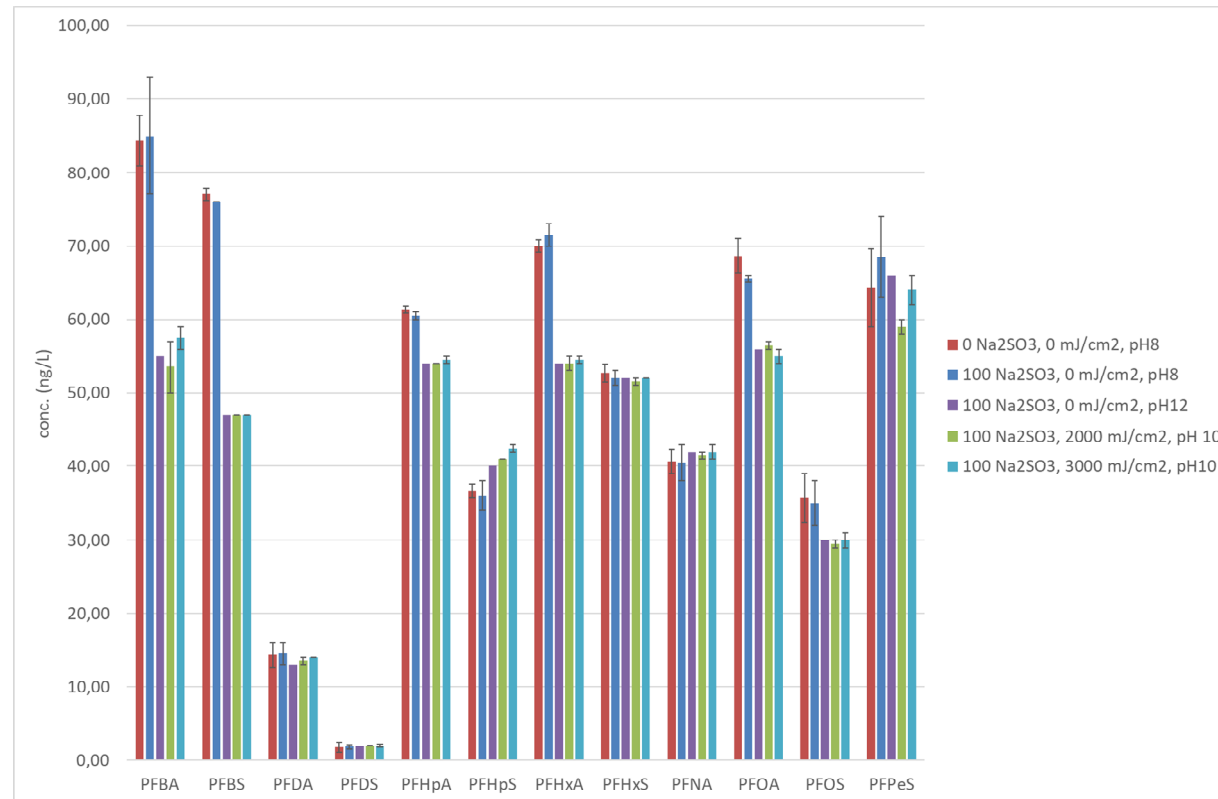
De resultaten die met 100 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>/L werden verkregen zijn weergegeven in Figuur 25.



Figuur 25: resultaten van metingen bij een  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ -concentratie van 100 mg/L en verschillende UV-doses bij pH 8 in concentraat



Figuur 26: : resultaten van metingen bij een Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>-concentratie van 100 mg/L en verschillende UV-doses bij pH 10 in milli-Q



Figuur 27: resultaten van metingen bij een  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ -concentratie van 100 mg/L en verschillende UV-doses bij pH 12 in milli-Q

## IV K-waarden

Berekende K-waarden in  $\text{cm}^2/\text{mJ}$ . Hiervoor is als  $C_0$  het gemiddelde van de concentraties gemeten bij  $0 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  gebruikt. De andere meetwaardes zijn als zodanig gebruikt.

| se<br>ri<br>e | PFBA                | PFBS                    | PFDA                     | PFDS                     | PFHp<br>A           | PFHpS                    | PFHx<br>A           | B-<br>PFHx<br>S<br>(som<br>vert<br>akte<br>PFHx<br>S-<br>isom<br>eren<br>) # | L-<br>PFHxS              | PFNA           | B-<br>PFOA<br>(som<br>verta<br>kte<br>PFOA-<br>isome<br>ren) # | L-<br>PFOA          | B-<br>PFOS<br>(som<br>verta<br>kte<br>PFOS<br>-<br>isom<br>eren)<br># | L-<br>PFOS               | PFPe<br>S                | PFUn<br>DA     |
|---------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| A             | 3,675<br>28E-<br>05 | 1,69<br>995E<br>-06     | -<br>1,177<br>82E-<br>05 | -<br>6,978<br>85E-<br>05 | 3,427<br>79E-<br>05 | -<br>1,038<br>62E-<br>05 | 2,609<br>83E-<br>05 | 0                                                                            | -<br>5,942<br>84E-<br>06 | 1,459<br>1E-05 | 0                                                              | 1,400<br>85E-<br>05 | 0,000<br>301                                                          | -<br>2,288<br>76E-<br>05 | -<br>9,38<br>604E<br>-06 | 3,076<br>8E-06 |
| B             | 0,000<br>13492<br>4 | 1,68<br>512E<br>-05     | 0,000<br>13132<br>4      | 8,752<br>41E-<br>05      | 0,000<br>18441<br>3 | 7,896<br>8E-06           | 0,000<br>18284<br>7 | 0                                                                            | 6,740<br>78E-<br>06      | 0,000<br>14987 | 0                                                              | 0,000<br>17428<br>9 | 0,000<br>748                                                          | 1,309<br>53E-<br>05      | 9,07<br>677E<br>-06      | 6,944<br>5E-05 |
| C             | 1,001<br>16E-<br>05 | -<br>1,81<br>37E-<br>05 | 0,000<br>23819<br>9      | 2,991<br>3E-05           | 8,619<br>26E-<br>06 | -<br>5,326<br>9E-06      | 1,818<br>77E-<br>05 | 0                                                                            | -<br>1,265<br>23E-<br>05 | 8,308<br>5E-05 | 0                                                              | 2,731<br>65E-<br>05 | 0,000<br>35                                                           | 2,707<br>14E-<br>05      | -<br>2,54<br>112E<br>-05 | 7,214<br>5E-06 |
| D             | 0,000<br>15273<br>3 | -<br>4,68               | 0,000<br>21265           | 9,509<br>25E-<br>05      | 0,000<br>18856<br>1 | -<br>6,523<br>4E-06      | 0,000<br>19001<br>9 | 0                                                                            | 4,695<br>21E-<br>06      | 0,000<br>1945  | 0                                                              | 0,000<br>20126<br>7 | 0,000<br>702                                                          | 2,202<br>11E-<br>05      | 4,59<br>383E<br>-06      | 1,288<br>9E-07 |

|   |                     |                     |                      |                      |                     |                      |                     |   |                      |                |   |                     |              |                      |                      |                    |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---|----------------------|----------------|---|---------------------|--------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|   |                     | 98E-06              |                      |                      |                     |                      |                     |   |                      |                |   |                     |              |                      |                      |                    |
| E | 9,853<br>58E-07     | 5,60<br>518E-06     | 9,625<br>27E-05      | 6,341<br>28E-05      | 2,485<br>48E-05     | -<br>9,178<br>03E-06 | 2,953<br>5E-05      | 0 | 6,900<br>92E-06      | 4,013<br>6E-05 | 0 | 1,780<br>65E-05     | 0,000<br>361 | 1,822<br>43E-05      | 2,67<br>827E-06      | -<br>3,215<br>E-06 |
| F | 0,000<br>16454<br>2 | 9,07<br>921E-06     | 0,000<br>14947       | 0,000<br>10960<br>6  | 0,000<br>18814<br>4 | 4,618<br>25E-06      | 0,000<br>19161<br>8 | 0 | 5,538<br>92E-06      | 0,000<br>1759  | 0 | 0,000<br>19412<br>7 | 0,000<br>722 | 7,435<br>59E-06      | -<br>1,99<br>168E-06 | -<br>5,233<br>E-05 |
| G | 0,000<br>26435<br>6 | 1,17<br>355E-05     | 0,000<br>28922<br>8  | 0,000<br>14783<br>5  | 0,000<br>34271<br>7 | 1,627<br>64E-06      | 0,000<br>35441<br>2 | 0 | 2,077<br>32E-05      | 0,000<br>33729 | 0 | 0,000<br>35409<br>7 | 0,000<br>693 | 2,861<br>63E-05      | 2,85<br>475E-05      | -<br>1,743<br>E-05 |
| H | 0,000<br>48713<br>2 | -<br>3,09<br>01E-06 | 0,000<br>22231       | 0,000<br>18819<br>5  | 0,000<br>61391<br>5 | 1,111<br>01E-05      | 0,000<br>59986<br>6 | 0 | 1,503<br>44E-05      | 0,000<br>44154 | 0 | 0,000<br>55761<br>4 | 0            | 3,998<br>98E-05      | -<br>3,02<br>293E-05 | 0                  |
| I | 6,001<br>33E-05     | -<br>1,56<br>57E-06 | 0,000<br>11290<br>7  | -<br>2,581<br>15E-05 | 6,498<br>94E-05     | 2,323<br>21E-05      | 4,360<br>88E-05     | 0 | -<br>6,296<br>33E-06 | 4,363<br>2E-05 | 0 | 5,531<br>34E-05     | 0            | -<br>8,555<br>82E-06 | -<br>2,29<br>157E-06 | 1,464<br>3E-05     |
| J | 4,904<br>2E-05      | 1,54<br>075E-05     | -<br>7,832<br>12E-05 | 7,649<br>83E-05      | 5,195<br>27E-05     | 3,563<br>93E-05      | 5,206<br>94E-05     | 0 | 1,302<br>83E-05      | 3,313<br>6E-05 | 0 | 4,562<br>26E-05     | 0            | 7,152<br>2E-06       | -<br>3,27<br>86E-06  | 0                  |
| K | 0,000<br>23043<br>5 | 1,61<br>949E-06     | 0,000<br>34234<br>6  | 6,247<br>35E-07      | 0,000<br>28149<br>5 | -<br>2,257<br>5E-05  | 0,000<br>26738<br>2 | 0 | -<br>3,321<br>78E-06 | 0,000<br>23264 | 0 | 0,000<br>25540<br>8 | 0            | 5,648<br>3E-06       | 2,97<br>531E-05      | 0                  |

|   |                     |                         |                          |                          |                     |                          |                     |              |                          |                    |              |                     |              |                          |                          |    |
|---|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------|--------------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|----|
| L | 2,323<br>95E-<br>05 | -<br>2,01<br>68E-<br>05 | -<br>0,000<br>23990<br>3 | -<br>5,035<br>18E-<br>05 | 1,897<br>03E-<br>05 | 5,677<br>39E-<br>05      | 1,959<br>94E-<br>05 | 0            | -<br>2,909<br>96E-<br>05 | -<br>2,626<br>E-05 | 0            | 2,042<br>56E-<br>05 | 0            | -<br>2,822<br>25E-<br>05 | -<br>4,59<br>558E<br>-05 | 0  |
| M | 6,141<br>06E-<br>05 | -<br>1,61<br>78E-<br>05 | 0,000<br>18911<br>4      | 0,000<br>10472<br>2      | 9,870<br>2E-05      | 4,995<br>29E-<br>06      | 0,000<br>10436<br>9 | 0            | -<br>2,395<br>17E-<br>05 | 0,000<br>11511     | 0            | 0,000<br>11271      | 0            | 1,501<br>24E-<br>05      | 1,08<br>342E<br>-05      | 0  |
| N | -<br>3,878<br>4E-06 | -<br>8,93<br>67E-<br>06 | 6,898<br>57E-<br>05      | 4,856<br>79E-<br>05      | 1,386<br>54E-<br>06 | 9,355<br>75E-<br>06      | 1,694<br>72E-<br>06 | 0,00<br>0192 | -<br>3,738<br>62E-<br>06 | 1,671<br>4E-05     | -1,6E-<br>05 | 1,041<br>38E-<br>05 | 5,3E-<br>05  | 4,154<br>89E-<br>05      | -<br>1,15<br>877E<br>-05 | -- |
| O | 3,808<br>2E-06      | 2,21<br>012E<br>-08     | 5,348<br>57E-<br>05      | 1,355<br>12E-<br>05      | -<br>1,093<br>5E-05 | -<br>2,539<br>22E-<br>05 | -<br>1,400<br>1E-05 | 0            | -<br>8,520<br>6E-06      | -<br>8,212<br>E-06 | 0            | -<br>1,316<br>6E-05 | 1,19E<br>-05 | 6,286<br>38E-<br>06      | -<br>7,82<br>98E-<br>06  | -- |
| P | 1,289<br>33E-<br>05 | -<br>2,18<br>04E-<br>06 | -<br>3,161<br>36E-<br>05 | 3,398<br>42E-<br>05      | 1,232<br>06E-<br>05 | -<br>1,821<br>44E-<br>05 | -<br>1,033<br>4E-05 | 0            | -<br>5,652<br>26E-<br>06 | -<br>2,044<br>E-05 | 0            | -<br>2,028<br>6E-05 | 4,91E<br>-05 | -<br>2,865<br>4E-05      | -<br>1,08<br>54E-<br>05  | -- |
| Q | 0,000<br>95097<br>6 | 8,27<br>162E<br>-06     | 0,000<br>27454<br>2      | 0,000<br>16858<br>6      | 0,001<br>46137<br>8 | 9,665<br>11E-<br>05      | 0,001<br>38457<br>6 | 0            | 4,284<br>64E-<br>05      | 0,000<br>67308     | 0            | 0,001<br>05166<br>6 | 0,000<br>803 | 0,000<br>10923           | 2,58<br>951E<br>-05      | -- |
| R | 0,000<br>77638<br>9 | -<br>3,89<br>38E-<br>06 | 0,000<br>35084<br>9      | 2,075<br>39E-<br>06      | 0,001<br>05885<br>2 | 7,746<br>59E-<br>05      | 0,000<br>97585<br>7 | 0            | 2,212<br>62E-<br>05      | 0,000<br>80898     | 0            | 0,000<br>99781<br>5 | 0,000<br>822 | 8,071<br>83E-<br>05      | 1,07<br>314E<br>-05      | -- |
| S | 3,118<br>62E-<br>06 | 1,66<br>024E<br>-06     | 3,287<br>8E-05           | -<br>4,906<br>94E-<br>05 | -<br>1,188<br>1E-05 | -<br>2,087<br>89E-<br>06 | -<br>4,341<br>6E-06 | 9,52<br>E-05 | -<br>2,014<br>38E-<br>06 | 2,887<br>1E-06     | -3,2E-<br>06 | -<br>1,161<br>9E-05 | 3,75E<br>-05 | 1,346<br>59E-<br>05      | -<br>1,77<br>611E<br>-05 | -- |

|        |                     |                         |                          |                          |                     |                          |                     |                 |                          |                    |              |                     |              |                          |                          |                    |
|--------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| T      | -<br>1,016<br>9E-06 | 5,07<br>839E<br>-06     | 7,001<br>01E-<br>05      | -<br>5,879<br>89E-<br>05 | -<br>1,000<br>5E-05 | 1,894<br>47E-<br>05      | -<br>8,548<br>4E-06 | 1,27<br>E-05    | 6,275<br>32E-<br>06      | 2,996<br>6E-05     | 2,12E-<br>05 | 7,617<br>86E-<br>06 | 5,18E<br>-05 | 4,082<br>95E-<br>05      | 2,13<br>012E<br>-05      | --                 |
| U      | 4,751<br>37E-<br>06 | -<br>1,44<br>46E-<br>06 | -<br>2,632<br>01E-<br>05 | -<br>4,459<br>09E-<br>05 | 7,519<br>44E-<br>06 | -<br>2,418<br>3E-05      | -<br>4,272<br>9E-06 | 0,00<br>0124    | 2,273<br>96E-<br>06      | -<br>6,267<br>E-06 | 5,04E-<br>06 | 1,341<br>96E-<br>06 | 1,06E<br>-05 | -<br>8,594<br>98E-<br>06 | -<br>9,35<br>122E<br>-06 | --                 |
| V      | 3,371<br>8E-06      | -<br>3,88<br>68E-<br>06 | 1,515<br>43E-<br>06      | -<br>1,225<br>8E-05      | -<br>6,047<br>3E-07 | 1,009<br>65E-<br>05      | -<br>1,524<br>9E-05 | -<br>0,00<br>02 | -<br>1,395<br>29E-<br>06 | 1,665<br>6E-06     | 1,73E-<br>05 | 1,518<br>48E-<br>05 | 1,38E<br>-05 | 2,359<br>94E-<br>06      | -<br>6,22<br>403E<br>-06 | --                 |
| W      | 0,000<br>47144<br>1 | -<br>4,03<br>55E-<br>05 | 0,000<br>26227<br>4      | -<br>0,000<br>14143<br>2 | 0,000<br>55279<br>8 | 4,211<br>16E-<br>05      | 0,000<br>53004<br>1 | --              | 9,261<br>22E-<br>06      | 0,000<br>49069     | --           | 0,000<br>54802<br>2 | --           | -<br>0,000<br>21222<br>2 | 5,02<br>554E<br>-05      | -<br>5,861<br>E-05 |
| X      | 0,000<br>77470<br>7 | -<br>1,04<br>5E-<br>05  | 0,000<br>68294<br>2      | 8,722<br>2E-05           | 0,000<br>87971<br>2 | 5,352<br>81E-<br>05      | 0,000<br>82091<br>2 | --              | 2,331<br>32E-<br>05      | 0,001<br>02555     | --           | 0,000<br>86831<br>2 | --           | 7,738<br>34E-<br>05      | 5,20<br>347E<br>-05      | --                 |
| Y      | 2,967<br>01E-<br>05 | -<br>4,20<br>51E-<br>06 | 2,677<br>27E-<br>05      | 3,242<br>79E-<br>05      | -<br>1,483<br>7E-05 | -<br>2,194<br>06E-<br>06 | 1,049<br>21E-<br>05 | --              | 4,616<br>31E-<br>08      | 3,687<br>1E-05     | --           | 1,361<br>09E-<br>05 | --           | 2,022<br>66E-<br>05      | 4,95<br>486E<br>-06      | 2,451<br>9E-05     |
| Z      | 0,000<br>86399<br>4 | -<br>1,55<br>53E-<br>06 | 0,000<br>32353<br>2      | 3,759<br>74E-<br>05      | 0,001<br>12558<br>8 | 3,605<br>56E-<br>05      | 0,001<br>16590<br>9 | --              | 3,962<br>35E-<br>05      | 0,000<br>80737     | --           | 0,000<br>96874<br>5 | --           | 7,988<br>43E-<br>05      | 9,44<br>151E<br>-06      | 7,537<br>E-06      |
| A<br>a | 0,000<br>87676<br>5 | 3,66<br>37E-<br>06      | 0,000<br>43183<br>3      | 2,516<br>13E-<br>05      | 0,001<br>18645      | 4,967<br>17E-<br>05      | 0,001<br>24634<br>2 | --              | 3,495<br>62E-<br>05      | 0,000<br>88882     | --           | 0,001<br>02773<br>9 | --           | 5,638<br>29E-<br>05      | 3,34<br>524E<br>-05      | -<br>2,023<br>E-06 |



|        |                     |                         |                     |                     |                     |                     |                     |                  |                          |                     |              |                     |                  |                     |                          |                     |
|--------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------------------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| A<br>b | 0,000<br>45177<br>4 | 2,81<br>442E<br>-06     | 0,000<br>23964<br>5 | 4,124<br>86E-<br>05 | 0,000<br>63115<br>2 | 3,356<br>96E-<br>05 | 0,000<br>61811<br>9 | --               | 1,201<br>9E-05           | 0,000<br>50525      | --           | 0,000<br>58941<br>6 | --               | 4,810<br>38E-<br>05 | -<br>7,29<br>039E<br>-06 | -<br>2,891<br>E-05  |
| Ac     | -<br>2,512<br>4E-05 | -<br>5,68<br>29E-<br>06 | 7,140<br>67E-<br>05 | 7,118<br>53E-<br>05 | 3,859<br>65E-<br>06 | 1,684<br>36E-<br>05 | -<br>5,712<br>4E-06 | --               | -<br>3,644<br>99E-<br>06 | 3,687<br>6E-05      | --           | 8,161<br>27E-<br>06 | --               | 7,141<br>58E-<br>05 | 1,44<br>385E<br>-05      | 1,629<br>3E-05      |
| A<br>d | 0,000<br>97955<br>5 | 1,06<br>991E<br>-05     | 0,000<br>27617      | 0,000<br>14352<br>1 | 0,001<br>31061<br>1 | 5,853<br>18E-<br>05 | 0,001<br>38249<br>6 | --               | 3,768<br>32E-<br>05      | 0,000<br>7109       | --           | 0,001<br>06491<br>2 | --               | 8,957<br>39E-<br>05 | 3,03<br>098E<br>-05      | 3,420<br>6E-05      |
| A<br>e | 0,000<br>92333<br>8 | 1,76<br>842E<br>-06     | 0,000<br>44613<br>1 | 4,867<br>38E-<br>05 | 0,001<br>16888<br>4 | 7,120<br>95E-<br>05 | 0,001<br>23253<br>9 | --               | 2,773<br>57E-<br>05      | 0,000<br>91984      | --           | 0,001<br>01366      | --               | 0,000<br>13335<br>8 | 1,87<br>82E-<br>05       | 6,446<br>E-05       |
| Af     | 0,000<br>89489<br>9 | -<br>1,62<br>46E-<br>06 | 0,000<br>43575<br>3 | 9,450<br>29E-<br>05 | 0,001<br>17072<br>3 | 7,787<br>31E-<br>05 | 0,001<br>24581<br>5 | --               | 2,208<br>32E-<br>05      | 0,000<br>8907       | --           | 0,001<br>00901<br>9 | --               | 9,259<br>31E-<br>05 | -<br>1,33<br>676E<br>-06 | 0,000<br>1058       |
| A<br>g | 0,001<br>35984<br>5 | 6,44<br>218E<br>-06     | 0,000<br>51044<br>9 | 5,572<br>83E-<br>05 | 0,001<br>35250<br>3 | 0,000<br>19987<br>2 | 0,001<br>34481<br>1 | --               | 9,951<br>04E-<br>05      | 0,001<br>05959      | --           | 0,001<br>30565<br>4 | --               | 0,000<br>22532<br>4 | 4,32<br>331E<br>-05      | 0,000<br>12036      |
| A<br>h | -<br>7,836<br>3E-06 | 3,46<br>936E<br>-06     | 6,958<br>3E-05      | 0,000<br>13016<br>1 | -<br>7,011<br>6E-06 | 4,556<br>62E-<br>05 | -<br>8,591<br>3E-06 | --               | 1,292<br>31E-<br>05      | 2,731<br>1E-05      | --           | 1,321<br>46E-<br>05 | --               | 7,128<br>45E-<br>05 | 8,63<br>247E<br>-06      | 0,000<br>10322      |
| Ai     | -<br>3,512<br>5E-05 | 1,18<br>002E<br>-06     | 8,167<br>67E-<br>05 | 3,743<br>92E-<br>06 | 2,151<br>13E-<br>06 | 2,200<br>87E-<br>05 | -<br>2,456<br>7E-05 | -<br>5,3E-<br>05 | 6,391<br>2E-06           | 3,139<br>7E-05      | 0,000<br>156 | 2,301<br>45E-<br>05 | -<br>0,000<br>41 | 2,048<br>72E-<br>05 | 6,70<br>781E<br>-05      | -<br>6,706<br>E-05  |
| Aj     | 1,571<br>71E-<br>05 | 3,49<br>711E<br>-06     | 3,078<br>57E-<br>05 | -<br>3,562          | 3,319<br>32E-<br>05 | 1,573<br>73E-<br>06 | 3,141<br>46E-<br>05 | -<br>1,43        | 4,826<br>13E-<br>05      | 4,636<br>08E-<br>05 | -<br>1,079   | 7,584<br>47E-<br>05 | #NA<br>ME?       | 1,571<br>71E-<br>05 | 3,49<br>711E<br>-06      | 3,078<br>57E-<br>05 |

|    |                     |                     |                     |                          |                     |                     |                     |                 |                     |                     |                          |                     |                     |                     |                     |                     |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|    |                     |                     |                     | 65E-05                   |                     |                     |                     | 938E-05         |                     |                     | 73E-05                   |                     |                     |                     |                     |                     |
| Ak | -<br>5,595<br>5E-06 | 0                   | -<br>2,280<br>2E-05 | -<br>8,027<br>7E-06      | -<br>2,117<br>2E-06 | -<br>1,777<br>3E-05 | -<br>2,090<br>8E-06 | 1,49<br>37E-06  | 1,919<br>09E-06     | 2,834<br>76E-06     | 2,736<br>09E-06          | 2,448<br>48E-05     | #NA<br>ME?          | -<br>5,595<br>5E-06 | 0                   | -<br>2,280<br>2E-05 |
| Al | 0,000<br>47144<br>1 | -<br>4,03<br>55E-05 | 0,000<br>26227<br>4 | -<br>0,000<br>14143<br>2 | 0,000<br>55279<br>8 | 4,211<br>16E-05     | 0,000<br>53004<br>1 | 9,26<br>122E-06 | 0,000<br>49069<br>2 | 0,000<br>54802<br>2 | -<br>0,000<br>21222<br>2 | 5,025<br>54E-05     | -<br>5,860<br>6E-05 | 0,000<br>47144<br>1 | -<br>4,03<br>55E-05 | 0,000<br>26227<br>4 |
| Am |                     |                     |                     |                          |                     |                     |                     |                 |                     |                     |                          |                     |                     |                     |                     |                     |
| An | 0,000<br>77470<br>7 | -<br>1,04<br>5E-05  | 0,000<br>68294<br>2 | 8,722<br>2E-05           | 0,000<br>87971<br>2 | 5,352<br>81E-05     | 0,000<br>82091<br>2 | 2,33<br>132E-05 | 0,001<br>02555      | 0,000<br>86831<br>2 | 7,738<br>34E-05          | 5,203<br>47E-05     | 0                   | 0,000<br>77470<br>7 | -<br>1,04<br>5E-05  | 0,000<br>68294<br>2 |
| AO | 2,967<br>01E-05     | -<br>4,20<br>51E-06 | 2,677<br>27E-05     | 3,242<br>79E-05          | -<br>1,483<br>7E-05 | -<br>2,194<br>1E-06 | 1,049<br>21E-05     | 4,61<br>631E-08 | 3,687<br>07E-05     | 1,361<br>09E-05     | 2,022<br>66E-05          | 4,954<br>86E-06     | 2,451<br>9E-05      | 2,967<br>01E-05     | -<br>4,20<br>51E-06 | 2,677<br>27E-05     |
| Ap | 0,000<br>86399<br>4 | -<br>1,55<br>53E-06 | 0,000<br>32353<br>2 | 3,759<br>74E-05          | 0,001<br>12558<br>8 | 3,605<br>56E-05     | 0,001<br>16590<br>9 | 3,96<br>235E-05 | 0,000<br>80737<br>1 | 0,000<br>96874<br>5 | 7,988<br>43E-05          | 9,441<br>51E-06     | 7,537<br>E-06       | 0,000<br>86399<br>4 | -<br>1,55<br>53E-06 | 0,000<br>32353<br>2 |
| Aq | 0,000<br>87676<br>5 | 3,66<br>37E-06      | 0,000<br>43183<br>3 | 2,516<br>13E-05          | 0,001<br>18645      | 4,967<br>17E-05     | 0,001<br>24634<br>2 | 3,49<br>562E-05 | 0,000<br>88882<br>1 | 0,001<br>02773<br>9 | 5,638<br>29E-05          | 3,345<br>24E-05     | -<br>2,022<br>5E-06 | 0,000<br>87676<br>5 | 3,66<br>37E-06      | 0,000<br>43183<br>3 |
| Ar | 0,000<br>45177<br>4 | 2,81<br>442E-06     | 0,000<br>23964<br>5 | 4,124<br>86E-05          | 0,000<br>63115<br>2 | 3,356<br>96E-05     | 0,000<br>61811<br>9 | 1,20<br>19E-05  | 0,000<br>50525<br>1 | 0,000<br>58941<br>6 | 4,810<br>38E-05          | -<br>7,290<br>4E-06 | -<br>2,890<br>7E-05 | 0,000<br>45177<br>4 | 2,81<br>442E-06     | 0,000<br>23964<br>5 |

|        |                     |                         |                     |                     |                     |                     |                     |                          |                     |                     |                     |                     |                    |                     |                         |                     |
|--------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| As     | -<br>2,512<br>4E-05 | -<br>5,68<br>29E-<br>06 | 7,140<br>67E-<br>05 | 7,118<br>53E-<br>05 | 3,859<br>65E-<br>06 | 1,684<br>36E-<br>05 | -<br>5,712<br>4E-06 | -<br>3,64<br>499E<br>-06 | 3,687<br>56E-<br>05 | 8,161<br>27E-<br>06 | 7,141<br>58E-<br>05 | 1,443<br>85E-<br>05 | 1,629<br>3E-05     | -<br>2,512<br>4E-05 | -<br>5,68<br>29E-<br>06 | 7,140<br>67E-<br>05 |
| At     | 0,000<br>97955<br>5 | 1,06<br>991E<br>-05     | 0,000<br>27617      | 0,000<br>14352<br>1 | 0,001<br>31061<br>1 | 5,853<br>18E-<br>05 | 0,001<br>38249<br>6 | 3,76<br>832E<br>-05      | 0,000<br>71089<br>7 | 0,001<br>06491<br>2 | 8,957<br>39E-<br>05 | 3,030<br>98E-<br>05 | 3,420<br>6E-05     | 0,000<br>97955<br>5 | 1,06<br>991E<br>-05     | 0,000<br>27617      |
| A<br>u | 0,000<br>92333<br>8 | 1,76<br>842E<br>-06     | 0,000<br>44613<br>1 | 4,867<br>38E-<br>05 | 0,001<br>16888<br>4 | 7,120<br>95E-<br>05 | 0,001<br>23253<br>9 | 2,77<br>357E<br>-05      | 0,000<br>91984<br>4 | 0,001<br>01366      | 0,000<br>13335<br>8 | 1,878<br>2E-05      | 6,446<br>E-05      | 0,000<br>92333<br>8 | 1,76<br>842E<br>-06     | 0,000<br>44613<br>1 |
| Av     | 0,000<br>89489<br>9 | -<br>1,62<br>46E-<br>06 | 0,000<br>43575<br>3 | 9,450<br>29E-<br>05 | 0,001<br>17072<br>3 | 7,787<br>31E-<br>05 | 0,001<br>24581<br>5 | 2,20<br>832E<br>-05      | 0,000<br>89069<br>8 | 0,001<br>00901<br>9 | 9,259<br>31E-<br>05 | -<br>1,336<br>8E-06 | 0,000<br>1058      | 0,000<br>89489<br>9 | -<br>1,62<br>46E-<br>06 | 0,000<br>43575<br>3 |
| a<br>w | 0,001<br>35984<br>5 | 6,44<br>218E<br>-06     | 0,000<br>51044<br>9 | 5,572<br>83E-<br>05 | --                  | 0,000<br>19987<br>2 | --                  | 9,95<br>104E<br>-05      | 0,001<br>05959<br>3 | 0,001<br>30565<br>4 | 0,000<br>22532<br>4 | 4,323<br>31E-<br>05 | 0,000<br>1203<br>6 | 0,001<br>35984<br>5 | 6,44<br>218E<br>-06     | 0,000<br>51044<br>9 |

## V Berekende omzettingsdata bij een UV-dosis van 2000 mJ/cm<sup>2</sup>

Met behulp van vergelijking [8] is aan de hand van de K-waardes uit Bijlage IV berekend wat de omzetting bij 2000 mJ/cm<sup>2</sup> is. Deze waarde is gebruikt om het effect van verschillende parameters op de afbraak van PFAS te bepalen. Uiteraard wordt bij een hogere UV-dosis een hogere, en mogelijk zelfs volledige, afbraak van PFAS bereikt, maar dan is het effect van parameters als pH en concentraties sulfiet en jodide slechter te duiden.

| serie | PFB<br>A  | PFBS  | PFDA      | PFDS           | PFHp<br>A | PFHp<br>S | PFHx<br>A | B-PFHxS<br>(som<br>vertakte<br>PFHxS-<br>isomere<br>n) # | L-<br>PFHx<br>S | PFNA      | B-PFOA<br>(som<br>vertakte<br>PFOA-<br>isomere<br>n) # | L-<br>PFO<br>A | B-PFOS<br>(som<br>vertakte<br>PFOS-<br>isomere<br>n) # | L-<br>PFOS | PFPe<br>S | PFUnD<br>A |
|-------|-----------|-------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------|------------|-----------|------------|
| a     | 7,09      | 0,34  | -2,38     | -<br>14,9<br>8 | 6,63      | -2,10     | 5,09      | 0,00                                                     | -1,20           | 2,88      | 0,00                                                   | 2,76           | 45,23                                                  | -4,68      | -1,89     | 0,61       |
| b     | 23,6<br>5 | 3,31  | 23,1<br>0 | 16,0<br>6      | 30,8<br>5 | 1,57      | 30,6<br>3 | 0,00                                                     | 1,34            | 25,9<br>0 | 0,00                                                   | 29,4<br>3      | 77,62                                                  | 2,59       | 1,80      | 12,97      |
| c     | 1,98      | -3,69 | 37,9<br>0 | 5,81           | 1,71      | -1,07     | 3,57      | 0,00                                                     | -2,56           | 15,3<br>1 | 0,00                                                   | 5,32           | 50,35                                                  | 5,27       | -5,21     | 1,43       |
| d     | 26,3<br>2 | -0,94 | 34,6<br>4 | 17,3<br>2      | 31,4<br>2 | -1,31     | 31,6<br>2 | 0,00                                                     | 0,93            | 32,2<br>3 | 0,00                                                   | 33,1<br>4      | 75,43                                                  | 4,31       | 0,91      | 0,03       |
| e     | 0,20      | 1,11  | 17,5<br>1 | 11,9<br>1      | 4,85      | -1,85     | 5,74      | 0,00                                                     | 1,37            | 7,71      | 0,00                                                   | 3,50           | 51,45                                                  | 3,58       | 0,53      | -0,65      |
| f     | 28,0<br>4 | 1,80  | 25,8<br>4 | 19,6<br>8      | 31,3<br>6 | 0,92      | 31,8<br>3 | 0,00                                                     | 1,10            | 29,6<br>6 | 0,00                                                   | 32,1<br>8      | 76,40                                                  | 1,48       | -0,40     | -11,03     |

|   |           |       |                |                |           |           |           |       |       |           |       |           |       |           |       |       |
|---|-----------|-------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-------|
| g | 41,0<br>6 | 2,32  | 43,9<br>2      | 25,6<br>0      | 49,6<br>1 | 0,32      | 50,7<br>8 | 0,00  | 4,07  | 49,0<br>6 | 0,00  | 50,7<br>5 | 75,01 | 5,56      | 5,55  | -3,55 |
| h | 62,2<br>5 | -0,62 | 35,8<br>9      | 31,3<br>7      | 70,7<br>1 | 2,20      | 69,8<br>7 | 0,00  | 2,96  | 58,6<br>5 | 0,00  | 67,2<br>2 | 0,00  | 7,69      | -6,23 | 0,00  |
| i | 11,3<br>1 | -0,31 | 20,2<br>1      | -5,30          | 12,1<br>9 | 4,54      | 8,35      | 0,00  | -1,27 | 8,36      | 0,00  | 10,4<br>7 | 0,00  | -1,73     | -0,46 | 2,89  |
| j | 9,34      | 3,03  | -<br>16,9<br>6 | 14,1<br>9      | 9,87      | 6,88      | 9,89      | 0,00  | 2,57  | 6,41      | 0,00  | 8,72      | 0,00  | 1,42      | -0,66 | 0,00  |
| k | 36,9<br>3 | 0,32  | 49,5<br>8      | 0,12           | 43,0<br>5 | -4,62     | 41,4<br>2 | 0,00  | -0,67 | 37,2<br>0 | 0,00  | 40,0<br>0 | 0,00  | 1,12      | 5,78  | 0,00  |
| L | 4,54      | -4,12 | -<br>61,5<br>8 | -<br>10,5<br>9 | 3,72      | 10,7<br>3 | 3,84      | 0,00  | -5,99 | -5,39     | 0,00  | 4,00      | 0,00  | -5,81     | -9,63 | 0,00  |
| m | 11,5<br>6 | -3,29 | 31,4<br>9      | 18,9<br>0      | 17,9<br>1 | 0,99      | 18,8<br>4 | 0,00  | -4,91 | 20,5<br>6 | 0,00  | 20,1<br>8 | 0,00  | 2,96      | 2,14  | 0,00  |
| n | -<br>0,78 | -1,80 | 12,8<br>9      | 9,26           | 0,28      | 1,85      | 0,34      | 31,86 | -0,75 | 3,29      | -3,29 | 2,06      | 10,05 | 7,97      | -2,34 | --    |
| o | 0,76      | 0,00  | 10,1<br>4      | 2,67           | -2,21     | -5,21     | -2,84     | 0,00  | -1,72 | -1,66     | 0,00  | -2,67     | 2,36  | 1,25      | -1,58 | --    |
| p | 2,55      | -0,44 | -6,53          | 6,57           | 2,43      | -3,71     | -2,09     | 0,00  | -1,14 | -4,17     | 0,00  | -4,14     | 9,34  | -5,90     | -2,19 | --    |
| q | 85,0<br>7 | 1,64  | 42,2<br>5      | 28,6<br>2      | 94,6<br>2 | 17,5<br>8 | 93,7<br>3 | 0,00  | 8,21  | 73,9<br>8 | 0,00  | 87,8<br>0 | 79,93 | 19,6<br>2 | 5,05  | --    |
| r | 78,8<br>3 | -0,78 | 50,4<br>3      | 0,41           | 87,9<br>7 | 14,3<br>5 | 85,8<br>0 | 0,00  | 4,33  | 80,1<br>7 | 0,00  | 86,4<br>1 | 80,66 | 14,9<br>1 | 2,12  | --    |
| s | 0,62      | 0,33  | 6,36           | -<br>10,3<br>1 | -2,40     | -0,42     | -0,87     | 17,33 | -0,40 | 0,58      | -0,64 | -2,35     | 7,22  | 2,66      | -3,62 | --    |

|    |       |       |       |        |       |       |       |        |       |       |      |       |      |        |       |        |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|-------|------|--------|-------|--------|
| t  | -0,20 | 1,01  | 13,07 | -12,48 | -2,02 | 3,72  | -1,72 | 2,51   | 1,25  | 5,82  | 4,16 | 1,51  | 9,85 | 7,84   | 4,17  | --     |
| u  | 0,95  | -0,29 | -5,41 | -9,33  | 1,49  | -4,96 | -0,86 | 21,97  | 0,45  | -1,26 | 1,00 | 0,27  | 2,10 | -1,73  | -1,89 | --     |
| v  | 0,67  | -0,78 | 0,30  | -2,48  | -0,12 | 2,00  | -3,10 | -48,89 | -0,28 | 0,33  | 3,41 | 2,99  | 2,73 | 0,47   | -1,25 | --     |
| w  | 61,05 | -8,41 | 40,82 | -32,69 | 66,90 | 8,08  | 65,36 | --     | 1,84  | 62,52 | --   | 66,58 | --   | -52,87 | 9,56  | -12,44 |
| x  | 78,76 | -2,11 | 74,48 | 16,01  | 82,79 | 10,15 | 80,64 | --     | 4,56  | 87,14 | --   | 82,39 | --   | 14,34  | 9,88  | --     |
| y  | 5,76  | -0,84 | 5,21  | 6,28   | -3,01 | -0,44 | 2,08  | --     | 0,01  | 7,11  | --   | 2,69  | --   | 3,96   | 0,99  | 4,79   |
| z  | 82,24 | -0,31 | 47,64 | 7,24   | 89,47 | 6,96  | 90,29 | --     | 7,62  | 80,11 | --   | 85,59 | --   | 14,77  | 1,87  | 1,50   |
| aa | 82,68 | 0,73  | 57,84 | 4,91   | 90,68 | 9,46  | 91,73 | --     | 6,75  | 83,10 | --   | 87,20 | --   | 10,66  | 6,47  | -0,41  |
| ab | 59,49 | 0,56  | 38,08 | 7,92   | 71,70 | 6,49  | 70,95 | --     | 2,38  | 63,60 | --   | 69,24 | --   | 9,17   | -1,47 | -5,95  |
| ac | -5,15 | -1,14 | 13,31 | 13,27  | 0,77  | 3,31  | -1,15 | --     | -0,73 | 7,11  | --   | 1,62  | --   | 13,31  | 2,85  | 3,21   |
| ad | 85,90 | 2,12  | 42,44 | 24,95  | 92,73 | 11,05 | 93,70 | --     | 7,26  | 75,87 | --   | 88,11 | --   | 16,40  | 5,88  | 6,61   |
| ae | 84,22 | 0,35  | 59,03 | 9,28   | 90,35 | 13,27 | 91,50 | --     | 5,40  | 84,11 | --   | 86,83 | --   | 23,41  | 3,69  | 12,10  |
| af | 83,30 | -0,33 | 58,17 | 17,22  | 90,38 | 14,42 | 91,72 | --     | 4,32  | 83,16 | --   | 86,71 | --   | 16,91  | -0,27 | 19,07  |
| ag | 93,41 | 1,28  | 63,97 | 10,55  | 93,31 | 32,95 | 93,21 | --     | 18,05 | 87,99 | --   | 92,66 | --   | 36,28  | 8,28  | 21,39  |

|    |           |            |            |                |           |            |           |        |            |            |       |            |         |                |            |        |
|----|-----------|------------|------------|----------------|-----------|------------|-----------|--------|------------|------------|-------|------------|---------|----------------|------------|--------|
| ah | 98,4<br>4 | 100,<br>70 | 114,<br>93 | 129,<br>73     | 98,6<br>1 | 109,<br>54 | 98,3<br>0 | --     | 102,<br>62 | 105,<br>61 | --    | 102,<br>68 | --      | 115,<br>32     | 101,<br>74 | 122,93 |
| ai | -<br>7,28 | 0,24       | 15,0<br>7  | 0,75           | 0,43      | 4,31       | -5,04     | -11,25 | 1,27       | 6,09       | 26,86 | 4,50       | -128,49 | 4,01           | 12,5<br>5  | -14,35 |
| aj | 3,09      | 0,70       | 5,97       | -7,39          | 6,42      | 0,31       | 6,09      |        | -2,92      | 9,20       |       | 8,86       |         | -2,18          | 14,0<br>7  | #NAME? |
| ak | -<br>1,13 | 0,00       | -4,67      | -1,62          | -0,42     | -3,62      | -0,42     |        | 0,30       | 0,38       |       | 0,57       |         | 0,55           | 4,78       | #NAME? |
| aL | 61,0<br>5 | -8,41      | 40,8<br>2  | -<br>32,6<br>9 | 66,9<br>0 | 8,08       | 65,3<br>6 |        | 1,84       | 62,5<br>2  |       | 66,5<br>8  |         | -<br>52,8<br>7 | 9,56       | -12,44 |
| am | 78,7<br>6 | -2,11      | 74,4<br>8  | 16,0<br>1      | 82,7<br>9 | 10,1<br>5  | 80,6<br>4 |        | 4,56       | 87,1<br>4  |       | 82,3<br>9  |         | 14,3<br>4      | 9,88       | 0,00   |
| an | 5,76      | -0,84      | 5,21       | 6,28           | -3,01     | -0,44      | 2,08      |        | 0,01       | 7,11       |       | 2,69       |         | 3,96           | 0,99       | 4,79   |
| ao | 82,2<br>4 | -0,31      | 47,6<br>4  | 7,24           | 89,4<br>7 | 6,96       | 90,2<br>9 |        | 7,62       | 80,1<br>1  |       | 85,5<br>9  |         | 14,7<br>7      | 1,87       | 1,50   |
| ap | 82,6<br>8 | 0,73       | 57,8<br>4  | 4,91           | 90,6<br>8 | 9,46       | 91,7<br>3 |        | 6,75       | 83,1<br>0  |       | 87,2<br>0  |         | 10,6<br>6      | 6,47       | -0,41  |
| aq | 59,4<br>9 | 0,56       | 38,0<br>8  | 7,92           | 71,7<br>0 | 6,49       | 70,9<br>5 |        | 2,38       | 63,6<br>0  |       | 69,2<br>4  |         | 9,17           | -1,47      | -5,95  |
| ar | -<br>5,15 | -1,14      | 13,3<br>1  | 13,2<br>7      | 0,77      | 3,31       | -1,15     |        | -0,73      | 7,11       |       | 1,62       |         | 13,3<br>1      | 2,85       | 3,21   |
| as | 85,9<br>0 | 2,12       | 42,4<br>4  | 24,9<br>5      | 92,7<br>3 | 11,0<br>5  | 93,7<br>0 |        | 7,26       | 75,8<br>7  |       | 88,1<br>1  |         | 16,4<br>0      | 5,88       | 6,61   |
| at | 84,2<br>2 | 0,35       | 59,0<br>3  | 9,28           | 90,3<br>5 | 13,2<br>7  | 91,5<br>0 |        | 5,40       | 84,1<br>1  |       | 86,8<br>3  |         | 23,4<br>1      | 3,69       | 12,10  |
| au | 83,3<br>0 | -0,33      | 58,1<br>7  | 17,2<br>2      | 90,3<br>8 | 14,4<br>2  | 91,7<br>2 |        | 4,32       | 83,1<br>6  |       | 86,7<br>1  |         | 16,9<br>1      | -0,27      | 19,07  |

|    |           |      |           |           |       |           |       |  |           |           |  |           |  |           |      |       |
|----|-----------|------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|--|-----------|-----------|--|-----------|--|-----------|------|-------|
| av | 93,4<br>1 | 1,28 | 63,9<br>7 | 10,5<br>5 | --    | 32,9<br>5 | --    |  | 18,0<br>5 | 87,9<br>9 |  | 92,6<br>6 |  | 36,2<br>8 | 8,28 | 21,39 |
| aw | -<br>1,58 | 0,69 | 12,9<br>9 | 22,9<br>2 | -1,41 | 8,71      | -1,73 |  | 2,55      | 5,32      |  | 2,61      |  | 13,2<br>9 | 1,71 | 18,65 |



## VI Berekende omzettingsdata bij een UV-dosis van 3000 mJ/cm<sup>2</sup>

Met behulp van vergelijking [8] is aan de hand van de K-waardes uit Bijlage IV berekend wat de omzetting bij 3000 mJ/cm<sup>2</sup> is. Dit is de afbraak die behaald is bij deze experimenten.

Tabel 11: afbraakpercentages bij een dosis van 3000 mJ/cm<sup>2</sup> in concentraat bij pH 12. De codering van de serie verwijst naar een uitgebreide set data, beschreven in BTO 2024-001.

| Serie (zie ook BTO 2024-001)                                | PFAS                                       | Afbraak bij 3000 mJ/cm <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| n (100 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 200 mg KI / L) |                                            |                                     |
|                                                             | PFBA                                       | 0                                   |
|                                                             | PFBS                                       | 0                                   |
|                                                             | PFDA                                       | 18,69                               |
|                                                             | PFDS                                       | 13,56                               |
|                                                             | PFHpA                                      | 0,42                                |
|                                                             | PFHpS                                      | 2,77                                |
|                                                             | PFHxA                                      | 0,51                                |
|                                                             | B-PFHxS (som vertakte<br>PFHxS-isomeren) # | 43,79                               |
|                                                             | L-PFHxS                                    | 0                                   |
|                                                             | PFNA                                       | 4,89                                |
|                                                             | B-PFOA (som vertakte<br>PFOA-isomeren) #   | 0                                   |
|                                                             | L-PFOA                                     | 3,08                                |
|                                                             | B-PFOS (som vertakte<br>PFOS-isomeren) #   | 14,70                               |
|                                                             | L-PFOS                                     | 11,72                               |
|                                                             | PFPeS                                      | 0                                   |

|                                                              |                                         |       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|
| t (50 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 200 mg KI / L)   |                                         |       |
|                                                              | PFBA                                    | 0     |
|                                                              | PFBS                                    | 1,51  |
|                                                              | PFDA                                    | 18,94 |
|                                                              | PFDS                                    | 0     |
|                                                              | PFHpA                                   | 0     |
|                                                              | PFHpS                                   | 5,52  |
|                                                              | PFHxA                                   | 0     |
|                                                              | B-PFHxS (som vertakte PFHxS-isomeren) # | 3,74  |
|                                                              | L-PFHxS                                 | 1,86  |
|                                                              | PFNA                                    | 8,60  |
|                                                              | B-PFOA (som vertakte PFOA-isomeren) #   | 6,16  |
|                                                              | L-PFOA                                  | 2,26  |
|                                                              | B-PFOS (som vertakte PFOS-isomeren) #   | 14,39 |
|                                                              | L-PFOS                                  | 11,53 |
|                                                              | PFPeS                                   | 6,19  |
| ac (300 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 100 mg KI / L) |                                         |       |
|                                                              | PFBA                                    | 0     |
|                                                              | PFBS                                    | 0     |
|                                                              | PFDA                                    | 19,28 |
|                                                              | PFDS                                    | 19,23 |
|                                                              | PFHpA                                   | 1,15  |
|                                                              | PFHpS                                   | 4,93  |

|                                                              |                                         |       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|
|                                                              | PFHxA                                   | 0     |
|                                                              | B-PFHxS (som vertakte PFHxS-isomeren) # | --    |
|                                                              | L-PFHxS                                 | 0     |
|                                                              | PFNA                                    | 10,47 |
|                                                              | B-PFOA (som vertakte PFOA-isomeren) #   | --    |
|                                                              | L-PFOA                                  | 2,42  |
|                                                              | B-PFOS (som vertakte PFOS-isomeren) #   | --    |
|                                                              | L-PFOS                                  | 19,29 |
|                                                              | PFPeS                                   | 4,24  |
| ah (500 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 200 mg KI / L) |                                         |       |
|                                                              | PFBA                                    | 0     |
|                                                              | PFBS                                    | 1,04  |
|                                                              | PFDA                                    | 18,84 |
|                                                              | PFDS                                    | 32,33 |
|                                                              | PFHpA                                   | 0     |
|                                                              | PFHpS                                   | 12,78 |
|                                                              | PFHxA                                   | 0     |
|                                                              | B-PFHxS (som vertakte PFHxS-isomeren) # | --    |
|                                                              | L-PFHxS                                 | 3,80  |
|                                                              | PFNA                                    | 7,87  |
|                                                              | B-PFOA (som vertakte PFOA-isomeren) #   | --    |
|                                                              | L-PFOA                                  | 3,89  |

|                                                              |                                         |       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|
|                                                              | B-PFOS (som vertakte PFOS-isomeren) #   | --    |
|                                                              | L-PFOS                                  | 19,25 |
|                                                              | PFPeS                                   | 2,56  |
| ar (300 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 100 mg KI / L) |                                         |       |
|                                                              | PFBA                                    | 74,21 |
|                                                              | PFBS                                    | 0,84  |
|                                                              | PFDA                                    | 51,27 |
|                                                              | PFDS                                    | 11,64 |
|                                                              | PFHpA                                   | 84,94 |
|                                                              | PFHpS                                   | 9,58  |
|                                                              | PFHxA                                   | 84,34 |
|                                                              | B-PFHxS (som vertakte PFHxS-isomeren) # | 3,54  |
|                                                              | L-PFHxS                                 | 78,04 |
|                                                              | PFNA                                    | 82,94 |
|                                                              | B-PFOA (som vertakte PFOA-isomeren) #   | 13,44 |
|                                                              | L-PFOA                                  | 0     |
|                                                              | B-PFOS (som vertakte PFOS-isomeren) #   | 0     |
|                                                              | L-PFOS                                  | 74,21 |
|                                                              | PFPeS                                   | 0,84  |
| av (500 mg Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> en 200 mg KI / L) |                                         |       |
|                                                              | PFBA                                    | 93,18 |
|                                                              | PFBS                                    | 0     |
|                                                              | PFDA                                    | 72,94 |

|  |                                            |       |
|--|--------------------------------------------|-------|
|  | PFDS                                       | 24,69 |
|  | PFHpA                                      | 97,02 |
|  | PFHpS                                      | 20,83 |
|  | PFHxA                                      | 97,62 |
|  | B-PFHxS (som vertakte<br>PFHxS-isomeren) # | 6,41  |
|  | L-PFHxS                                    | 93,09 |
|  | PFNA                                       | 95,15 |
|  | B-PFOA (som vertakte<br>PFOA-isomeren) #   | 24,25 |
|  | L-PFOA                                     | 0     |
|  | B-PFOS (som vertakte<br>PFOS-isomeren) #   | 27,20 |
|  | L-PFOS                                     | 93,18 |
|  | PFPeS                                      | 0     |

## VII Data experimenten anodische oxidatie

Tabel 12: instelling voor experimenten met anodische oxidatie

| Datum     | Tijd  | Eindtijd | Tijd (h) | Monster         | I (A) | U (V)     | U (V) | R (ohm) | A (cm <sup>2</sup> ) | I (mA/cm <sup>2</sup> ) | T (gr C) | T na (gr C) | T verschil | pH   | EGV (mS/cm) | Redox (mV) |
|-----------|-------|----------|----------|-----------------|-------|-----------|-------|---------|----------------------|-------------------------|----------|-------------|------------|------|-------------|------------|
| 26-4-2023 | 07:30 | 11:30    | 4        | Blanco apparaat | 0     | 0         | 0     | 0       | 31,2                 | 0,00                    | 18,3     | 19          | 0,7        | 8,04 | 3,58        | 260        |
|           | nvt   | nvt      | 0        | Blanco 1        | 0     | 0         | 0     | 0       | 31,2                 | 0,00                    | 18,3     | nvt         | #VALUE!    | 8,01 | 3,58        | 283        |
|           | nvt   | nvt      | 0        | Blanco 2        | 0     | 0         | 0     | 0       | 31,2                 | 0,00                    | 18,3     | nvt         | #VALUE!    | 8,03 | 3,58        | 249        |
|           | 11:30 | 13:30    | 2        | Exp 1 0,39-2a   | 0,391 | 7,58      | 7,58  | 19,4    | 31,2                 | 12,53                   | 18,8     | 22,5        | 3,7        | 6,03 | 2,67        | 859        |
|           | 13:35 | 14:35    | 1        | Exp 2 0,39-1a   | 0,39  | 8,02      | 8,02  | 20,6    | 31,2                 | 12,50                   | 18,8     | 21,5        | 2,7        | 7,14 | 3,22        | 780        |
| 1-5-2023  | 07:25 | 11:25    | 4        | Exp 3 0,39-4a   | 0,39  | 7,38      | 7,38  | 18,9    | 31,2                 | 12,50                   | 18,8     | 23,3        | 4,5        | 5,32 | 2,58        | 880        |
|           | 11:30 | 14:30    | 3        | Exp 4 0,39-3a   | 0,391 | 7,31      | 7,31  | 18,7    | 31,2                 | 12,53                   | 18,8     | 23,2        | 4,4        | 6,65 | 2,76        | 802        |
| 3-5-2023  | 07:32 | 11:32    | 4        | Exp 5 0,39-4b   | 0,39  | 9         | 9     | 23,1    | 31,2                 | 12,50                   | 18,7     | 23,2        | 4,5        | 4,05 | 2,54        | 969        |
|           | 11:35 | 13:35    | 2        | Exp 6 0,39-2b   | 0,39  | 8,28      | 8,28  | 21,2    | 31,2                 | 12,50                   | 18,8     | 23,2        | 4,4        | 7,05 | 2,94        | 783        |
|           | 13:40 | 14:40    | 1        | Exp 7 0,39-1b   | 0,39  | 8,72      | 8,72  | 22,4    | 31,2                 | 12,50                   | 18,8     | 22          | 3,2        | 7,04 | 3,09        | 780        |
| 4-5-2023  | 07:35 | 10:35    | 3        | Exp 8 0,39-3b   | 0,39  | 10,53     | 10,53 | 27,0    | 31,2                 | 12,50                   | 18,8     | 23,8        | 5          | 5,8  | 2,64        | 885        |
|           | 10:45 | 14:45    | 4        | Exp 9 0,78-4a   | 0,78  | 12,23     | 12,23 | 15,7    | 31,2                 | 25,00                   | 18,8     | 29,8        | 11         | 6,73 | 2,79        | 784        |
| 8-5-2023  | 07:30 | 11:30    | 4        | Exp 10 0,78-4b  | 0,784 | 14,5-15,3 | 14,9  | 19,0    | 31,2                 | 25,13                   | 18,8     | 31,9        | 13,1       | 3,24 | 2,68        | 887        |
|           | 11:35 | 14:35    | 3        | Exp 11 0,78-3a  | 0,78  | 12,1-14,1 | 13,1  | 16,8    | 31,2                 | 25,00                   | 18,8     | 30,6        | 11,8       | 7,01 | 2,78        | 757        |
| 10-5-2023 | 08:00 | 11:00    | 3        | Exp 12 0,78-3b  | 0,78  | 13,4      | 13,4  | 17,2    | 31,2                 | 25,00                   | 18,9     | 28,6        | 9,7        | 6,5  | 2,65        | 814        |
|           | 11:05 | 14:05    | 2        | Exp 13 0,78-2a  | 0,782 | 11,7-12   | 11,9  | 15,2    | 31,2                 | 25,06                   | 18,9     | 28,2        | 9,3        | 6,98 | 2,81        | 797        |
|           | 13:10 | 14:10    | 1        | Exp 14 0,78-1a  | 0,78  | 11,1      | 11,1  | 14,2    | 31,2                 | 25,00                   | 18,9     | 25,4        | 6,5        | 7,11 | 3,04        | 789        |
| 12-5-2023 | 07:40 | 08:40    | 1        | Exp 15 0,78-1b  | 0,783 | 15,1      | 15,1  | 19,3    | 31,2                 | 25,10                   | 18,8     | 25,6        | 6,8        | 6,68 | 2,9         | 748        |
|           | 08:45 | 10:45    | 2        | Exp 16 0,78-2b  | 0,785 | 13,3-12,4 | 12,9  | 16,4    | 31,2                 | 25,16                   | 18,8     | 28,2        | 9,4        | 6,8  | 2,79        | 749        |
|           | 07:45 |          | 0        | Blanco 3        | 0     | 0         | 0     | 0       | 31,2                 | 0,00                    |          |             |            |      |             |            |

Tabel 13: resultaten experimenten anodische oxidatie

|                                                |                                                            |     | 184070                 | 184071                 | 184072                 | 184073                 | 184074                 | 184075                 |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                |                                                            |     | LMC-184076-<br>PROCESW | LMC-184077-<br>PROCESW | LMC-184078-<br>PROCESW | LMC-184079-<br>PROCESW | LMC-184080-<br>PROCESW | LMC-184081-<br>PROCESW |
|                                                |                                                            |     | 11-05-2023             | 10-05-2023             | 10-05-2023             | 10-05-2023             | 11-05-2023             | 11-05-2023             |
|                                                |                                                            |     | Blanco 3               | Exp. 12                | Exp. 13                | Exp. 14                | Exp. 15                | Exp. 16                |
| PFAS (C18)                                     | Rapportagegrens bij aangeleverde<br>monsterfles van 250 ml |     |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| PFBA                                           | ng/l                                                       | 1,0 | 69                     | 71                     | 82                     | 79                     | 78                     | 75                     |
| PFBS                                           | ng/l                                                       | 1,0 | 70                     | 66                     | 67                     | 69                     | 71                     | 68                     |
| PFHpA                                          | ng/l                                                       | 1,0 | 61                     | 20                     | 28                     | 52                     | 48                     | 22                     |
| PFHpS                                          | ng/l                                                       | 1,0 | 45                     | 4,6                    | 4,8                    | 16                     | 13                     | 3,9                    |
| PFHxA                                          | ng/l                                                       | 1,0 | 72                     | 53                     | 54                     | 67                     | 68                     | 55                     |
| B-PFHxS (som<br>vertakte PFHxS-<br>isomeren) # | ng/l                                                       | 1,0 | 1,7                    | <1,0                   | <1,0                   | 1,6                    | 1,6                    | <1,0                   |
| L-PFHxS                                        | ng/l                                                       | 1,0 | 57                     | 16                     | 17                     | 41                     | 37                     | 13                     |
| PFNA                                           | ng/l                                                       | 1,0 | 49                     | 5,4                    | 4,5                    | 14                     | 11                     | 4,5                    |
| B-PFOA (som<br>vertakte PFOA-<br>isomeren) #   | ng/l                                                       | 1,0 | 2,5                    | <1,0                   | <1,0                   | 1,4                    | 1,4                    | <1,0                   |
| L-PFOA                                         | ng/l                                                       | 1,0 | 70                     | 6,7                    | 7,9                    | 32                     | 26                     | 5,2                    |
| B-PFOS (som<br>vertakte PFOS-<br>isomeren) #   | ng/l                                                       | 1,0 | 13                     | 1,6                    | 1,5                    | 3,7                    | 3,2                    | 1,4                    |
| L-PFOS                                         | ng/l                                                       | 1,0 | 46                     | 6,4                    | 5,4                    | 11                     | 9,6                    | 5,3                    |
| PFPeS                                          | ng/l                                                       | 1,0 | 87                     | 51                     | 51                     | 68                     | 70                     | 50                     |
| PFDA                                           | ng/l                                                       | 1,0 | 21                     | 3,5                    | 3,1                    | 4,8                    | 3,9                    | 3,2                    |

|        |      |     |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| PFUnDA | ng/l | 1,0 | 1,9  | 0,54 | 0,61 | 0,43 | <1,0 | 0,44 |
| PFDODA | ng/l | 1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 | <1,0 |