NOTITIE

Onderwerp	ZZS in CO_2 voor kassengebied
Project	PCC AEB Amsterdam
Opdrachtgever	AEB Amsterdam
Projectcode	134371
Status	Definitief
Datum	27 februari 2023
Referentie	134371/23-003.647
Auteur(s)	[redacted]
Gecontroleerd door	
Goedgekeurd door	
Paraaf	
Bijlage(n)	I Rekenschema II Samenstelling PFAS in gereinigd rookgas
Aan	AEB
Kopie	Witteveen+Bos [redacted]

1 INLEIDING

AEB Amsterdam exploiteert op haar terrein twee afvalverbrandingsinstallaties: de Afvalenergiecentrale (AEC, uit 1993) met vier verbrandingslijnen en de Hoogrendement Centrale (HRC, uit 2007) met twee lijnen. AEB is voornemens CO_2 af te vangen uit de rookgassen van al deze zes lijnen. De afgevangen CO_2 kan via pijpleidingen getransporteerd worden naar de Noordzee. Een optie is om CO_2 ook af te zetten in de glastuinbouw. In het kader van de vergunningprocedures voor de afvang- en transportinstallaties heeft de Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied (ODNZKG) aan AEB gevraagd om inzichtelijk te maken dat door gebruik van CO_2 in kassen de arbeidsveiligheid en voedselveiligheid niet in het geding zijn, waarbij speciale aandacht dient uit te gaan naar PCDD/F (dioxines), zware metalen en PFAS.

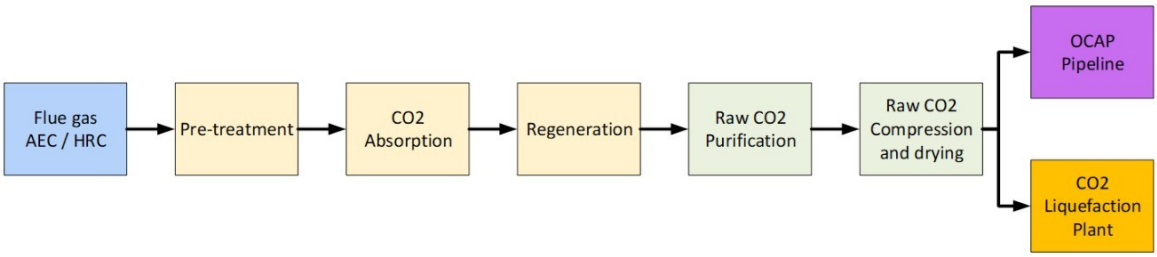
In deze notitie wordt een inschatting gegeven van de mogelijke concentraties en vrachten van de genoemde schadelijke stoffen in de afgevangen CO_2. Op basis daarvan wordt beoordeeld of grenswaarden in de kassen voor deze stoffen niet worden overschreden. Daarnaast wordt beoordeeld of het voldoende aannemelijk is dat de normen voor inname van deze stoffen bij mensen niet worden overschreden, bijvoorbeeld indien een persoon uitsluitend groente uit deze kassen zou nuttigen.

2 PCC

De CO_2-verwijdering uit de rookgassen[1] vindt plaats in de zogenoemde 'Post Combustion Capture' (PCC) installatie. Een gedetailleerde beschrijving is opgenomen in het document '*M01 AEB_Toelichting aanvraag Wabo_Wtw CO2*' van AEB. Volgend blokschema geeft de globale stappen weer.

[1] In totaal wordt circa 38 % van de rookgassen behandeld.

Afbeelding 2.1 Blokschema PCC



Bovenstaand schema geldt voor de rookgassen van alle zes lijnen van AEB. De pre-treatment van de rookgassen uit de rookgasreiniging (RGR) bestaat uit een koeler/condensor (direct contact cooling: DCC) en een rookgas blower (compressor). Na de drukverhoging komt het rookgas in de CO_2-absorptiekolom met een amine-oplossing als wasvloeistof. De wasvloeistof neemt CO_2 op en wordt continu over de kolom gerecirculeerd via een koeler. Daarnaast wordt de wasvloeistof vanuit de bodem van de absorber gerecirculeerd over een 'reclaiming unit', die met name zware metalen vergaand verwijdert. Vanuit de bodem van de kolom wordt de wasvloeistof afgevoerd naar de CO_2-stripper, waar de CO_2 met stoom van de amine wordt verwijderd. Het CO_2/stoom-afgas wordt vervolgens, via een water-scrubber (voor verwijdering van oplosbare verontreinigingen, zoals amines en ammonia) naar een droger/compressor gevoerd en tenslotte naar een deeltjesfilter voor verwijdering van eventueel stof uit de absorber. De wasvloeistof uit de stripper wordt terug naar de absorptiekolom gepompt, waarbij een deel via een mechanisch filter en aansluitend koolfilter wordt geleid om vaste deeltjes en verontreinigingen te verwijderen.

Via de OCAP-pijpleiding kan het gekoelde en watervrije gas naar kassengebieden worden afgevoerd.[1] De maximale capaciteit van de afgevangen en afgevoerde CO_2 bedraagt 60 ton/uur, bij een bedrijfstijd van 8.450 uur per jaar.

3 STOFFEN

De te onderzoeken stoffen zijn:
1 dioxines (PCDD/F);[2]
2 PFAS;
3 zware metalen (Hg, Cd, Ni, Pb, Tl).

In onderstaande tabel staan de van toepassing zijnde en beschikbare normen voor langdurige inname (als TWI: toelaatbare wekelijkse inname), voor gehalte in voeding en voor blootstelling (ARBO).

[1] Een optie is ook dat een deel vloeibaar wordt gemaakt (extra compressie en ontvochtiging) voor afvoer per as.

[2] Uitgedrukt in TEQ = Toxiciteits EQuivalenten. Deze eenheid is geïntroduceerd om de risicobeoordeling van mengsels van giftige stoffen te vergemakkelijken. De TEQ is in dit geval de gewogen concentratie van polychloordibenzo-p-dioxinen (PCDD's) en polychloordibenzofuranen (PCDF's) (verder aangeduid als 'dioxinen') op basis van hun specifieke Toxiciteits Equivalentie Factor (TEF). De TEF is een weegfactor voor de relatieve giftigheid ten opzichte van die van 2,3,7,8-TCDD, de meest giftige dioxine.

Tabel 3.1 Overzicht beschikbare normen voor inname (TWI), gehalte in voeding en ARBO blootstelling (TGG-8h)

	TWI toelaatbare wekelijkse inname	**ML** maximum level in levensmiddelen	**TGG-8h** tijdgewogen gemiddelde over 8 uur
Dioxines	2 pg TEQ/kg lg/week *) **)		10 pg/m³ ***)
PFAS	4,4 ng/kg lg/week ****)		2 µg/m³ ******)
Cd		0,05 mg/kg *****)	1 µg/m³
Pb		0,1 mg/kg *****)	15 µg/m³
Ni			100 µg/m³
Hg	1,6 µg/kg lg/week *****)		20 µg/m³

*) kg lg = kg lichaamsgewicht
**) EFSA Journal 2018;16(11) :5333 (EFSA = European Food Safety Authority)
***) Betrokken op 2,3,7,8-TCDD (norm Zwitserland; ref. data SER)
****) https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake.
*****) Publicatieblad van de Europese Unie L 364/19
******) NVvA Nieuwsblad(32) 2021-1 (worst case waarde uit de range 0,002 - 35 µg/m³).

4 SAMENSTELLING EN HOEVEELHEID ROOKGAS

In onderstaande tabel zijn de gemiddelde gemeten concentraties over 2020 en 2021 in de rookgassen na de rookgasreiniging (RGR) van de AEC en HRC weergegeven, conform opgave van AEB.

Tabel 4.1 Gemiddelde concentraties in gereinigde rookgassen AEC en HRC

	Dioxine[1] [ng TEQ/m³$_o$ (11 %)]	**PFAS** [ng/Nm³ (11 %)]	**Som Cd/Ni/Tl/Pb** [µg/m³$_o$ (11 %)]	**Hg** [µg/m³$_o$ (11 %)]
AEC	0,04	6,3	7,0	0,35
HRC	< 0,01	2,1	0,7	0,01

Zoals eerder vermeld wordt circa 38 % van de gereinigde rookgassen afgevoerd via de PCC. In onderstaande tabel zijn de betreffende afgevoerde debieten, alsmede de op basis van de hierboven gegeven concentraties berekende vrachten van de stoffen weergegeven. De hiermee gewonnen en afgevoerde CO_2 bedraagt 60.000 kg/uur.

[1] De AEC en HRC voldoen aan de emissiegrenswaarde (daggemiddeld 0,05 ng TEQ/m³) voor dioxines (PCDD/F) uit de vergunning. Voor PFAS zijn geen emissiegrenswaarden gesteld; de zware metalen voldoen ruim aan de vergunning.

Tabel 4.2 Rookgasdebieten en stofvrachten die afgevoerd worden via de PCC

	Debiet [m^3_o/uur (11 %)]	Dioxine [ng TEQ/uur]	PFAS [ng/uur]	Som Cd/Ni/Tl/Pb [mg/uur]	Hg [mg/uur]
AEC	264.506	10.580	1.666.385	1.851	92
HRC	176.434	< 1.764	361.690	117	1
totaal	440.940	12.345	2.028.075	1.968	93

5 SAMENSTELLING GEPRODUCEERDE CO_2

De uiteindelijke samenstelling van de CO_2 wordt bepaald door de mate waarin de stoffen in de verschillende processtappen in de PCC worden verwijderd en hoeveel in de CO_2-absorber door de amine-wasvloeistof wordt opgenomen en vervolgens weer (met de CO_2) wordt uitgestript.

Over het gedrag van de verschillende stoffen bij de verschillende procesonderdelen is nog weinig bekend vanwege de beperkte praktijktoepassingen en -meetgegevens. Een recent overzicht en analyse is gegeven door RIVM[1] dat met name is gericht op PFAS, maar dat ook enige informatie bevat over andere stoffen en algemenere (verwijderings)mechanismen in de verschillende procesonderdelen. Deze studie (hierna: RIVM 2021) vormt voor onderstaande analyse de voornaamste basis.

Voor de verwijdering/opname van de stoffen spelen de volgende processen/installaties een rol, welke aansluitend worden besproken:
- pre-treatment koeler/condensor (DCC);
- opname in CO_2 absorber-kolom;
- 'reclaiming unit' in recirculatie amine-wasvloeistof absorber;
- CO_2 stripper;
- koolfilter in stripper retour amine-wasvloeistof;
- dryer, water-scrubber en stoffilter na stripper.

Pre-treatment koeler/condenser (DCC)

In deze voorbehandeling (DCC = direct contact cooler) wordt het rookgas gekoeld naar maximaal circa 40 °C en tegelijkertijd gewassen. Verlaging van de temperatuur verbetert ook de adsorptie van CO_2 in de volgende stap.

Door wassing/condensatie zal in zekere mate (fijn) stof verwijderd worden. Dit kan met name relevant zijn voor dioxine (wat hoofdzakelijk stofgebonden aanwezig is) en stofgebonden zware metalen. In RIVM 2021 wordt vermeld dat bij metingen van stof een afvangefficiëntie van ongeveer 40-50 % werd gevonden in de gecombineerde rookgaskoeler en DCC-toren (en ongeveer 40-60 % in de CO_2-absorber; zie hierna).

Het effect van deze pre-treatment op de aanwezigheid van PFAS is volgens RIVM 2021 lastig na te gaan. Gezien de verwachte lage concentraties wordt condensatie niet of nauwelijks verwacht.[2] Het is wel mogelijk dat PFAS adsorberen aan de koude oppervlakken van apparatuur en leidingen of aan het gecondenseerde water of waterdruppels en daar eventueel in oplossen.

---

[1] Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. RIVM report 2021-0143.
Notitie PFAS in CO2. Kenmerk DMG-2021-0037. RIVM. 2 juli 2021.

[2] Indicatieve metingen van AEB van PFAS in de gereinigde rookgassen lijken dit te bevestigen. In afgevangen condens in de peltier-koeler werd (vrijwel) geen PFAS gedetecteerd.

Op basis van het bovenstaande wordt voor de onderhavige berekeningen (conservatief) aangenomen dat in de DCC 10 % van dioxine en zware metalen en 0 % PFAS en (vluchtig) kwik wordt verwijderd.[1]

CO_2 absorber-kolom

In de absorber-kolom worden de (voorbehandelde) rookgassen door een oplossing van mono-ethanolamine (MEA) in water geleid waarin het CO_2 wordt geabsorbeerd. Algemeen geldt (RIVM 2021) dat verbindingen met een hoge lucht-water partitiecoëfficiënt niet of slechts beperkt in de absorptievloeistof worden opgenomen (en dus ook niet in de gewonnen CO_2 stroom terechtkomen). Daarnaast is eerder opgemerkt dat afvangen van (fijn) stof bij metingen werd aangetoond.

Voor dioxines en zware metalen geldt dat deze grotendeels stofgebonden aanwezig kunnen zijn. Enige mate van stofverwijdering in de absorptiekolom is, zoals aangegeven, volgens RIVM 2021 te verwachten. Voor het overige is het niet aannemelijk dat gasvormig dioxine of zware metalen (kwik) door amine-vloeistof in relevante mate geabsorbeerd zullen worden.

De RIVM studie gaat uitgebreid in op PFAS, en concludeert dat van de beschouwde stoffen de verwachting is dat de meeste PFAS niet of nauwelijks in de gewonnen CO_2 terecht zullen komen. De PFAS'en met de grootste kans om in de CO_2 terecht te komen zijn niet-dissociërende stoffen met een polair karakter, zoals fluortelomeeralcoholen met een korte perfluorketen en de groep van gesubstitueerde perfluorsulfonamido-ethanolen (MeFASE's en EtFASE's). Uit de beschikbare meetgegevens van AEB van PFAS na de rookgasreiniging, wordt geconcludeerd dat alle categorieën PFAS kunnen voorkomen (zie bijlage II). Op basis van de kwalificaties van RIVM 2021 zou globaal een 50/50 verdeling en opname geconcludeerd kunnen worden. Gekozen is (conservatief) voor een opname in de amine/CO_2-oplossing van 75 % van de PFAS.

Op basis van het bovenstaande wordt voor de onderhavige berekeningen (conservatief) aangenomen dat 50 % van dioxine en zware metalen en 75 % van de PFAS wordt opgenomen in de amine stroom en dus mee gaat naar de CO_2 stripper.

'Reclaiming unit' in recirculatie amine-wasvloeistof

Vanuit de bodem van de absorber-kolom wordt aminevloeistof gerecirculeerd over de 'reclaiming unit'. Deze is specifiek bedoeld om zware metalen uit de vloeistof te verwijderen en bevat onder meer een filterpakket. De beoogde verwijdering van zware metalen is tenminste 80 %; voor de onderhavige berekeningen wordt conservatief uitgegaan van 50 %. Ook (stofgebonden) dioxine zal daarmee verwijderd worden en eventueel PFAS; hiervoor wordt (conservatief) 10 %, respectievelijk 0 % aangenomen.

CO_2 stripper

De aan de MEA gebonden CO_2 wordt in de stripper weer uit de vloeistof vrijgemaakt door te verhitten met stoom tot ongeveer 120 °C. Op deze wijze wordt ongeveer 90 % van de CO_2 uit de rookgassen gehaald. In principe zullen alle in water opgeloste en niet gedissocieerde (en niet met amine gereageerde) verbindingen ook weer grotendeels uit de vloeistof gestript worden en in de gewonnen CO_2 stroom terechtkomen.

De amine-vloeistof circuleert zowel over de kolom als over de absorber. In laatst genoemde terugvoer bevindt zich een deeltjesfilter en koolfilter, waarmee een verwijdering van opgebouwde verontreinigingen plaatsvindt. Het is aannemelijk dat hier ook aanwezige dioxines, PFAS en zware metalen mee verwijderd zullen worden. Aangenomen (conservatief) wordt dat 5 % van de verontreinigingen via het koolfilter uit het systeem wordt verwijderd, waardoor uiteindelijk 95 % van de onderhavige stoffen uit de stripper vrijkomt met de gewonnen CO_2 stroom (en).

---

[1] Voor zware metalen, en met name kwik, is dit ook conservatief omdat RIVM 2010 vermeldt: *'According to Koornneef (2008), mercury and other heavy metals may be partially removed in the CO2 capture process. He reported that mercury is found in the MEA reclaimer bottoms. For indicative purposes he assumed a removal efficiency of 50 %.'*

Koolfilter in stripper retour amine-wasvloeistof

Zoals hiervoor aangegeven, wordt de retourstroom van de aminevloeistof uit de stripper naar de absorber steeds (deels) via een koolfilter geleid. Beschouwd op de totale vracht aan stoffen die in de vloeistof naar de stripper is geleid, wordt via dat filter dan 5 % uit het systeem verwijderd, overeenkomend met het voorgaande dat 95 % (dus) uit de stripper met de gewonnen CO_2 stroom meegevoerd wordt.

Dryer, water-scrubber en stoffilter na de stripper

Na de stripper wordt de gewonnen CO_2 stroom nog in een aantal stappen nabehandeld. Dit betreft verwijdering van water (condensor), wassen en deeltjesverwijdering, en tenslotte compressie voor levering naar het CO_2 leidingsysteem. De verwachting volgens RIVM 2021 is dat eventueel nog aanwezige polaire PFAS-verbindingen tijdens deze stappen nog verder zullen worden afgescheiden. Vooralsnog wordt er echter bij de onderhavige berekeningen (worst case) van uitgegaan dat er geen significante verwijdering van de stoffen plaatsvindt, met uitzondering van stofgebonden dioxine en zware metalen bij het deeltjesfilter (aanname 10 % verwijdering).

Samenvatting

In onderstaande tabel staan de hiervoor beschreven aannames voor verwijdering en opname van de verschillende stoffen per procesonderdeel samengevat. Onderaan is vermeld met welk percentage de stoffen uit de behandelde rookgassen uiteindelijk in de af te voeren CO_2 dan terecht zijn gekomen. Het uitgewerkte rekenschema is weergegeven in bijlage I.

Tabel 5.1 Opname en verwijdering van stoffen in geleverde CO_2 bij de procesonderdelen van de PCC van AEB

	dioxine	**PFAS**	**Cd/Ni/Tl/Pb**	**Hg**
verwijdering in pre-treatment (DCC) koeler/condensor	10%	0%	10%	0%
afgevangen (opgenomen) in absorber	50%	75%	50%	50%
verwijdering in 'reclaiming unit' amine-wasvloeistof	10%	0%	50%	50%
verwijdering in koolfilter retour vloeistof uit stripper	5%	5%	5%	5%
verwijdering in dryer na stripper	0%	0%	0%	0%
verwijdering in scrubber	0%	0%	0%	0%
verwijdering in stoffilter	10%	0%	10%	0%
uiteindelijke fractie in CO_2 (ten opzichte van rookgas AEB)	**35%**	**71%**	**19%**	**24%**

Op basis van deze uitgangspunten en de bekende vrachten (tabel 4.2) en CO_2 debiet (60.000 kg/uur) kunnen de volgende gemiddelde concentraties van de verschillende stoffen worden berekend in de geleverde CO_2.

Tabel 5.2 Concentraties in geleverde CO_2 van AEB

Dioxine [ng TEQ/kg CO_2]	**PFAS** [ng/kg CO_2]	**Som Cd/Ni/Tl/Pb** [µg/kg CO_2]	**Hg** [µg/kg CO_2]
0,07	24,1	6,3	0,37

Uit deze waarden is te zien dat sprake is van een conservatieve benadering voor met name PFAS (concentratie 46 ng/m^3 CO_2), gezien de verwachting van RIVM (in genoemde literatuur) dat de concentratie van (de relevante polaire) PFAS verbindingen in CO_2 maximaal een ordegrootte van 10 ng/m^3 zal bedragen, maar hoogst waarschijnlijk lager zullen zijn.[1]

[1] Notitie PFAS in CO_2. D.d. 02-07-2021. RIVM doc. nr. DMG-2021-0037.

6 TOEPASSING IN KASSEN

6.1 Inleiding

Voor het bepalen van de potentiële risico's van de verschillende stoffen voor kasgewassen en ARBO-veiligheid is het gemiddelde concentratieniveau in de kas van belang. Concentraties in de kas fluctueren over de dag en seizoen, en zijn sterk afhankelijk van de CO_2 doseringsstrategie, type installatie, de mate van ventilatie en het gebruik van schermen. Deze factoren variëren over de seizoenen en per bedrijf.[1] Zo kan in de winter de kas meer gesloten blijven terwijl in de zomer veel meer geventileerd moet worden.

Een gangbare range voor de dosering aan CO_2 bedraagt 50 - 200 kg CO_2/ha/uur[2]. Op jaarbasis komt de behoefte gemiddeld lager uit, en ligt rond de 30 kg CO_2/m²/jaar. Op basis hiervan kan de levering van AEB (60.000 kg/uur) een gebied van circa 1.600 ha kassen bedienen. De CO_2 concentraties in de kassen waar op gestuurd wordt liggen rond 400 - 600 ppm in de zomer, en rond 600 - 1000 ppm bij assimilatiebelichting.

6.2 Concentratie in gewassen

Voor de beoordeling van de risico's wordt als voorbeeld groente uitgegaan van paprika. Hiervoor wordt uitgegaan van een gemiddelde productie van 35 kg paprika/m²/jaar en een gemiddeld bruto gewicht van 0,175 kg/paprika en 0,135 kg/paprika voor consumptie (na verwijdering steel e.d.)[3].

Met betrekking tot opname en aanwezigheid van de onderhavige stoffen in groente is met name voor dioxine in het verleden wel onderzoek gedaan. Dit onderzoek is echter niet specifiek voor kassen, waar opname via substraat (veelal afgedekt) en lucht (verhoogde concentratie) afwijkend is van situaties in de open lucht. Er zijn in de literatuur geen duidelijke gegevens over de mate van opname van de onderhavige stoffen in planten. Vanwege de (afgedekte) substraatvoeding is het aannemelijk dat in kassen de voornaamste route naar de plant via depositie en via direct contact tussen plant en lucht plaatsvindt. Voor dioxine is door RIVM echter vermeld dat vanuit de lucht deze nagenoeg niet worden opgenomen door vegetatie (hoge 'surface resistance').[4] Het eventueel aanwezige dioxine in de kaslucht is deels gasvormig en deels aan zeer fijn stof gebonden (in hoofdstuk 5 is beschreven dat op meerdere plaatsen nog filtering in de PCC plaatsvindt, wat vooral minder fijn stof verwijdert). Dit geldt ook voor zware metalen. PFAS is naar verwachting gasvormig en over de opname in planten is geen bruikbare informatie gevonden.

Voor de onderhavige beoordeling is gekozen voor een depositie van alle stoffen van circa 50 % op het beschikbare grondoppervlak en plantoppervlak (blad, stengels, paprika's), wat een veilige benadering is.[5] Voor het gedeelte daarvan dat feitelijk op het oppervlak van de paprika zelf komt, wordt eveneens (veilig) 50 % aangenomen. Dat betekent dat per saldo er een opname in de paprika zelf is van 25 % van de met de CO_2 ingebrachte stoffen.

Op basis van enerzijds de dosering van CO_2 per oppervlak (per tijdseenheid) en anderzijds de hoeveelheid paprika per oppervlak (per tijdseenheid), is de hoeveelheid CO_2 die gemiddeld per (kg) paprika wordt

---

1 Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw. Plant Research International B.V., Wageningen Januari 2009.

2 https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/12/10/efficient-co2-doseren-is-meer-dan-rekenen.
Toekomstige behoeftes liggen naar verwachting zelfs nog onder de 50 kg CO_2/ha/uur (CO2-behoefte glastuinbouw 2030. Rapport 2019-074. Wageningen Economic Research, juni 2019).

3 https://portie-online.rivm.nl/Home/Details

4 De Verspreiding van dioxinen rond Thermphos; RIVM Rapport 609021110/2010.

5 De gekozen 50 % zou dan betekenen dat via een kas de lucht (via voornamelijk depositie) voor 50 % 'gereinigd' de kas zou verlaten. Dit veronderstelt een zeer snelle depositie. Er is (in tegenstelling tot CO_2) echter geen actief mechanisme in de planten dat de betreffende stoffen absorbeert, oplost of anderszins actief bindt.

'toegediend' bekend. In combinatie met de concentraties van de stoffen in de CO_2 (zie tabel 5.2) is dan bekend welke hoeveelheid stoffen per (kg) paprika gemiddeld aanwezig is in kaslucht. Vervolgens is, zoals hierboven beschreven, aangenomen dat uiteindelijk 25 % daarvan (worst case) door de paprika wordt opgenomen. Samengevat geeft dit de volgende resultaten.

Tabel 6.1 Uitgangspunten en berekende gemiddelde concentraties in paprika

jaargemiddelde dosering CO_2			kg CO_2/m²/jaar	30
opbrengst paprika			kg/m²/jaar	35
verhouding dosering en opbrengst			kg CO_2 per kg paprika	0,86
	Concentratie in CO_2		**Gemiddelde concentratie in paprika**	
dioxine	ng TEQ/kg CO_2	0,07	ng TEQ/kg paprika	0,015
PFAS	ng/kg CO_2	24,1	ng/kg paprika	5
som Cd/Ni/Tl/Pb	µg/kg CO_2	6,3	mg/kg paprika	0,001
Hg	µg/kg CO_2	0,37	mg/kg paprika	0,00008

Uit deze berekeningen blijkt dat de (worst case) gehaltes van metalen ruim voldoen aan de EU maximum level waarden voor levensmiddelen (strengste waarde is 0,05 mg/kg voor cadmium; zie tabel 3.1).

Voor de inname (TWI) zijn er normen van ESFA[1] bekend voor dioxine, PFAS en kwik, uitgedrukt per kg lichaamsgewicht (zie tabel 3.1) per week. Omgerekend naar een persoon van 60 kg zijn de toegestane innames 0,12 ng/persoon per week voor dioxine, 264 ng/persoon per week voor PFAS en 96 µg/persoon per week voor kwik. Op basis van een paprikagewicht van gemiddeld netto 0,135 kg bij consumptie, zijn de langdurig toegestane aantallen paprika's respectievelijk 58, 379 en meer dan 9.000 paprika's per persoon per week voor de betreffende stoffen dioxine, PFAS en kwik.

Tabel 6.2 Samenvatting rekenresultaten toegestane consumptie paprika (gemiddelde persoon van 60 kg en 0,135 kg/paprika)

	TWI [ng/persoon van 60 kg/week]	**Gemiddelde concentratie** [ng/kg paprika]	**Aantal paprika** [paprika/week]
dioxines	0,12	0,015	58
PFAS	264	5	379
kwik (Hg)	96.000	80	> 9.000

[1] EFSA = European Food Safety Authority.

6.3 ARBO

In tabel 3.1 staan beschikbare normen weergegeven als maximale 8-uur gemiddelde concentraties. Op basis van de gemiddelde (beoogde) CO_2 concentraties in de kassen, kan de verdunningsfactor van de ingebrachte CO_2 worden geschat. Hoe hoger de gemiddelde CO_2 concentratie, hoe kleiner de verdunning.

Voor een conservatieve beoordeling is uitgegaan van een fictieve (en hoge) CO_2 dosering van 1.500 ppm[1]. Dit betekent dat de concentratie van stoffen met circa een factor 1.000 wordt verdund ten opzichte van de concentratie in de CO_2.[2] In onderstaande tabel staan deze concentraties weergegeven (afgeleid van tabel 5.2 en uitgaande van een dichtheid van 1,9 kg CO_2/m^3). Dit betreft de globale gemiddelde waarden; in de werkelijkheid is er een grote variatie in de tijd door veranderingen in de verversing, schermen, e.d. Uit uur-voor-uur simulatie berekeningen van de WUR[3] over een jaar blijkt dat de hoogste uurwaarden tot circa een factor 6 hoger kunnen zijn dan de gemiddelde waarden. Gecorrigeerd voor een 8-uur gemiddelde waarde (vanwege de TGG-8h) bedraagt de factor minder dan 5. Voor de onderhavige beoordeling is (veiligheidshalve) uitgegaan van een factor 10 voor de bepaling van de 8-uurgemiddelde concentratie. Deze waarden, en de betreffende normen, zijn ook weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 6.3 Concentraties in kaslucht en vergelijking met ARBO-normen

	Dioxine [ng TEQ/m^3]	**PFAS** [ng/Nm^3]	**Som Cd/Ni/Tl/Pb** [µg/m^3]	**Hg** [µg/m^3]
grenswaarde (TGG - 8u)	0,01	2	1 *)	20
gemiddelde concentratie in kaslucht	0,0002	0,05	0,013	0,001
max 8-uur concentratie in kaslucht (bij factor 10 t.o.v. gemiddeld)	0,0015	0,50	0,13	0,007

*) Dit betreft de (strengste) norm, nl. voor cadmium (Cd) (zie tabel 3.1). Cadmium wordt over het algemeen niet gedetecteerd.

Uit deze berekeningen volgt dat er geen nadelige gevolgen voor de arbeidsveiligheid aannemelijk zijn.

7 CONCLUSIES

Op basis van de bekende samenstelling van het gereinigde rookgas van de AEB en het behandelde debiet in de PCC, is de vracht van de onderzochte stoffen (dioxine, PFAS en zware metalen) naar de PCC bepaald. Op basis van literatuur (RIVM) en beoordeling van de kenmerken van de stoffen en van de verschillende processtappen in de PCC, is een veilig/conservatieve (c.q. hoge) schatting gegeven van het percentage van de stoffen dat in de af te voeren CO_2 terecht zou kunnen komen. Deze percentages zijn in onderstaande tabel weergegeven, tezamen met de berekende concentraties in de CO_2.

---

1 Dit is een rekenwaarde, uitgaande van alleen menging met de ingebrachte schone lucht; in werkelijkheid mengt de CO_2 verdeeld in de kas op en wordt tegelijkertijd de concentratie ook steeds weer verlaagd door de opname door de gewassen. De gemiddelde concentratie in de kas is dus in de praktijk lager dan 1.500 ppm.

2 Dosering/verhoging naar 1.500 ppm in de lucht betekent effectief een verhoging van 1.080 ppm (1.500 - 420 ppm achtergrond), is effectief circa 2.100 mg/m^3. Per m^3 kaslucht is dus 2.100 mg CO_2 (0,002 kg) nodig, overeenkomend met circa 0,001 m^3 CO_2 bij een dichtheid van 1,9 kg/m^3. De omrekenfactor van de concentratie in CO_2 naar de concentratie in lucht is dan circa 1.000.

3 Rekensheet Business Unit Greenhouse Horticulture, Department Greenhouse Technology.

Tabel 7.1 In CO_2 opgenomen hoeveelheid (%) stoffen uit rookgas, en concentratie in CO_2

	Opgenomen fractie uit rookgas	Samenstelling geleverde CO_2			
dioxine	35 %	0,07	ng TEQ/kg CO_2	0,14	ng TEQ/m^3
PFAS	71 %	24	ng/kg CO_2	46	ng/m^3
som Cd/Ni/Tl/Pb	19 %	6,3	µg/kg CO_2	12	µg/m^3
Hg	24 %	0,4	µg/kg CO_2	0,7	µg/m^3

Op basis van de jaargemiddelde dosering van CO_2 in kassen en de jaargemiddelde productie van paprika in kassen, is de jaargemiddelde 'dosis' van de stoffen aan de geproduceerde paprika in de kassen bepaald. Bij een (conservatief) aangenomen hoge opname (voornamelijk via depositie) in de paprika zelf van gemiddeld 25 % van de met de CO_2 'gedoseerde' stoffen[1], is vervolgens het gemiddelde gehalte in de paprika's bepaald. Vervolgens is beoordeeld hoeveel paprika's een gemiddeld persoon gemiddeld per week zou mogen eten uit die kas (indien uitsluitend gebruik gemaakt is van CO_2 afkomstig van de AVI) om te voldoen aan de normen voor inname. Hieruit komt naar voren dat wekelijks ruim 50 paprika's door een persoon geconsumeerd kunnen worden, waarbij dioxine maatgevend is. Voor PFAS en zware metalen zijn die aantallen vele malen hoger.

Tenslotte is op basis van een minimale verdunning van CO_2 in de kas (c.q. een hoog CO_2 gehalte in de kas) de maximale gemiddelde concentratie van de stoffen in de kaslucht bepaald. Deze concentratie is met een ruime veiligheidsfactor verhoogd (voor kortstondige blootstelling) en getoetst aan ARBO-normen voor blootstelling. De berekende waarden voldoen zeer ruim aan die normen. Hieruit volgt dat er geen nadelige gevolgen voor de arbeidsveiligheid aannemelijk zijn.

Voor de berekeningen is uitgegaan van aannames op basis van (beperkt beschikbare) literatuur. Hierbij zijn steeds zeer conservatieve aannames gedaan, waarmee het resultaat statistisch als een worst case kan worden beschouwd. Hoe de worst case geschatte samenstelling van CO_2 zich zal verhouden met de praktijk, zal via metingen na realisatie van de PCC geverifieerd kunnen worden.

[1] Dat betekent dat de overige 75 % is afgevoerd via (voornamelijk) de afgevoerde lucht, en via depositie in de kas en de bladeren/stengels van de planten.

BIJLAGE: REKENSCHEMA

	dioxine	PFAS	som Cd/Ni/Tl/Pb	Hg
verwijdering in pre-treatment (DCC) koeler/condensor	10%	0%	10%	0%
afgevangen in absorber	50%	75%	50%	50%
verwijdering in 'reclaiming unit' amine-wasvloeistof	10%	0%	50%	50%
verwijdering in koolfilter retour vloeistof uit stripper	5%	5%	5%	5%
verwijdering in dryer na stripper	0%	0%	0%	0%
verwijdering in scrubber	0%	0%	0%	0%
verwijdering in koolfilter (optioneel)	0%	0%	0%	0%
verwijdering in stoffilter	10%	0%	10%	0%
opname in paprika	25%	25%	25%	25%
	dioxine	**PFAS**	**som Cd/Ni/Tl/Pb**	**Hg**
	ng TEQ/uur	ng/uur	mg/uur	mg/uur
vracht AEC rookgas	10.580	1.666.385	1.851	92
vracht HRC rookgas	1.764	361.690	117	1
vracht rookgas totaal	12.345	2.028.075	1.968	93
verwijderd in pre-treatment (condensor) van rookgas	1.234	0	197	0
opgenomen in absorber	5.555	1.521.056	886	46
verwijderd uit amine-wasvloeistof absorber	*556*	*0*	*443*	*23*
absorber out	5.000	1.521.056	443	23
verwijderd uit amine-wasvloeistof stripper	*250*	*76.053*	*22*	*1*
stripper out	4.750	1.445.003	421	22
dryer out	4.750	1.445.003	421	22
scrubber out	4.750	1.445.003	421	22
koolfilter out	4.750	1.445.003	421	22
stoffilter out	**4.275**	**1.445.003**	**379**	**22**
fractie ten opzichte van rookgas AEB	35%	71%	19%	24%
kas in (bij 60.000 kg CO_2/uur)	**4.275**	**1.445.003**	**379**	**22**
	ng TEQ /jaar	ng /jaar	mg /jaar	mg /jaar
	36.120.480	12.210.276.521	3.198.759	185.966
oppervlak kas (ha)	1.690	1.690	1.690	1.690
kg paprika/jaar	591.500.000	591.500.000	591.500.000	591.500.000
paprika/jaar	3.380.000.000	3.380.000.000	3.380.000.000	3.380.000.000
	ng TEQ/kg paprika	ng/kg paprika	mg/kg paprika	mg/kg paprika
gehalte in paprika	0,015	5,2	0,001	0,00008
norm			0,05	0,05
netto voor consumptie	ng TEQ/paprika	ng/paprika	µg/paprika	µg/paprika
	0,002	0,70	0,0002	0,00001
max aantal paprika per week p.p.	58	379		9.047
max aantal paprika per dag p.p.	8	54		1.292

BIJLAGE: PFAS METINGEN GEREINIGD ROOKGAS AEB

Samenvatting resultaten metingen TAUW van december 2022

	PFAS	**PFAS**
	lowerbound	upperbound
	ng/m^{3}o (11%)	ng/m^{3}o (11%)
lijn 11	7,1	7,3
lijn 12	7,3	7,5
lijn 23	3,1	4,2
lijn 24	3,8	6
gem. AEC	**5,3**	**6,3**
lijn 36 (HRC)	**2**	**2,1**

Gewichtsanalyses

	lijn 11	**lijn 12**	**lijn 23**	**lijn 24**	**lijn 36**	**av**
PFBA	2,7	5,4	< 1,7	3,9	1,8	2,76
PFPeA	0,7	1,62	0,4	0,8	0,67	0,84
PFHxA	0,8	3,3	0,7	1,4	1,1	1,46
PFHpA	0,34	0,38	0,17	0,28	0,22	0,28
I-PFOA					0,45	0,09
PFOA br	0,2					0,04
PFOA	2,3	0,08	< 0,6	0,3	0,45	0,63
PFNA		0,04	0,02	0,03	0,09	0,04
PFDA	1	0,8	0,1		0,23	0,43
PFUnDA					0,05	0,01
PFDoDA					0,21	0,04
PFTeDA		0,07	0,02		0,1	0,04
DONA	0,6	6	3	2,15		2,35
PFBS			0,13		0,22	0,07
PFPeS		0,05		0,08	0,02	0,03
PFHxS					0,09	0,02
PFHpS					0,09	0,02
PFOS	0,72	0,9	0,38	0,19	0,16	0,47
PFOS br					0,5	0,10
6:2FTS	3	1	3	0,4	0,09	1,50
8:2FTS	0,78	0,05	0,8	0,03	0,04	0,34
10:2FTS	0,3	0,03	0,3	0,02	0,1	0,15
PFOSA					0,24	0,05
N-MeFOSA					1	0,20
EtFOSA					0,19	0,04
tot	**13,4**	**19,7**	**9,0**	**9,6**	**8,1**	**12,0**
PFOA tot	2,5	0,08	< 0,6	0,3	0,45	
PFOS tot	0,72	0,9	0,38	0,19	0,66	