



Nederlandse Voedsel- en
Warenautoriteit
Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

> Retouradres Postbus 43006 3540 AA Utrecht

**Aan de staatssecretaris van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur**

**Advies van de directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek
over de voedselveiligheid van verontreinigingen in
afgevangen CO₂-gas voor gebruik in de glastuinbouw en
voedingsmiddelenindustrie**

**Bureau Risicobeoordeling &
onderzoek**

Catharijnesingel 59
3511 GG Utrecht
Postbus 43006
3540 AA Utrecht
www.nvwa.nl

Contact
risicobeoordeling@nvwa.nl

Datum
11 september 2026

Onze referentie
2026-010073867

Advies van BuRO

CO₂-gas van afvalverbrandingsinstallaties, kolencentrales en scheepvaart kan in de glastuinbouw en voor andere toepassingen buiten de glastuinbouw (bijvoorbeeld in de voedingsmiddelenindustrie) worden gebruikt. Onderzocht is welke maximale verontreiniging toelaatbaar is met het oog op voedselveiligheid als afgevangen CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie.

Om een risicobeoordeling over voedselveiligheid van groenten in Nederlandse kassen te kunnen maken, is het nodig dat de (maximale) specificaties van het in kassen geblazen CO₂ bekend zijn, evenals de verwachte hoeveelheden. Dat betekent dat de verontreinigingen (stoffen) nauwkeurig benoemd en gespecificeerd moeten zijn; dit is nu niet het geval. Een voorzichtige, voorlopige conclusie van dit advies is dat bij 99% zuiver CO₂ er waarschijnlijk geen zorgen met betrekking tot voedselveiligheid zullen zijn. Echter, een additionele inname van stoffen waarvan de inname in Nederland al hoger is dan de gezondheidkundige grenswaarde, is ongewenst. Een risicomanager kan overwegen andere, meer belangrijke bronnen van blootstelling aan te pakken en proberen te verlagen en de (zeer beperkte) additionele inname afkomstig van afgevangen CO₂ in kassen te accepteren.

Advies aan de staatssecretaris van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur

- Houd vast aan de eis dat tenminste 99% zuiver CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en voedingsmiddelenindustrie; dat garandeert dat de verontreinigingen die een relatie hebben met voedselveiligheid beperkt zijn.
- Voer regelmatige kwaliteitscontroles uit en zoek daarbij gericht naar specifieke stoffen uit de verbranding. Voer voor deze stoffen een risicobeoordeling uit volgens de in dit advies aangegeven methodiek met toetsing aan gezondheidkundige grenswaarden.

Hoogachtend,

Prof. dr. Dick T.H.M. Sijm
Directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek

Aanleiding

Het groeiproces van planten is gebaseerd op het principe van fotosynthese: CO₂ en water worden door de plant opgenomen en onder invloed van licht omgezet in glucose en zuurstof. In de buitenlucht is gemiddeld 400 mg CO₂/kg aanwezig. In de glastuinbouw wordt extra CO₂ aan de lucht toegevoegd om planten optimaal te laten groeien en dus een hogere opbrengst te realiseren. CO₂ voor kassen komt nu nog voornamelijk uit de verbranding van aardgas in ketels en warmtekrachtkoppelingen (WKK's). In 2040 wil de glastuinbouw klimaatneutraal zijn en geen fossiele brandstoffen meer gebruiken; daarom moet alle CO₂ tegen die tijd uit andere bronnen komen (Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030).

CO₂ uit afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) in Nederland of andere industrie of scheepvaart kan worden afgevangen en geleverd aan de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie (onder andere koolzuurfabrieken). De omgevingsdiensten hebben hun zorg uitgesproken dat de CO₂, afkomstig van industrieën, verontreinigd kan zijn en daarmee een mogelijk risico vormt voor plant en mens. Alleen op het moment dat er geen negatieve milieu- of gezondheidseffecten zijn, kan de omgevingsdienst een einde-afvalstatus afgeven, zodat de stof als grondstof aan een derde partij kan worden geleverd. GlastuinbouwNL heeft aangegeven dat er afspraken met de afvalverwerkingsbedrijven zijn gemaakt om tenminste 99% zuiver CO₂ te leveren.

De Nederlandse voedingsmiddelenindustrie gebruikt jaarlijks enkele tienduizenden tonnen CO₂ als procesgas, vooral in frisdrank en bier en voor koelen en vriezen.

Vragen

In april 2026 heeft bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO) van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) de vraag van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) ontvangen over de veiligheid van het gebruik van CO₂-gas van afvalverbrandingsinstallaties, kolencentrales, scheepvaart voor het gebruik in de glastuinbouw en voor andere toepassingen buiten de glastuinbouw (bijvoorbeeld in de voedingsmiddelenindustrie).

De vragen aan BuRO zijn als volgt geformuleerd.

1. Welke maximale verontreiniging is toelaatbaar met het oog op voedselveiligheid als afgevangen CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie?
2. Welke risicomanagementmaatregelen kunnen worden overwogen voor veilig gebruik van afgevangen CO₂-gas?

Afbakening

In deze beoordeling worden alleen risico's voor de voedselveiligheid beoordeeld. Fytotoxische risico's en ARBO-gerelateerde risico's voor werknemers in kassen worden buiten beschouwing gelaten. Omdat een gerichte risicobeoordeling niet mogelijk is vanwege het ontbreken/niet beschikken over gedetailleerde informatie van de samenstelling van afgevangen CO₂, is een meer generieke aanpak gevolgd.

Aanpak

Er is in de wetenschappelijke literatuur op 10 april 2026 gezocht naar informatie over "CO₂ or 'carbon dioxide'". Gezien het grote aantal hits (meer dan 700.000) is verder gezocht op alleen titel van het artikel (>77.000 hits). Vervolgens zijn in article/title/abstract/keywords de zoektermen 'food' (1613 hits) en 'safety' toegevoegd (118 hits). Zoekopdrachten met 'recycled' en 'contaminant' leverden geen relevante informatie. Een zoekopdracht met 'CO₂' in de titel en 'incinerator' in title/abstract/keywords leverde 79 hits waarvan er 18 mogelijk relevant konden zijn.

Echter, de gevonden peer-reviewed publicaties leverden geen informatie op die bij kon dragen aan het beantwoorden van de vragen. Daarom is gezocht naar relevante

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Datum
11 september 2026

Onze referentie
2026-010073867

informatie op websites en rapporten van onder andere EFSA, TNO, Glastuinbouw Nederland, WFSR, WUR en RIVM over dit onderwerp. Daarnaast is informatie bekeken die was meegestuurd door LVVN.

Het advies heeft een interne peer review ondergaan en is extern gereviewd. Aan deelnemers van de kick off-bijeenkomst over CO₂-kwaliteit op 14 juli 2026 in Arnhem is gevraagd de onderbouwing van het conceptadvies van feitelijk commentaar te voorzien. Op 28 juli 2026 is van de reviewgroep een gecombineerde reactie ontvangen.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Datum
11 september 2026

Onze referentie
2026-010073867

Gevarenidentificatie

- De samenstelling van afgevangen CO₂ uit afvalverbrandingsinstallaties, industrie en scheepvaart zal variëren, afhankelijk van meerdere factoren waaronder het reinigingsproces.
- In een onderzoek van Witteveen+Bos in 2023 is gekeken naar de volgende stoffen met hun geanalyseerde concentraties in CO₂: dioxine (0,07 ng TEQ/kg CO₂), PFAS (24,1 ng/kg CO₂), som Cd/Ni/Tl/Pb (6,3 µg/kg CO₂) en Hg (0,37 µg/kg CO₂). Deze verontreinigingen liggen in de orde van grootte van 0,1 ng tot 10 µg per kg CO₂.

Gevarenkarakterisatie

- Omdat de samenstelling van afgevangen CO₂ niet (altijd) bekend is en het ook goeddeels onbekend is welke stoffen in het afgevangen CO₂ zullen voorkomen, is onderzocht wat het gezondheidseffect is van verontreinigingen in CO₂ per orde van grootte (bijvoorbeeld ng/kg CO₂).
- Het gezondheidkundige effect van dioxinen, PFAS, zware metalen, kwik, furanen, bisfenol A en PAK's is onderzocht. Dit zijn stoffen die vanuit toxicologisch oogpunt belangrijk zijn in voedingsmiddelen en die mogelijk te verwachten zijn als verontreiniging in afgevangen CO₂.

Blootstellingsschatting

- Voor de blootstellingsberekeningen wordt uitgegaan van een CO₂-opname door gewassen in kassen van gemiddeld 15 kg/m². Hierbij wordt een jaarronde productie verondersteld.
- De meest verbouwde groenten in Nederlandse kassen zijn tomaten, paprika's, komkommers en aubergines.
- Op basis van een dosering van 15 kg CO₂/m² per jaar, een jaarronde productie, de totale productie van de groenten, de geoogste hoeveelheden en een correctie voor een niet-eetbaar deel, is berekend hoeveel van een verontreiniging uit ingeblazen, afgevangen CO₂ terecht kan komen in de groente bij opname van 100%, 50% en 25% van de verontreiniging.
- Vervolgens is de inname door de consument (peuter en volwassene) geschat op basis van consumptiegegevens en een percentage verontreiniging.
- De hoogste inname van een verontreiniging komt van de consumptie van tomaat en is bij 0,01% (w/w) verontreiniging in CO₂ en een veronderstelde opname van de verontreiniging van 50% uit CO₂ respectievelijk voor peuters (12 tot en met 35 maanden oud; 12 kg) en volwassenen (60 kg) 56,8 en 25,7 µg/kg lichaamsgewicht per dag.
- Uit de dagelijkse inname van de onderzochte stoffen blijkt dat de gezondheidkundige grenswaarde wordt overschreden voor dioxinen en dioxine-achtige PCB's, PFAS₄, cadmium, lood, nikkel (alleen voor peuters), furanen en bisfenol A.
- De gemiddelde inname van CO₂ uit frisdrank met prik is 1,5-2,2 g/dag; voor bier is dit gemiddeld 0,5 g/dag.

Risicokarakterisatie

- De hoogste inname van een verontreiniging uit CO₂ in kassen zal komen van de consumptie van tomaat. Deze inname van een verontreiniging kan worden gebruikt voor een willekeurige stof. Bijvoorbeeld bij 0,01% verontreiniging (100 mg/kg) en 25% opname van de verontreiniging uit CO₂ betekent dit voor peuters en volwassenen een inname van respectievelijk 26,5 en 12,0 µg/kg lichaamsgewicht per dag en bij 50% opname respectievelijk 56,8 en 25,7 µg/kg lichaamsgewicht per dag. Voor een verontreiniging van 1 µg/kg CO₂ (0,0000001%), is de inname via tomaat (50% opname) van peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 ng/kg lichaamsgewicht per dag. Voor een verontreiniging van 1 ng/kg CO₂ (0,000000001%), is de inname via tomaat (50% opname) van peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 pg/kg lichaamsgewicht per dag.
- Wanneer de gezondheidkundige grenswaarde van een stof reeds wordt overschreden door de chronische, dagelijkse voeding, is het onwenselijk meer van die stof aan de voeding toe te voegen. Bij overschrijding van de gezondheidkundige grenswaarde kan een nadelig gezondheidseffect niet worden uitgesloten.
- Echter, de bijdrage van een verontreiniging zoals geschat op basis van de consumptie van tomaat en 50% opname uit CO₂, zal in de meeste gevallen (wanneer de verontreiniging minimaal is) slechts beperkt bijdragen aan de totale inname van die verontreiniging.
- Voor de consumptie van frisdranken geldt eenzelfde conclusie, waarbij de bijdrage van een verontreiniging uit CO₂ beperkt is (geschat op <0,2%).

Conclusies

- De samenstelling van afgevangen CO₂ wordt bepaald door de mate waarin de stoffen in de verschillende proces- en reinigungsstappen worden verwijderd. Welke verontreinigingen en in welke concentraties in afgevangen CO₂ voorkomen, is niet (publiek) bekend.
- Verontreinigingen in afgevangen CO₂ zouden via de lucht door planten (aubergine, komkommer, paprika, tomaat) die in kassen in Nederland worden verbouwd, kunnen worden opgenomen.
- Gezien de hogere chronische (langetermijn) inname van tomaat, zal van de 4 meest in kassen in Nederland verbouwde groenten (aubergine, komkommer, paprika en tomaat), tomaat de hoogste bijdrage leveren aan de inname van verontreinigingen in CO₂-gas door de consument.
- Een verontreiniging van CO₂ van 1 µg/kg CO₂ (0,0000001%) draagt, op basis van berekeningen voor tomaat en uitgaande van 50% opname door de plant, voor peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 ng/kg lichaamsgewicht per dag bij aan de inname van die stof.
- De gezondheidkundige grenswaarden van dioxinen, PFAS(4), cadmium, lood, furanen en PAK's en nikkel voor peuters worden bij chronische inname uit de voeding overschreden. Een additionele inname door het gebruik van afgevangen CO₂ in kassen is onwenselijk. Echter, de uit het afgevangen CO₂ mogelijk door de groente opgenomen additionele hoeveelheden verontreinigingen zijn minimaal.
- Eenzelfde conclusie geldt voor gebruik van CO₂ in voedingsmiddelen.

Beantwoording van de vragen

1. Welke maximale verontreiniging is toelaatbaar met het oog op voedselveiligheid als afgevangen CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie?

De samenstelling van CO₂ dat wordt afgevangen zal variëren maar is bij BuRO niet bekend en ook niet bekend is welke afspraken over maximale concentraties eventueel zijn gemaakt. Op basis van conservatieve aannames (opname van afgevangen CO₂ door de groente van 15 kg CO₂/m² per jaar en 50% opname van een verontreiniging door de groente) kan voor de 4 meest verbouwde groenten in

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Datum
11 september 2026

Onze referentie
2026-010073867

Nederlandse kassen worden berekend dat een verontreiniging van CO₂ van 1 µg/kg CO₂ (0,0000001%) voor peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 ng/kg lichaamsgewicht per dag bijdraagt aan de inname van die verontreiniging.

De risicobeoordeling is uitgevoerd voor stoffen die mogelijk in afgevangen CO₂ terecht kunnen komen en die voor voedselveiligheid relevant zijn. De hiervoor afgeleide verontreiniging per kg CO₂ is volgens BuRO voldoende kenmerkend en representatief voor de effecten van afgevangen CO₂ uit afvalverbrandingsinstallaties, industrie en scheepvaart op de voedselveiligheid van groenten verbouwd in kassen.

Voor een aantal stoffen uit afgevangen CO₂ dat mogelijk terecht kan komen in voedingsmiddelen, geldt dat het onwenselijk is vanuit voedselveiligheidsoogpunt om de inname door consumenten te verhogen. Echter, de bijdrage van in kassen verbouwde groenten waarbij afgevangen CO₂ werd gebruikt, zal zeer beperkt zijn.

2. Welke risicomanagementmaatregelen kunnen worden overwogen voor veilig gebruik van afgevangen CO₂-gas?

In deze risicobeoordeling zijn vrij conservatieve benaderingen toegepast. De additionele bijdrage van een verontreiniging uit afgevangen CO₂ kan mogelijk minimaal zijn. In hoeverre deze bijdrage acceptabel is en in hoeverre reductie van de totale inname middels andere voedingsmiddelen kan worden bereikt, zijn risicomanagementmaatregelen.

Vanuit voedselveiligheidsoogpunt zou de mate van verontreiniging zo laag mogelijk moeten zijn. Het is bij BuRO niet bekend welke verontreinigingen momenteel in het afgevangen CO₂ voorkomen. Op basis van deze risicobeoordeling zouden voor de onderzochte verontreinigingen de concentraties per kg CO₂ in de orde van grootte kunnen liggen van (op basis van ongeveer 1% bijdrage aan de inname van die stof):

- dioxinen en PCB's: 0,1 ng
- PFAS: 30 µg
- cadmium: 10 µg
- lood: 30 µg
- nikkel: 300 µg
- kwik: 100 µg

Wanneer de maximale concentratie van een bepaalde verontreiniging wordt vastgesteld, kan worden nagegaan wat het gezondheidseffect hiervan is op basis van de hier voorgestelde werkwijze.

Voor het vaststellen van maximale concentraties verontreinigingen is het van belang dat deze gemeten kunnen worden. De analytische detectielimieten voor verontreinigingen in CO₂-gas liggen lager dan in rookgas omdat het is gezuiverd. Dit maakt het mogelijk om gevoelige analysetechnieken te gebruiken. Detectielimieten in CO₂-gas (1 Nm³ CO₂ weegt 1,964 kg) zijn voor dioxinen en furanen (PCDD/PCDF): 0,001-0,01 ng-TEQ/Nm³; PFAS 0,01-0,1 ng/Nm³ per individuele PFAS-component; PAK's: 1-10 ng/Nm³ voor individuele componenten; cadmium: 0,01-0,05 µg/Nm³; en lood, nikkel: 0,05-0,2 µg/Nm³.

Bureau Risicobeoordeling & onderzoek
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Datum
11 september 2026

Onze referentie
2026-010073867

ONDERBOUWING

Inhoud

Inleiding.....	7
Gebruik van CO ₂ in de glastuinbouw.....	7
Gebruik van CO ₂ in de voedingsmiddelenindustrie.....	7
Gestelde vragen	7
Huidige normen voor CO ₂ in de glastuinbouw en voedingsmiddelenindustrie	7
Gevarenidentificatie.....	8
Emissies van rookgassen	8
Onderzoek door RIVM.....	8
Onderzoek door advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos (Schakel, 2023;2025)	9
Verontreinigingen in afgevangen CO ₂	10
Gevarenkarakterisatie	10
Gezondheidskundige grenswaarden.....	10
PFAS.....	11
Zware metalen	11
Furanen	11
Bisfenol A.....	11
PAK's	11
Blootstellingsschatting	12
CO ₂ -concentraties in kassen en opname door planten.....	12
Verontreinigingen in CO ₂	13
Glastuinbouw	13
Mogelijke verontreiniging in groenten uit de glastuinbouw	13
Innameberekeningen van de groenten uit de glastuinbouw.....	16
Inname van contaminanten uit de dagelijkse voeding	16
Voedingsmiddelen.....	20
Risicokarakterisatie	20
Glastuinbouw	20
Opmerking 1 over dagelijkse inname	20
Opmerking 2 over voorbeelden van concentraties in CO ₂	20
Voedingsmiddelen	23
Onzekerheden.....	23
Conclusies	23
Referenties.....	24
Appendix 1. Specificatie OCAP, CO ₂	27
Appendix 2. Overzicht van afvalverbrandingsinstallaties in Nederland	29
Appendix 3. Emissies en emissiegrenswaarden.....	30
Appendix 4. Informatie uit de notitie van Witteveen+Bos (Schakel, 2023).....	34
Appendix 5. Relatie CO ₂ -gehalte en opname door gewas (Vermeulen & van der Lans, 2010)	36
Appendix 6. Simulaties voor gewassen in een kas (Raaphorst en Kempkes, 2019).....	37
ANNEX 1. Reactie d.d. 28 juli 2026 van deelnemers aan de kick off-bijeenkomst in Arnhem over CO ₂ -kwaliteit op 14 juli 2026	40

Inleiding

Gebruik van CO₂ in de glastuinbouw

Planten hebben, naast water en voedingsstoffen, ook CO₂ (koolstofdioxide) nodig. De adviesvraag betreft CO₂ dat bestemd is als materiaal voor gebruik in de glastuinbouw ter bevordering van de groei van planten en ter vervanging van CO₂ dat in kassen wordt geblazen afkomstig van de verbranding van aardgas in WKK-installaties en/of warmteketels bij deze bedrijven. Een WKK is een energiecentrale die in de glastuinbouw gelijktijdig elektriciteit, warmte en CO₂ opwekt. Ook wordt CO₂ afkomstig van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), industrie en scheepvaart in Nederland afgevangen en geleverd aan de glastuinbouw (Boedijn et al., 2025; Grit et al., 2026; Hanab Pipeline & Utilities, 2026).

De Omgevingsdienst NL heeft op 3 juli 2025 een brief gestuurd aan de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) en Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) over hergebruik van afgevangen CO₂ uit industrie en scheepvaart. Ze uiten in de brief hun zorg over de initiatieven om afgevangen CO₂ uit de industrie en scheepvaart te leveren aan de glastuinbouw en voedingsmiddelenindustrie. Dit omdat deze CO₂ verontreinigd is met andere stoffen. De Omgevingsdienst kan pas een 'einde-afvalstatus' afgeven zodat een stof als grondstof aan een derde partij kan worden geleverd, als er geen negatieve milieu- of gezondheidseffecten zijn. Voor toetsing op gezondheidseffecten vraagt de Omgevingsdienst om een normenkader. Om normen af te leiden is inzicht nodig in de maximaal toelaatbare verontreiniging als afgevangen CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie, zowel vanuit het oogpunt van de voedselveiligheid (bescherming van de consument), als vanuit het oogpunt van arbeidsomstandigheden (bescherming van de werknemers in de tuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie). Daarnaast is uiteraard plantgezondheid ook belangrijk.

Gebruik van CO₂ in de voedingsmiddelenindustrie

Het is niet bekend hoeveel CO₂ exact wordt gebruikt in de voedingsmiddelenindustrie of in welke voedingsmiddelengroep. De Nederlandse voedingsmiddelenindustrie gebruikt jaarlijks enkele tienduizenden tonnen (tot ruwweg 100.000 ton=100.000.000 kg) CO₂ als procesgas, vooral in frisdrank en bier en voor koelen en vriezen. In 2020 werd het verbruik geschat op 0,2 Mton (200.000.000 kg) per jaar door Royal HaskoningDHV. De vraag naar CO₂ voor deze toepassingen zal naar verwachting in de toekomst niet significant toe- of afnemen. Er is geen bekend Europees of nationaal beleid dat deze sector een overstap naar duurzame CO₂ direct oplegt. Indirect beleid, zoals CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) en B2B (Business to Business)-ketenafspraken kunnen wel voor een verschuiving van de vraag van fossiele naar duurzame CO₂ zorgen (Kampman et al., 2025).

Gestelde vragen

De vragen aan BuRO zijn als volgt geformuleerd.

1. Welke maximale verontreiniging is toelaatbaar met het oog op voedselveiligheid als afgevangen CO₂ wordt gebruikt in de glastuinbouw en de voedingsmiddelenindustrie?
2. Welke risicomanagementmaatregelen kunnen worden overwogen voor veilig gebruik van afgevangen CO₂-gas?

In deze beoordeling worden alleen risico's voor de voedselveiligheid beoordeeld. Fytotoxische risico's en ARBO-gerelateerde risico's voor werknemers in kassen worden buiten beschouwing gelaten.

Huidige normen voor CO₂ in de glastuinbouw en voedingsmiddelenindustrie

In de glastuinbouw (richtlijn OCAP;(OCAP, 2026)) wordt als minimale zuiverheid van CO₂ 99% gehanteerd (zie Appendix 1). Met name gezien de fytotoxische en ARBO-eisen, wordt veelal aangesloten bij de NEN-EN-ISO 22000-normering voor voedselveiligheid.

Om te garanderen dat het gas veilig is voor gewassen (glastuinbouw), zijn door OCAP (een gassenleverancier; OCAP is de afkorting van organic CO₂ for assimilation by plants) normen opgesteld (Appendix 1). Voor CO₂ blijkt dat (voor voedingsmiddelen relevante) waarden worden gegeven voor onder andere argon (Ar), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) totaal, waterstofcyanide (HCN), kwik (Hg) en cadmium (Cd) + thallium (Tl).

Wanneer het CO₂ voor 99% zuiver is, betekent dit dat er 1% verontreiniging in kan zitten (10 g/kg). Een deel hiervan betreft andere gassen zoals N₂, O₂, CO, NO_x.

Wanneer CO₂ wordt gebruikt als additief (E290) in voedsel en dranken (bijvoorbeeld koolzuur in frisdrank, bier of verpakkingsgas) ((EIGA (European Industrial Gases Association AISBL), doc 126/20); (EIGA (European Industrial Gases Association AISBL), doc 125/20), valt dit onder de Europese wetgeving voor levensmiddelenadditieven (Verordening (EU) Nr. 1333/2008). Verordening (EU) Nr. 231/2012 legt de specificaties vast van de in de bijlagen II en III bij Verordening (EG) nr. 1333/2008 opgenomen levensmiddelenadditieven. Het gehalte CO₂ moet minimaal 99% (v/v) als gas zijn. Verder mag het maximaal 10 µl/l koolstofmonoxide en maximaal 5 mg/kg olie bevatten.

Vaak worden strengere eisen gehanteerd door fabrikanten of leveranciers, zoals de CO₂-concentratie moet minimaal 99,9% (v/v) zijn.

Gevarenidentificatie

Emissies van rookgassen

De uiteindelijke samenstelling van CO₂ afkomstig van rookgassen wordt bepaald door de mate waarin de stoffen in rookgassen in de verschillende proces- en reinigingsstappen worden verwijderd en hoeveel in de CO₂-absorber door een amine-wasvloeistof wordt opgenomen en vervolgens weer (met de CO₂) wordt uitgestript. De rookgassen ondergaan een intensieve reiniging (wassers, doekenfilters, actieve kool) om de zware metalen, fijnstof en zuren eruit te halen. Het amine-oplosmiddel in de afvanginstallatie bindt zich alleen aan de CO₂-moleculen. Andere gassen stromen door. De vrijgekomen CO₂ wordt gekoeld, gedroogd (vochtverwijdering) en door nabehandelfilters geleid om eventuele meegesleurde sporen van aminen of gassen te elimineren. Om dioxines uit het CO₂-rookgas te halen, gebruikt men actieve koolinjectie of katalysatoren, of wordt het rookgas snel gekoeld tot onder de +200 °C om hersynthese te voorkomen. Voor een verdere beschrijving van het reinigingsproces, zie (Bakker et al., 2021; Schakel, 2023). In het RIVM-rapport is een overzicht van afvalverbrandingsinstallaties in Nederland opgenomen (Appendix 2). Dit geeft een indicatie van het type afval dat wordt verbrand in deze installaties.

In Nederland regelt het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) de emissiegrenswaarden (zie Appendix 3). De verplichte rookgasreiniging haalt al een grote hoeveelheid gevaarlijke stoffen uit de stroom. Daarna gaat het restant door de amine-oplossing. Dit zorgt dan vervolgens voor de CO₂ met een bepaalde zuiverheid. In gasstromen kan veel gemeten worden; over het algemeen met een weergave in g/m³ met detectiegrenzen als het om zware metalen gaat rond de 0,1 µg/m³ (1 m³ puur CO₂-gas weegt ongeveer 1,96 kg).

In de scheepvaart wordt vooral gestuurd op de uitstoot van zwavel. De schepen stoken over het algemeen zware oliefracties. Er worden vaak scrubbers gebruikt om in ieder geval de zwavel te verwijderen.

De Kaderrichtlijn afvalstoffen (Kra) stelt als een basisbeginsel vast dat afvalstoffenbeheer moet worden uitgevoerd zonder enig risico voor water, lucht, bodem, fauna en flora, zonder geluids- of geurhinder te veroorzaken of schade te berokkenen aan de natuur en het landschap. De minimale voorwaarden voor het reinigen van rookgas, afvalwater en bodem staan voorgeschreven in de Europese Richtlijn Industriële Emissies (RIE). EU-lidstaten moeten in 2025 ten minste 55% van het stedelijk afval inzetten voor de voorbereiding voor hergebruik en recycling. Per 2030 moet dit opgelopen zijn naar 60% en per 2035 naar 65%. Voor afvalverbranding bestaan Europees geen doelstellingen (ABDTOPConsult, 2024).

Onderzoek door RIVM

RIVM heeft op 27 juni 2019 op verzoek van Rijkswaterstaat een advies afgegeven over CO₂ dat wordt teruggewonnen uit rookgassen van een afvalverbrandingsinstallatie. Het verzoek aan RIVM was om na te gaan of de analyse van de verontreinigingen volgens een bijgevoegd analysecertificaat compleet was. RIVM heeft gekeken voor zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) naar ARBO-gerelateerde risico's voor kasmedewerkers, fytotoxiciteit (giftigheid voor planten) en mogelijke opname van stoffen in de plant. RIVM (RIVM, 27 juni 2019) concludeerde dat er voor benzeen, toluen en xyleen voldoende informatie was en dat deze stoffen geen risico vormden voor mens of plant. Voor een aantal stoffen ontbrak informatie en kon geen conclusie worden getrokken. Dit betrof de stoffen chloordibenzodioxinen en -furanen, zuurvormende gassen (bijvoorbeeld HCl, HF en HBr) en vluchtige PAK's zoals naftaleen. Voor mogelijke opname van stoffen in consumptiegewassen werden door RIVM onderzoeken van Dueck en van Dijk (2011) en van Dijk et al. (2014) aangehaald. RIVM concludeerde dat opname van stoffen in het gewas geen factor van betekenis vormde. Echter, waarschuwde RIVM, dit moest worden gecontroleerd voor de stoffen waarvoor geen analytische informatie beschikbaar was (RIVM, 27 juni 2019). AVR geeft in een persoonlijke communicatie aan dat er meetresultaten voor chloordibenzodioxinen en -furanen,

zuurvormende gasen en vluchtige PAK's bekend zijn (NedLab-analyses voor AVR) waaruit bleek dat deze stoffen niet werden aangetroffen in CO₂-monsters uit rookgas van een AVI.

Hierbij moet worden aangetekend dat het rapport van van Dijk et al. (2014) handelde over fytotoxiciteit van paprika- en tomatenplanten. Dueck en van Dijk (2011) hebben gekeken naar de samenstelling van CO₂ afkomstig van de Abengoa bio-ethanolfabriek. De bedoeling van de firma OCAP was om deze CO₂ toe te voegen aan de CO₂ afkomstig van Shell Pernis die aan tuinbouwbedrijven werd geleverd. Dat betekende dat de CO₂ de volgende additionele componenten zou gaan bevatten: benzeen, toluen, ethanol, acetaldehyde, ethylacetaat, dimethylsulfide en carbonsulfide. Geconcludeerd werd dat benzeen, toluen, ethanol, acetaldehyde en ethylacetaat geen additionele risico's voor de planten meebrachten. Geen informatie werd gevonden voor carbonsulfide en dimethylsulfide maar gezien de lage concentratie van deze componenten en gezien het feit dat er geen negatieve effecten op planten bekend waren, werd geen additioneel risico verwacht.

In 2021 heeft RIVM een literatuuronderzoek gedaan naar PFAS in rookgas uit afvalverbrandingsovens (Bakker et al., 2021). RIVM verwachtte dat de meeste PFAS uiteen zullen vallen tijdens het verbrandingsproces en vervolgens worden verwijderd uit het rookgas en niet in het afgevangen CO₂ terechtkomen. Echter, (een speciale groep) PFAS kan worden gevormd. De PFAS die waarschijnlijk wel in de CO₂ terecht kunnen komen, zijn niet-dissociërende stoffen met een polair karakter, zoals fluortelomeeralcoholen met een korte perfluorketen en de groep van gesubstitueerde perfluorsulfonamido-ethanol (MeFASE's en EtFASE's). RIVM adviseerde metingen uit te voeren voor PFAS. De verwachting van RIVM (2021) was dat de concentratie van (de relevante polaire) PFAS-verbindingen in CO₂ maximaal een ordegrootte van 10 ng/m³ zal bedragen maar hoogst waarschijnlijk lager zal zijn.

Onderzoek door advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos (Schakel, 2023;2025)

Witteveen+Bos heeft in 2023 in opdracht van het afvalverwerkingsbedrijf AEB Amsterdam, ZZS in CO₂ voor het kassengebied beoordeeld (notitie 27 februari 2023). In het kader van de vergunningprocedures voor de afvang- en transportinstallaties had de Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied (ODNZKG) aan AEB gevraagd om inzichtelijk te maken dat door gebruik van CO₂ in kassen de arbeidsveiligheid en voedselveiligheid niet in het geding zijn, waarbij speciale aandacht diende uit te gaan naar PCDD/F (polychloordibenzo-p-dioxinen en polychloordibenzofuranen), zware metalen (Hg, Cd, Ni, Pb, Ti) en PFAS.

Witteveen+Bos heeft voor haar berekeningen aannames gedaan met betrekking tot de opname en verwijdering van stoffen in CO₂ (zie Appendix 3). Er wordt verondersteld dat verbindingen met een lage lucht-water-partiticoëfficiënt niet of slechts beperkt in de gewonnen CO₂-stroom terechtkomen (Schakel, 2023). Stoffen met een lage lucht-water partiticoëfficiënt zijn hydrofiel. Voorbeelden zijn: alifatische alcoholen (bijvoorbeeld methanol en ethanol), organische zuren, zware metalen en ionen, en kleine polaire moleculen, zoals ammoniak en formaldehyde.

Witteveen+Bos (Schakel, 2023) stelde dat dioxinen en zware metalen voornamelijk stofgebonden aanwezig zullen zijn en dat stof deels wordt verwijderd. Het werd niet aannemelijk geacht dat gasvormig dioxine of zware metalen (kwik) (volledig) worden weggevangen. Verder werd afgeleid uit de beschikbare meetgegevens van AEB dat na rookgasreiniging alle categorieën PFAS kunnen voorkomen en is voor berekeningen een, in hun ogen, conservatieve aanname gedaan.

In een tabel in Appendix 4 (zie ook Appendix 3) zijn de gemiddelde gemeten concentraties over 2020 en 2021 in de rookgassen na de rookgasreiniging van de Amsterdamse AEC (Afvalenergiecentrale) en HRC (Hoogrendement Centrale) weergegeven, conform opgave van AEB (Schakel, 2023). AEC en HRC voldeden aan de emissiegrenswaarde (daggemiddeld 0,05 ng TEQ/m³) voor dioxines (PCDD/F) uit de vergunning. Voor PFAS waren geen emissiegrenswaarden gesteld en de zware metalen voldeden ruim aan de vergunning. Vervolgens heeft Witteveen+Bos (Schakel, 2023) de opname en verwijdering samengevat van stoffen uit behandelde rookgassen en welke fractie in afgevoerde CO₂ terechtkomt (zie Appendix 4). Deze fracties zijn gebruikt om gemiddelde concentraties in geleverd CO₂ van AEB te berekenen op basis van een CO₂-debiet van 60.000 kg/uur:

- dioxine: 0,07 ng TEQ/kg CO₂
- PFAS: 24,1 ng/kg CO₂
- som Cd/Ni/Tl/Pb: 6,3 µg/kg CO₂
- Hg: 0,37 µg/kg CO₂

Deze verontreinigingen liggen in de orde van grootte van 30 ng tot 10 µg/kg CO₂.

Witteveen+Bos (2023) nam aan dat de depositie van alle onderzochte stoffen op het beschikbare grondoppervlak en plantoppervlak ongeveer 50% is. Voor het deel dat op het oppervlak van het eetbare deel van de plant (in dit geval paprika) terecht komt, werd eveneens 50% aangenomen. Dus een opname door de paprika van 25% van de met CO₂-gas ingebrachte stoffen. Witteveen+Bos berekende het gemiddelde gehalte van de onderzochte stoffen in paprika en hoeveel paprika's een gemiddeld persoon gemiddeld per week zou mogen eten uit die kas (indien uitsluitend gebruik is gemaakt van CO₂ afkomstig van de AVI). Dit was wekelijks ruim 50 paprika's waarbij dioxine maatgevend was; voor PFAS en zware metalen waren de aantallen vele malen hoger (Schakel, 2023).

Naar aanleiding van dit document zijn door ODNZKG eind 2024 enkele, verhelderende vragen gesteld die door Witteveen+Bos in 2025 (Schakel, 2025) zijn beantwoord (zie Appendix 3).

Verontreinigingen in afgevangen CO₂

In Zweden is onderzocht in hoeverre Zweedse afvalverbrandingsinstallaties PFAS naar het milieu uitstoten. Van de 38 afvalverbrandingsinstallaties in Zweden namen 27 (in totaal 31 ovens) deel aan het project. De verzamelde monsters van bodem- en vlieg-as en condensaat werden geanalyseerd op 27 verschillende PFAS. Detecteerbare concentraties tussen 0,18 en 37,71 µg/kg PFAS-27 in vlieg-as werden aangetroffen in 15 van de 31 ovens. In 12 van 15 monsters lag de totale PFAS-27-concentratie onder de 2 µg/kg. Drie monsters hadden concentraties boven 21,3 µg/kg. De meest voorkomende PFAS waren totale PFCA's met een groot aandeel aan PFCA's met een korte keten. In 5 verbrandingsinstallaties werd in geen enkel monster PFAS-27 aangetroffen boven de detectielimiet. De onderzoekers concludeerden dat in het algemeen lage concentraties werden gevonden maar dat hoge verbrandingstemperaturen of een hoog aandeel van een bepaald soort afval geen garantie waren voor lage PFAS-concentraties (Strandberg et al., 2021; Björklund et al., 2023).

In een notitie van AEB Amsterdam aan de Omgevingsdienst Noordzeekanaal (d.d. 27 februari 2023) is te lezen dat AEB zal voldoen aan door de afnemer (OCAP) gestelde eisen voor CO₂ met het oog op de toepassing in de glastuinbouw. Verder geeft AEB aan dat PAK's niet of nauwelijks zullen worden gevormd in het verbrandingsproces omdat de werking van de ovens is afgestemd op een zo volledig mogelijke verbranding en deze stoffen zijn dus ook niet te verwachten in rookgassen en (dus ook niet in de afgevangen) CO₂. AEB stelt dat bij de ingaande afvalstromen de stoffen relevant zijn die niet verbranden in de oven (bij 850°C, zoals metalen, PFAS). Daarnaast zijn de stoffen die worden gevormd bij het (afkoelings)proces (dioxines) mogelijk relevant (AEB Amsterdam, 27 februari 2023). Volgens informatie van de sector zal CO₂ niet worden afgevangen bij procesverstoringen in de afvalverbrandingscentrale/rookgasreiniging; dit wordt voorkomen door rookgaskleppen die worden aangestuurd op basis van continue emissiemeting.

AEB stelt verder dat voor de ingaande afvalstoffen wordt geëist dat voor ZZS de maximale concentratiegrenswaarde 0,1% g/g (1 g/kg) is. Dit is middels acceptatievoorwaarden en ingangscontroles geborgd. De vorming van nitrosamines is gelet op het ontwerp van de installatie niet te verwachten (AEB Amsterdam, 27 februari 2023).

Samenvattend, de stoffen die in het afgevangen CO₂ kunnen voorkomen, zijn dioxinen, PFAS en metalen. Onduidelijk is in hoeverre andere verontreinigingen kunnen voorkomen in afgevangen CO₂.

Gevarenkarakterisatie

Omdat de samenstelling van afgevangen CO₂ niet (altijd) bekend is en het ook goeddeels onbekend is welke stoffen in het afgevangen CO₂ zullen voorkomen, zal worden bekeken wat het effect is van verontreinigingen in CO₂ per orde van grootte (bijvoorbeeld ng/kg CO₂). Voor een aantal stoffen zal het gezondheidkundige effect nader worden bekeken. Het betreft dioxinen, PFAS, zware metalen, kwik, furanen, bisfenol A, en PAK's. Dit zijn stoffen die vanuit toxicologisch oogpunt belangrijk zijn in voedingsmiddelen en die mogelijk te verwachten zijn als verontreiniging in afgevangen CO₂.

Gezondheidkundige grenswaarden

Dioxinen

EFSA heeft onlangs de gezondheidkundige grenswaarden voor polychloordibenzodioxinen (PCDD's) en polychloordibenzofuranen (PCDF's) en dioxine-achtige polychloorbifenylen (DL-PCB's) in voedsel en voeder, gebaseerd op de 2022 WHO Toxic Equivalency Factors (WHO₂₀₂₂-TEF's) herzien¹ (EFSA

¹ Omdat de potentie van de verschillende dioxinen en dioxine-achtige-PCB's voor toxische effecten verschillen, zijn Toxic Equivalency Factors (TEF's) ontwikkeld voor die congenen die in de mens accumuleren. 2,3,7,8-

Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2026). Een afname in spermaconcentraties ten gevolge van vroege blootstelling aan deze stoffen wordt nog steeds gezien als het kritische effect. EFSA heeft een TWI (tolerable weekly intake) afgeleid van 0,6 pg WHO₂₀₂₂-TEQ (toxiciteitsequivalenten)/kg lichaamsgewicht per week. De gemiddelde blootstelling aan deze stoffen (lower bound (LB) tot upper bound (UB)) van de Europese, volwassen populaties varieerde van 1,87 tot 6,10 pg WHO₂₀₂₂-TEQ/kg lichaamsgewicht per week, en voor de P95 (hoge blootstelling op 95% van de verdeling) van 4,15 tot 12,0 pg WHO₂₀₂₂-TEQ/kg lichaamsgewicht per week (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2026).

PFAS

Voor een groep van 4 PFAS (PFAS4), bestaande uit PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS, heeft EFSA (2020) een TWI afgeleid van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week gebaseerd op effecten op het immuunsysteem. EFSA gaat uit van een gelijke potentie voor deze 4 PFAS (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2020a).

Zware metalen

EFSA heeft voor cadmium (Cd) een TWI afgeleid van 2,5 µg/kg lichaamsgewicht per week op basis van niertoxiciteit (European Food Safety Authority, 2009).

Voor lood (Pb) heeft EFSA in 2010 de volgende BMDL's afgeleid (met MOE's ≥10). BMDL₀₁ op basis van neurotoxiciteit (IQ): 0,50 µg/kg lichaamsgewicht per dag; BMDL₀₁ op basis van een toename van systolische bloeddruk: 1,50 µg/kg lichaamsgewicht per dag; BMDL₁₀ voor prevalentie van chronische nierziekte: 0,63 µg/kg lichaamsgewicht per dag (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010).

Voor nikkel (Ni) heeft EFSA een TDI van 13 µg/kg lichaamsgewicht per dag afgeleid op basis van een verhoogde incidentie van verlies na implantatie bij ratten (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2020b).

Voor kwik (Hg) heeft EFSA in 2012 een TWI voor anorganische kwik afgeleid op basis van niertoxiciteit van 4 µg/kg lichaamsgewicht per week. Voor methylkwik werd de TWI 1,3 µg/kg lichaamsgewicht per week uitgedrukt als kwik (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2012).

Furanen

Furanen zijn levertoxisch in ratten en muizen. EFSA heeft voor niet-neoplastische effecten een BMDL₁₀ bepaald voor furanen van 0,064 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor de incidentie van cholangiofibrose in ratten (MOE=100). Voor neoplastische effecten werd een BMDL₁₀ van 1,31 mg/kg lichaamsgewicht per dag afgeleid. Er waren geen data beschikbaar voor methylfuranen (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2017).

Bisfenol A

Voor bisfenol A (BPA) werd een effect op Th17-cellen bij muizen aangemerkt als het kritische effect. Voor dit kritische effect werd een referentiepunt vastgesteld (8,2 ng/kg lichaamsgewicht per dag) en na toepassing van een veiligheidsfactor (50), is de TDI 0,2 ng BPA/kg lichaamsgewicht per dag (EFSA Panel on Food Contact Materials et al., 2023).

PAK's

Voor de verschillende PAK's heeft EFSA verschillende BMDL₁₀'s bepaald (MOE=10.000). BMDL₁₀ staat voor 10% toename van het aantal dieren met tumoren vergeleken met controledieren. Voor benzo(a)pyreen (als merker voor carcinogene PAK's in voedingsmiddelen) de BMDL₁₀ is 0,07 mg/kg lichaamsgewicht per dag. Voor PAK4 (de som van benzo(a)pyreen, chryseen, benz(a)anthraceen en benzo(b)fluorantheen) de BMDL₁₀ is 0,34 mg/kg lichaamsgewicht per dag en voor PAK8 (de som van benzo(a)pyreen, chryseen, benz(a)anthraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, benzo(ghi)peryleen, dibenz(a,h)anthraceen en indeno(1,2,3-cd)pyreen) de BMDL₁₀ is 0,49 mg/kg lichaamsgewicht per dag (European Food Safety Authority, 2008).

TCDD is de meest toxische dioxine en krijgt een TEF-waarde van 1. Aan de hand van de TEF's kunnen de gewogen dioxinegehalten worden opgeteld en als Toxische Equivalent (TEQ) van het mengsel worden bepaald.

Blootstellingsschatting

CO₂-concentraties in kassen en opname door planten

De CO₂-concentraties in een kas fluctueren over dag en seizoen, en zijn afhankelijk van de CO₂-doseringsstrategie, het type installatie en de mate van ventilatie. Factoren die de CO₂-behoefte van planten beïnvloeden, zijn de gewasopname en de concentratie in de kas (van Tuyl et al., 2022). Door ventilatieverliezen kan een hoeveelheid CO₂ van 10 tot 70 kg per m² verloren gaan; dit kan tot 85% verlies van de ingebrachte CO₂ via ventilatie zijn. Om de CO₂-concentratie in de kas op het buitenluchtniveau te houden (350-370 ppm) is in de zomerperiode overdag tot 50 CO₂ kg/m² per uur nodig om de gewasopname te compenseren. Bij een CO₂-gehalte van 700 ppm in de kas neemt het gewas in de zomerperiode tot 65 kg CO₂/ha per uur op. De CO₂-concentraties in de kassen waarop wordt gestuurd, liggen rond 400-600 ppm in de zomer en rond 600-1000 ppm bij assimilatiebelichting. Als de CO₂-concentratie tot 700 ppm toeneemt kan bij voldoende licht, >500 W per m², dit oplopen tot 65 kg/uur per ha. Afhankelijk van het vochtgehalte van de vrucht geeft 1 gram CO₂-opname voor fotosynthese 4 (paprika), 5 (aubergine), 6 (tomaat) tot 11 (komkommer) gram vrucht. Voor het handhaven van een realistisch CO₂-regime is 62 kg CO₂/m² nodig (0,62 kton CO₂/ha). Voor de CO₂-behoefte van het gewas (de gewasopname) is op jaarbasis 13 tot 15 kg CO₂ per m² nodig, afhankelijk van de gevoerde CO₂ strategie (Vermeulen & van der Lans, 2010; Vermeulen, 2011) (zie Appendix 5).

De verhouding tussen wat een gewas opneemt en wat er daadwerkelijk in de kas moet worden ingeblazen, hangt sterk af van het type kas (GlastuinbouwNL, 2020). Traditionele open kassen hebben een lage efficiëntie en jaarlijks moet gemiddeld 45 tot 55 kg CO₂ per m² ingeblazen om de streefwaarde van 800-1000 ppm te halen. Een groot gedeelte ontsnapt via de openstaande luchtramen en ongeveer 25% van de ingeblazen CO₂ wordt benut door de plant. (Semi-)gesloten of geconditioneerde kassen hebben een hogere efficiëntie) en door lichtafhankelijke sturing en beperkte luchtverversing is er op jaarbasis 14 tot 18 kg CO₂/m² nodig om dezelfde productie te halen. De netto opname door het gewas blijft gelijk (circa 13 kg/m²), omdat de planten niet méér kunnen verwerken (de Gelder et al., 2014).

Gelder et al. (de Gelder et al., 2012) hebben onderzocht wat de gevolgen zijn van een verlaging van de CO₂-doseercapaciteit op de ontwikkeling en productie van tomaat. Met een beperkte dosering van CO₂ blijkt de teelt heel goed mogelijk. Een verschil van 50% in dosering (46,2 versus 23,2 kg/m² per jaar) resulteerde in een gering verschil in productie van 1 kg/m² (65,7 versus 64,7 kg/m²).

In 2030 zou de geschatte CO₂-consumptie kunnen dalen naar 13 kg/m² (Smit & Grootcholten, 2024). Een van de opvallende veranderingen van de afgelopen dertig jaar is dat de CO₂-concentratie in de buitenlucht is gestegen van gemiddeld 300 naar 400 ppm (de Jonge, 2020). In een kas wordt 800 ppm CO₂ gemiddeld gebruikt.

Raaphorst et al. hebben voor 6 verschillende scenario's (standaard kas met en zonder minimumbuis, volledig gesloten kas, verschillende ventilaties) klimaats-, energie- en productiecijfers berekend voor tomaat. Per scenario bedroeg de CO₂-doserings respectievelijk 39,7 28,2 15,1 15,1 27,9 en 23,4 kg. Maximaal werd 130 kg CO₂/ha per uur gedoseerd (Raaphorst, 2005). In het rekenmodel KASPRO werd een CO₂-doserings van 15-40 kg/m² per jaar berekend, geproduceerd uit het verstookte aardgas. Er zijn verschillen tussen gewassen. Zo wordt bij tomaat minder geschermd en is het warmtegebruik hoger dan bij komkommer en paprika. Anderzijds zouden paprika en komkommer meer productieverhoging uit kaskoeling kunnen realiseren dan tomaat. Bij komkommer kan de snelle reactie op een verhoogde CO₂-concentratie en een verhoogde relatieve vochtigheid tot meer productieverhoging leiden dan bij tomaat (Raaphorst et al., 2005; Elings et al., 2011).

Raaphorst en Kempkes (2019) hebben voor 6 gewassen (waaronder tomaat, komkommer en paprika) simulaties uitgevoerd en berekend hoeveel CO₂ door het gewas werd opgenomen en hoeveel productie daarmee werd gegenereerd op jaarbasis. Uit de tabel (zie Appendix 6) blijkt dat bij gewassen met een WKK meestal een maximale doseercapaciteit van 200 kg CO₂/ha per uur en een streefwaarde van 1000 ppm als optimale combinatie is gesimuleerd. Voor 'ketel' is dit respectievelijk 100 en 700 ppm. Uit de simulaties voor (belichte) tomaat bleek dat de CO₂-doserings bij verschillende streefwaarden (700-1000 ppm) en bronnen (inkoop, ketel, WKK) varieerde van 44,4 tot 110,4 kg/m² en de CO₂-opname van 11,7 tot 12,8 kg/m². Uit de simulaties voor paprika bleek dat de CO₂-doserings bij verschillende streefwaarden (700-1000 ppm) en bronnen (inkoop, ketel, WKK) varieerde van 25,1 tot 64,4 kg/m² en de CO₂-opname van 5,8 tot 7,4 kg/m². Uit de simulaties voor paprika volgens Het Nieuwe Telen (HNT) was dit respectievelijk 18,6 tot 56,0 kg/m² en 5,7 tot 7,2 kg/m². Uit de simulaties voor komkommer bleek dat de CO₂-doserings bij

verschillende streefwaarden (700-1000 ppm) en bronnen (inkoop, ketel, WKK) varieerde van 23,3 tot 56,3 kg/m² en de CO₂-opname van 6,0 tot 7,0 kg/m².

Uit deze simulaties bleek dat tomaat de hoogste CO₂-dosering vraagt en ook de hoogste CO₂-opname heeft. Gemiddelde CO₂-opname waren voor respectievelijk tomaat 12,2, paprika 6,4, komkommer 6,4 en paprika HNT 6,3 kg/m². Uit deze simulaties blijkt verder dat van de CO₂-dosering 16-20% werd opgenomen (Raaphorst & Kempkes, 2019).

Deze resultaten worden onderschreven door (de Gelder et al., 2014): tomatenplanten nemen ongeveer 13 tot 14 kg CO₂/m² op.

Voor de blootstellingsberekeningen zal worden uitgegaan van een CO₂-opname door planten in kassen van in geblazen CO₂ van 15 kg/m².

Verontreinigingen in CO₂

De samenstelling van afgevangen CO₂ uit afvalverbrandingsinstallaties, industrie of scheepvaart zal wisselen en afhankelijk zijn van wat wordt verbrand, bij welke temperatuur en hoe de reinigingsprocessen zijn ingericht. Voor de blootstellingsschatting zijn verontreinigingen met dioxinen, PFAS, metalen, furanen, bisfenol A en PAK's als uitgangspunten gebruikt. Het is de bedoeling om na te gaan wanneer een mogelijk gezondheidseffect kan optreden voor de consument die altijd aubergine, komkommer, paprika of tomaat eet die afkomstig is van een kas waarin uitsluitend gerecycled CO₂ wordt gebruikt.

Glastuinbouw

In Nederland worden in de kas vooral tomaten, paprika's, komkommers en aubergines verbouwd. In 2023 namen deze groenten samen in totaal 4,1 duizend hectare in beslag (CBS, 2024).

Op basis van een dosering van 15 kg CO₂/m² per jaar, een jaarronde productie, de totale productie van de groenten en de geoogste hoeveelheden, zijn de volgende berekeningen gemaakt voor de 4 in Nederland meest verbouwde groenten in kassen.

In Tabel 1 is de teeltoppervlakte en oogst weergegeven in Nederland (bron: (CBS Statline, 2025). Ook is de portiegrootte van de (rauwe) groenten weergegeven op basis van informatie van RIVM over portiegroottes (RIVM, 2026a). Voor aubergine was de portiegrootte zonder afval niet opgenomen in de database; voor oneetbare delen van aubergine is 5% aangenomen.

Tabel 1. Teeltoppervlakte, oogst en (rauwe) porties van de vier meest verbouwde groenten in kassen in Nederland (bronnen: (CBS Statline, 2025; RIVM, 2026a)

	Teeltoppervlakte, ha	Oogst, mln kg	Oogst, kg/m²	Portiegrootte met/zonder afval, g
Aubergine	108	55,8	51,67	400/380*
Komkommer	638	427,5	67,01	420/399
Paprika	1633	434,4	26,60	170/136
Tomaat	1915	938,4	49,00	94/89

* 5% afval aangenomen

Mogelijke verontreiniging in groenten uit de glastuinbouw

Bij de teelt in kassen, vergeleken met teelt in de open lucht, is de grond of het substraat vaak afgedekt. Stoffen in de lucht kunnen worden opgenomen via contact met de plant (depositie). De exacte depositie van stoffen uit de lucht op planten is onbekend. Daarom zijn in de volgende berekeningen 3 scenario's bekeken: 25%, 50% en 100% opname door planten van een verontreiniging in CO₂. In Tabel 2 is met behulp van de jaargemiddelde dosering van CO₂ in kassen, de jaarproductie van groenten in kassen, de oogsthoeveelheden en de aanname dat uitsluitend gebruik wordt gemaakt van het gerecyclede CO₂ (dus geen andere bron van ingeblazen CO₂), de hoeveelheid verontreiniging in de groenten geschat. Het gaat hier dus niet over een bepaalde stof maar het betreft een generieke aanpak.

Tabel 2. Hoeveelheid verontreiniging in CO₂ in de orde van pg/kg, ng/kg, µg/kg, mg/kg, 10 mg/kg, 0,1 g/kg, g/kg en 10 g/kg (w/w) bij CO₂-opname van gemiddeld 15 kg/m² per jaar; hoeveelheid verontreiniging per kg groente, uitgaande van 100% opname van de verontreiniging uit CO₂ per kg groente

Hoeveelheid verontreiniging in CO ₂	Verontreiniging, g/m ²	Aubergine, verontreiniging/kg	Komkommer, verontreiniging/kg	Paprika, verontreiniging/kg	Tomaat, verontreiniging/kg
0,00000000000001% (pg/kg)	0,0000000000015	0,29 pg	0,22 pg	0,56 pg	0,31 pg
0,0000000001% (ng/kg)	0,000000015	0,29 ng	0,22 ng	0,56 ng	0,31 ng
0,0000001% (µg/kg)	0,000015	0,29 µg	0,22 µg	0,56 µg	0,31 µg
0,0001% (mg/kg)	0,015	0,29 mg	0,22 mg	0,56 mg	0,31 mg
0,001% (10 mg/kg)	0,15	2,9 mg	2,2 mg	5,6 mg	3,1 mg
0,01% (0,1 g/kg)	1,5	0,029 g	0,022 g	0,056 g	0,031 g
0,1% (g/kg)	15	0,29 g	0,22 g	0,56 g	0,31 g
1,0% (10 g/kg)	150	2,9 g	2,2 g	5,6 g	3,1 g

In Tabel 2 wordt ervan uitgegaan dat de ingeblazen CO₂ plus verontreinigingen volledig (100%) wordt opgenomen door de plant. Mogelijk wordt slechts een deel van de verontreinigingen opgenomen door de plant via de lucht. In Tabel 3 zijn de concentraties verontreinigingen per kg groente berekend als 25% en 50% van de verontreiniging wordt opgenomen.

Tabel 3. Hoeveelheid verontreiniging in CO₂ in de orde van pg/kg, ng/kg, µg/kg, mg/kg, 10 mg/kg, 0,1 g/kg, g/kg en 10 g/kg (w/w) bij CO₂-opname van gemiddeld 15 kg/m² per jaar; hoeveelheid verontreiniging per kg groente als 25% en 50% van de verontreiniging wordt opgenomen per kg groente

Hoeveelheid verontreiniging in CO ₂	Aubergine, per kg	Komkommer, per kg	Paprika, per kg	Tomaat, per kg	Aubergine, per kg	Komkommer, per kg	Paprika, per kg	Tomaat, per kg
	50% opname uit CO ₂				25% opname uit CO ₂			
0,00000000000001% (pg/kg)	0,15 pg	0,11 pg	0,28 pg	0,16 pg	0,07 pg	0,06 pg	0,14 pg	0,08 pg
0,0000000001% (ng/kg)	0,15 ng	0,11 ng	0,28 ng	0,16 ng	0,07 ng	0,06 ng	0,14 ng	0,08 ng
0,0000001% (µg/kg)	0,15 µg	0,11 µg	0,28 µg	0,16 µg	0,07 µg	0,06 µg	0,14 µg	0,08 µg
0,0001% (mg/kg)	0,15 mg	0,11 mg	0,28 mg	0,16 mg	0,07 mg	0,06 mg	0,14 mg	0,08 mg
0,001% (10 mg/kg)	1,5 mg	1,1 mg	2,8 mg	1,6 mg	0,7 mg	0,6 mg	1,4 mg	0,8 mg
0,01% (0,1 g/kg)	0,015 g	0,011 g	0,028 g	0,016 g	0,007 g	0,006 g	0,014 g	0,008 g

0,1% (g/kg)	0,15 g	0,11 g	0,28 g	0,16 g	0,07 g	0,06 g	0,14 g	0,08 g
1,0% (10 g/kg)	1,5 g	1,0 g	2,8 g	1,6 g	0,7 g	0,6 g	1,4 g	0,8 g

In Tabel 4 is de hoeveelheid verontreiniging per kg eetbare groente (zie Tabel 1) bij 100%, 50% en 25% opname van een verontreiniging uit CO₂ berekend. Dit gaat ervan uit dat een verontreiniging uit CO₂ homogeen verdeeld in de plant aanwezig is en dat het niet-eetbare deel niet wordt gegeten door de consument.

Tabel 4. Hoeveelheid verontreiniging per kg eetbaar product bij 100%, 50% en 25% opname van een verontreiniging uit CO₂

Hoeveelheid verontreiniging in CO ₂	Auber-gine	Kom-kommer	Paprika	Tomaat	Auber-gine	Kom-kommer	Paprika	Tomaat	Auber-gine	Kom-kommer	Paprika	Tomaat
	100% opname uit CO ₂				50% opname uit CO ₂				25% opname uit CO ₂			
0,00000000000001% (pg/kg)	0,28 pg	0,21 pg	0,45 pg	0,29 pg	0,14 pg	0,10 pg	0,22 pg	0,15 pg	0,07 pg	0,05 pg	0,11 pg	0,07 pg
0,00000000001% (ng/kg)	0,28 ng	0,21 ng	0,45 ng	0,29 ng	0,14 ng	0,10 ng	0,22 ng	0,15 ng	0,07 ng	0,05 ng	0,11 ng	0,07 ng
0,0000001% (µg/kg)	0,28 µg	0,21 µg	0,45 µg	0,29 µg	0,14 µg	0,10 µg	0,22 µg	0,15 µg	0,07 µg	0,05 µg	0,11 µg	0,07 µg
0,0001% (mg/kg)	0,28 mg	0,21 mg	0,45 mg	0,29 mg	0,14 mg	0,10 mg	0,22 mg	0,15 mg	0,07 mg	0,05 mg	0,11 mg	0,07 mg
0,001% (10 mg/kg)	2,8 mg	2,1 mg	4,5 mg	2,9 mg	1,4 mg	1,0 mg	2,2 mg	1,5 mg	0,7 mg	0,5 mg	1,1 mg	0,7 mg
0,01% (0,1 g/kg)	0,028 g	0,021 g	0,045 g	0,029 g	0,014 g	0,010 g	0,022 g	0,015 g	0,007 g	0,005 g	0,011 g	0,007 g
0,1% (g/kg)	0,28 g	0,21 g	0,45 g	0,29 g	0,14 g	0,10 g	0,22 g	0,15 g	0,07 g	0,05 g	0,11 g	0,07 g
1,0% (10 g/kg)	2,8 g	2,1 g	4,5 g	2,9 g	1,4 g	1,0 g	2,2 g	1,5 g	0,7 g	0,5 g	1,1 g	0,7 g

Innameberekeningen van de groenten uit de glastuinbouw

Tabel 5 geeft de consumptie van aubergine, komkommer, paprika en tomaat weer van peuters (12 tot en met 35 maanden) en volwassenen. De bron hiervan is de VCP 2012-2016 zoals weergegeven op de website van EFSA (EFSA, 2026). Peuters zijn in de regel de populatiegroep met de hoogste inname van stoffen per kg lichaamsgewicht en soms ook de meest gevoelige groep voor gezondheidseffecten.

Tabel 5. Consumptie VCP2012-2016 van EFSA-site, g/dag

	Peuters (12 t/m 35 maanden), g/dag		Volwassenen, g/dag	
	Gemiddeld	P95	Gemiddeld	P95
Aubergine	0,41	*	0,89	*
Komkommer	4,63	30,42	8,66	51,00
Paprika	1,37	7,45	6,55	30,32
Tomaat	7,11	45,45	21,99	102,64

* Onvoldoende informatie om een betrouwbare P95 te berekenen

Tabel 6 toont voor de drie scenario's (100%, 50% en 25% opname van een verontreiniging uit CO₂), wat de inname van een verontreiniging is bij gemiddelde consumptie (aubergine) of P95-consumptie (komkommer, paprika en tomaat). Uitgangspunten zijn hierbij dat de groenten altijd uit de kas komen en dat in de kas uitsluitend gebruik is gemaakt van het gerecyclede CO₂.

Tabel 6. Inname van een verontreiniging bij verschillende opnamescenario's (100%, 50% en 25% opname uit CO₂) door peuters (12 kg) en volwassenen (60 kg) bij een veronderstelde verontreiniging van 0,01% (100 mg/kg) als voorbeeld; lg=lichaamsgewicht

	Consumptie, g/dag	0,01% verontreiniging, mg/dag	µg/kg lg per dag	0,01% verontreiniging, mg/dag	µg/kg lg per dag	0,01% verontreiniging, mg/dag	µg/kg lg per dag
Aubergine, gemiddelde consumptie		100% opname uit CO₂		50% opname uit CO₂		25% opname uit CO₂	
Peuter	0,41	0,011	0,96	0,006	0,48	0,003	0,24
Volwassene	0,89	0,025	0,42	0,012	0,21	0,006	0,10
Komkommer, P95							
Peuter	30,42	0,639	53,2	0,304	25,4	0,152	12,7
Volwassene	51,00	1,07	17,9	0,510	8,5	0,255	4,3
Paprika, P95							
Peuter	7,45	0,335	27,9	0,164	13,7	0,082	6,83
Volwassene	30,32	1,36	22,7	0,667	11,1	0,334	5,56
Tomaat, P95							
Peuter	45,45	1,32	109,8	0,682	56,8	0,318	26,5
Volwassene	102,64	2,98	49,6	1,54	25,7	0,72	12,0

De hoogste inname van een verontreiniging komt van de consumptie van tomaat en is bij 0,01% (w/w) verontreiniging en een veronderstelde opname van de verontreiniging van 50% respectievelijk voor peuters (12 tot en met 35 maanden oud) en volwassenen 56,8 en 25,7 µg/kg lichaamsgewicht per dag.

Inname van contaminanten uit de dagelijkse voeding

Om te kunnen beoordelen of blootstelling aan verontreinigingen uit CO₂ die mogelijk in groenten uit kassen terecht kunnen komen een veiligheidsrisico vormen, moet de inname van deze stoffen uit de dagelijkse voeding in beschouwing worden genomen.

In Tabel 7 worden de dagelijkse innamen van de onderzochte stoffen die hier als voorbeeld dienen, gegeven. In de hiervoor geraadpleegde opinies van EFSA is specifiek gezocht naar innamen door de Nederlandse populatie. De inname kan worden weergegeven als gemiddelde en P95 (95^e percentiel van de innameverdeling) of als lower-bound (LB), medium-bound (MB) of upper-bound (UB) scenario. Bij een LB-berekening worden geanalyseerde concentraties <LOD of <LOQ meegenomen als zijnde 0; bij een MB-berekening worden geanalyseerde concentraties <LOD of

<LOQ meegenomen als zijnde $\frac{1}{2}$ LOD of $\frac{1}{2}$ LOQ; en bij een UB-berekening worden geanalyseerde concentraties <LOD of <LOQ meegenomen als zijnde LOD of LOQ. Geanalyseerde concentraties $\geq$ LOD of $\geq$ LOQ worden als gemeten waarde meegenomen.

Tabel 7. Chronische inname van contaminanten uit de voeding van peuters (12 tot en met 35 maanden; 12 kg) en volwassenen (60 kg);
lg=lichaamsgewicht

	Gemiddeld			P95			Bron*
	LB	MB	UB	LB	MB	UB	
Dioxinen+dioxine-achtige PCB's, pg WHO ₂₀₂₂ TEQ/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2026); Europese bevolking; 29 stoffen
Peuters	0,62		2,35	1,23		4,72	Mediane UB: 1,86 en 0,56
Volwassenen	0,27		0,81	0,59		2,09	Mediane UB: 3,08 en 1,25
PFAS (4), ng/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2020a); NL 2007-2010; VCP jonge kinderen 2005/2006
Peuters	1,47		87,6 4	4,27		185,6 0	
Volwassenen	0,57		18,0 9	1,99		38,49	
Cadmium (Cd), µg/kg lg per dag							(European Food Safety Authority, 2012); VCP jonge kinderen 2006/2006, VCP 2003 voor volwassenen
Peuters	0,426	0,570	0,71 4	0,671	0,841	1,04	
Volwassenen	0,196	0,240	0,28 4	0,333	0,396	0,460	
Lood (Pb), µg/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010; European Food Safety Authority et al., 2025), Tabel C5 voor Nederland (VCP 2012-2016)
Peuters	0,66		1,41	1,02		2,06	
Volwassenen	0,22		0,45	0,39		0,75	
Nikkel (Ni), µg/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2020b)
Peuters	8,53		10,1	16,1		17,9	
Volwassenen	2,90		3,41	5,66		6,30	
Totaal Hg, µg/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2012); VCP jonge kinderen 2005/2006 en VCP 2003 voor volwassenen
Peuters	0,05	0,17	0,28	0,12	0,32	0,58	
Volwassenen	0,03	0,06	0,09	0,08	0,11	0,15	
Furanen, µg/kg lg per dag							(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et al., 2017); som van furaan, 2- en 3-

							methyلفuraan; VCP jonge kinderen 2005/2006, VCP 2007-2010 voor volwassenen
Peuters	0,38	0,44	0,49	0,63	0,73	0,81	
Volwassenen	1,67	1,70	1,72	4,51	4,53	4,55	
Bisfenol A, ng/kg lg per dag**							(EFSA Panel on Food Contact Materials & Aids, 2015); VCP jonge kinderen 2005/2006, VCP 2003 voor volwassenen
Peuters		97/375			178/857		
Volwassenen		45/159			85/131		
PAK's (PAK4), ng/kg lg per dag							(European Food Safety Authority, 2008)
Hele Europese populatie	19,5			P97,5: 34,5			

* Bronnen zijn EFSA-opinies waarin gezocht is naar inname van stoffen voor Nederland. Hier wordt aangegeven op basis van welke Nederlandse voedselconsumptiepeiling de inname is berekend.

** Scenario 1/scenario 2: in scenario 1 zijn alleen voedingsmiddelen meegenomen die specifiek zijn gecodeerd als ingeblikt en waarvan dan wordt aangenomen dat ze bisfenol A bevatten; in scenario 2 zijn alle voedingsmiddelen die in tenminste 1 voedselconsumptieonderzoek zijn aangemerkt als ingeblikt, beschouwd als ingeblikt (waarschijnlijk een overschatting van de inname).

Voedingsmiddelen

De consument wordt aan CO₂ blootgesteld voornamelijk via de consumptie van bier en frisdrank met prik. Een liter frisdrank bevat 5-8 g CO₂. Ook aan bier, afhankelijk van het type bier, wordt 5-8 g CO₂ per liter toegevoegd.

De gemiddelde Nederlander drinkt ongeveer 86 liter frisdrank per jaar. Gemiddeld krijgt de Nederlander uit frisdrank dan 559 g CO₂ binnen per jaar (1,5 g/dag). Frisdrank is populair onder Nederlandse jongeren. Recent onderzoek van de GGD Amsterdam en de Vrije Universiteit Amsterdam wees uit dat jongeren van 12 tot en met 16 jaar gemiddeld 9,5 glas suikerhoudende frisdrank per week drinken en de helft drinkt zelfs 16,5 glas per week (NOS Nieuws, 3 maart 2026). Alleen al voor suikerhoudende frisdranken is de consumptie onder jongeren dan gemiddeld 271 ml per dag (glazen van 200 ml) en de inname van CO₂ 2,2 g per dag.

De VCP 2019-2021 liet zien dat de gemiddelde bierconsumptie van volwassenen tot 80 jaar 73,3 g/dag was (RIVM, 2026b). Dit betekent een inname van gemiddeld ongeveer 174 g CO₂ per jaar (0,5 g/dag) uit bier.

Risicokarakterisatie

Glastuinbouw

De hoogste inname van een verontreiniging (contaminant) uit CO₂ in kassen zal komen van de consumptie van tomaat. Bij 0,01% verontreiniging (100 mg/kg) en 25% opname is dit voor peuters en volwassenen respectievelijk 26,5 en 12,0 µg/kg lichaamsgewicht per dag en bij 50% opname respectievelijk 56,8 en 25,7 µg/kg lichaamsgewicht per dag.

Voor een verontreiniging van 1 µg/kg CO₂ (0,0000001%), is de inname via tomaat (50% opname) van peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 ng/kg lichaamsgewicht per dag.

Voor een verontreiniging van 1 ng/kg CO₂ (0,000000001%), is de inname via tomaat (50% opname) van peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 pg/kg lichaamsgewicht per dag.

In Verordening (EU) 2023/915 betreffende maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen is alleen een maximum gehalte voor cadmium in aubergine opgenomen van 0,030 mg/kg. Voor de hier onderzochte stoffen en andere groenten zijn geen maximum gehalten opgenomen in de Verordening.

In Tabel 8 wordt de chronische, hoge inname vergeleken met de gezondheidkundige grenswaarde van de hier onderzochte stoffen. Voor de chronische inname zijn samenstellingsgegevens gebruikt zoals die op dat moment bekend waren (bij EFSA). Het is dus een schatting van de totale inname. Hierbij is niet gekeken naar waar bijvoorbeeld de groenten vandaan kwamen.

Opmerking 1 over dagelijkse inname

Onder Opmerking 1 in Tabel 8 wordt weergegeven of bij de huidige inname (dus exclusief de mogelijke toevoeging uit CO₂ die wordt ingeblazen in kassen) de gezondheidkundige grenswaarde wordt overschreden. In dat geval kunnen nadelige gezondheidseffecten niet worden uitgesloten.

Opmerking 2 over voorbeelden van concentraties in CO₂

Onder Opmerking 2 in Tabel 8 is gekeken met de geschatte inname van een verontreiniging (op basis van tomaat en 50% opname van verontreinigingen uit CO₂) wat de bijdrage van de verontreiniging uit afgevangen CO₂ kan zijn aan de totale inname door de mens. Als voorbeeld zijn hiervoor de (naar boven afgeronde) concentraties van stoffen in CO₂ gebruikt zoals vermeld in de notitie van Witteveen+Bos (Schakel, 2023).

Tabel 8. Chronische, hoge inname van contaminanten in de dagelijkse voeding in **ng/kg lichaamsgewicht per dag** vergeleken met gezondheidkundige grenswaarden. Bij voorkeur is de MB P95 van een MB-scenario gebruikt en, indien niet beschikbaar, de UB van P95

	Inname peuters, 12 t/m 35 maanden	Inname volwassenen	Gezondheidkundige grenswaarde*	Opmerking 1, inname uit dagelijkse voeding	Opmerking 2, voorbeelden gebaseerd op de door Witteveen+Bos (2023) aangegeven concentraties in afgevangen CO₂**
Dioxinen (PCDD/F's) en dioxine- achtige- PCB's, P95 UB	0,00472	0,00209	TWI=0,6 pg WHO ₂₀₂₂ TEQ/kg lg per week (0,000086 ng/kg lg per dag)	De TWI wordt bij de geschatte inname overschreden	Uitgaande van 15 kg CO ₂ /m ² en 50% opname van tomaat, levert een verontreiniging met 0,1 ng TEQ/kg CO ₂ voor een peuter 0,057 en voor een volwassene 0,026 pg/kg lg per dag. Met andere woorden de bijdrage van de consumptie van tomaat uit de kas is dan respectievelijk 1,2% en 1,2% aan de dagelijkse inname van dioxinen
PFAS (4)	185,6	38,5	TWI=4,4 ng/kg lg per week (0,63 ng/kg lg per dag)	De TWI wordt overschreden	Een inname van 30 ng/kg CO ₂ (0,0171 ng/kg lg per dag voor peuters) betekent een 0,009% bijdrage aan de inname
Cadmium	841	396	TWI=2,5 µg/kg lg per week (357 ng/kg lg per dag)	De TWI wordt overschreden	Een inname van 10 µg/kg CO ₂ (5,7 ng/kg lg per dag voor peuters) betekent een 0,7% bijdrage aan de inname.
Lood	2060	750	BMDL ₀₁ neurotoxiciteit (IQ, kinderen): 500 ng/kg lg per dag (MOE >10); BMDL ₁₀ prevalentie chronische nierziekte (volwassenen): 630 ng/kg lg per dag (MOE >10)	De gezondheidkundige grenswaarde wordt overschreden	Een inname van 10 µg/kg CO ₂ (5,7 ng/kg lg per dag voor peuters) betekent een 0,3% bijdrage aan de inname
Nikkel	17900	6300	TDI=13.000 ng/kg lg per dag	Bij inname van peuters maar niet van volwassenen wordt de gezondheidkundige grenswaarde overschreden	Een inname van 10 µg/kg CO ₂ (5,7 ng/kg lg per dag voor peuters) betekent een 0,03% bijdrage aan de inname van peuters

Kwik	320	110	TWI anorganisch kwik=4 µg/kg lg per week (571 ng/kg lg per dag)	De inname van kwik ligt onder de grenswaarde voor peuters en volwassenen	Ruimte: 251 ng/kg lg per dag; theoretisch betekent dat dat een verontreiniging tot 440 µg/kg CO ₂ acceptabel is
Furanen	730	4530	BMDL ₁₀ =64000 ng/kg lg per dag (MOE=100)	De gezondheidkundige grenswaarde wordt overschreden	
Bisfenol A	178	85	TDI=0,2 ng/kg lg per dag	De TDI wordt overschreden; inname zal afnemen door recent verbod	
PAK's (PAK4), P97,5	277	55	BMDL ₁₀ =340.000 ng/kg lg per dag (MOE >10.000)	De geschatte, hoge inname overschrijdt de gezondheidkundige grenswaarde	

* lg= lichaamsgewicht

** Uit de notitie van Witteveen+Bos (2023) bleek dat de verontreinigingen per kg CO₂ in de orde van 0,1 ng-TEQ ligt voor dioxinen, 30 ng voor PFAS, 10 µg voor de som van Cd+Ni+Tl+Pb en 0,5 µg voor Hg.

De exacte samenstelling van CO₂ dat wordt afgevangen is niet bekend en zal variëren. De risicobeoordeling van bovenstaande stoffen, is wat BuRO betreft, voldoende kenmerkend voor de effecten van afgevangen CO₂ uit afvalverbrandingsinstallaties, industrie en scheepvaart op de voedselveiligheid van groenten verbouwd in de kassen.

Wanneer een gezondheidkundige grenswaarde wordt overschreden, is dit onwenselijk. Zoals uit Tabel 8 blijkt, zijn er overschrijdingen van gezondheidkundige grenswaarden op basis van de dagelijkse voeding van consumenten. Een overschrijding van de gezondheidkundige grenswaarde betekent niet altijd dat er een gezondheidseffect optreedt maar het kan ook niet worden uitgesloten. Er is geen rekening gehouden met mogelijke combinaties van gezondheidseffecten van meerdere stoffen/mengsels.

Uit de in Tabel 8 onder Opmerking 2 genoemde voorbeelden op basis van een realistisch geachte concentratie van een stof in CO₂ blijkt dat bij deze concentratie in CO₂ de verontreiniging die in groenten terechtkomt klein is en slechts beperkt zal bijdragen aan de totale inname van die stof. In hoeverre deze bijdrage acceptabel is en in hoeverre reductie van de totale inname middels andere voedingsmiddelen kan worden bereikt, zijn risicomanagementmaatregelen.

Voedingsmiddelen

Voor de consumptie van frisdranken met een inname van 2,2 g CO₂/dag en op basis van de concentraties aangegeven in de notitie van Witteveen+Bos (Schakel, 2023), betekent dit een additionele dagelijkse inname van ongeveer 0,00022 ng dioxinen, 0,066 ng PFAS, 0,022 µg som Cd+Ni+Tl+Pb en 0,0011 µg Hg. Dit betekent respectievelijk voor een 12-jarige (42 kg) per kg lichaamsgewicht per dag 0,000005 ng dioxinen, 0,002 ng PFAS, 0,5 ng som Cd+Ni+Tl+Pb en 0,03 ng Hg. Ook voor deze inname is de bijdrage aan de totale inname van de contaminanten minimaal (<0,2%).

Onzekerheden

Deze risicobeoordeling kent een aantal onzekerheden. Omdat de samenstelling van het gerecyclede CO₂ niet bekend is en kan variëren, is ervoor gekozen om na te gaan wanneer een mogelijk gezondheidseffect kan optreden voor de consument die aubergine, komkommer, paprika of tomaat eet die afkomstig is van een kas waarin uitsluitend gerecycled CO₂ wordt gebruikt.

De volgende onzekerheden/onbekenden moeten worden benoemd.

- De samenstelling en variatie in samenstelling van afgevangen CO₂ is niet bekend; mogelijk kunnen er ZZS in voorkomen die hier niet zijn onderzocht en die nog grotere gezondheidseffecten kunnen hebben. Ook zijn gezondheidseffecten van combinaties van stoffen niet bekeken.
- Het is niet bekend welke deel van verontreinigingen in CO₂ door planten worden opgenomen via de lucht. De aanname van 50% is conservatief. Verder zouden verontreinigingen kunnen neerslaan op (niet afgedekt) substraat en via de wortels kunnen worden opgenomen.
- Wanneer iemand alleen groenten uit een kas eet, kan de inname van verontreinigingen hoger zijn dan hier geschat omdat is uitgegaan van telkens 1 groente uit de kas. Een combinatie van consumpties van groenten uit kassen is niet bekeken maar kan worden berekend met bovenstaande uitgangspunten.
- Verliezen van verontreinigingen bij bereiding van groenten zijn niet meegenomen.

Conclusies

- De samenstelling van afgevangen CO₂ wordt bepaald door de mate waarin de stoffen in de verschillende proces- en reinigungsstappen worden verwijderd. Welke verontreinigingen en in welke concentraties in afgevangen CO₂ voorkomen, is niet (publiek) bekend.
- Verontreinigingen in afgevangen CO₂ zouden via de lucht door planten (aubergine, komkommer, paprika, tomaat) die in kassen in Nederland worden verbouwd, kunnen worden opgenomen.
- Gezien de hogere chronische (langetermijn) inname van tomaat, zal van de 4 meest in kassen in Nederland verbouwde groenten (aubergine, komkommer, paprika en tomaat), tomaat de hoogste bijdrage leveren aan de inname van verontreinigingen in CO₂-gas door de consument.
- Een verontreiniging van CO₂ van 1 µg/kg CO₂ (0,0000001%) draagt, op basis van berekeningen voor tomaat en uitgaande van 50% opname door de plant, voor peuters en volwassenen respectievelijk 0,57 en 0,26 ng/kg lichaamsgewicht per dag bij aan de inname van die stof.
- De gezondheidkundige grenswaarden van dioxinen, PFAS(4), cadmium, lood, furanen en PAK's en nikkel voor peuters worden bij chronische inname uit de voeding overschreden. Een additionele inname door het gebruik van afgevangen CO₂ in kassen is onwenselijk. Echter, de uit het afgevangen CO₂ mogelijk door de groente opgenomen additionele hoeveelheden verontreinigingen zijn minimaal.

- Eenzelfde conclusie geldt voor gebruik van CO₂ in voedingsmiddelen.

Referenties

- ABD TOPConsult, 2024. Verkenning maatwerkafspraken Afvalverbrandingsinstallaties. Den Haag, 65 pp.
- AEB Amsterdam, 27 februari 2023. Brief aan Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied over Toelichting Einde-Afval ten behoeve van vergunningsaanvraag CO₂-afvang; Bijlage 1: Intentieverklaring transport afgevangen CO₂ AEB Exploitatie B.V. door OCAP CO₂ B.V. ; Bijlage 2: Rapport 'ZZS in CO₂ voor kassengebied' door Witteveen + Bos. AEB, Amsterdam.
- Bakker J, Bokkers B & Broekman M, 2021. Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. RIVM, Bilthoven. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0143>
- Björklund S, Weidemann E & Jansson S, 2023. Emission of Per- and Polyfluoroalkyl Substances from a Waste-to-Energy Plant—Occurrence in Ashes, Treated Process Water, and First Observation in Flue Gas. Environ Sci Technol, 57 (27), 10089-10095. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08960>
- Boedijn A, Righini I, Kempkes F, Grit J & van Tuyll van Serooskerken A, 2025. CO₂ From Direct Air Capture For Greenhouse Horticulture [Webpagina]. Wageningen University & Research. Beschikbaar online: https://www.kasalsenergiebron.nl/content/kasalsenergiebron/docs/CO2/CO2_From_Direct_Air_Capture_WUR.pdf [Geraadpleegd: augustus 2026].
- CBS, 2024. Oppervlakte belangrijkste glasgroenten in tien jaar tijd gestegen [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/37/oppervlakte-belangrijkste-glasgroenten-in-tien-jaar-tijd-gestegen>
- CBS Statline, 2025. Groenteteelt; oogst en teeltoppervlakte per groentesoort [Webpagina]. Beschikbaar online: [Groenteteelt; oogst en teeltoppervlakte per groentesoort](https://statline.cbs.nl/rozet/teelt/groenteteelt)
- de Gelder A, Warmenhoven M, Dieleman A, Klapwijk P & van Baar P, 2014. CO₂ niet meer dan genoeg. Teelt van Tomaat in 2012 bij Improvement Centre met lichtafhankelijk doseren van CO₂. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 48 pp. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://edepot.wur.nl/294206>
- de Gelder A, Warmenhoven M, Kromdijk W, Meinen E, de Zwart F, Stolker H & Grootscholten M, 2012. Gelimiteerd CO₂ en het nieuwe telen. Tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 76 pp. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://edepot.wur.nl/212126>
- de Jonge H, 2020. Efficiënt CO₂ doseren is meer dan rekenen [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/12/10/efficiënt-co2-doseren-is-meer-dan-rekenen>
- EFSA, 2026. Food consumption [Webpagina]. EFSA. Beschikbaar online: <https://www.efsa.europa.eu/en/data-report/food-consumption>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010. Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Journal, 8 (4), 1570. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal, 10 (12), 2985. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Knutsen HK, Åkesson A, Bampidis V, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Degen G, Hernández-Jerez A, Hofer T, Hogstrand C, Landi S, Leblanc J-C, Machera K, Ntzani E, Oswald IP, Rychen G, Sand S, Vejdovsky K, Viviani B, del Mazo J, Hart A, Schrenk D, Cortiñas Abrahantes J, Borda-jandi LR, Riolo F, Tauriainen T & Hoogenboom R, 2026. Update of the risk assessment on dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal, 24 (6), e10103. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2026.10103>
- EFSA Panel on Food Contact Materials E, Aids P, Lambré C, Barat Baviera JM, Bolognesi C, Chesson A, Cocconcelli PS, Crebelli R, Gott DM, Grob K, Lampi E, Mengelers M, Mortensen A, Rivière G, Silano V, Steffensen I-L, Tlustos C, Vernis L, Zorn H, Batke M, Bignami M, Corsini E, FitzGerald R, Gundert-Remy U, Halldorsson T, Hart A, Ntzani E, Scanziani E, Schroeder H, Ulbrich B, Waalkens-Berendsen D, Woelfle D, Al Harraq Z, Baert K, Carfi M, Castoldi AF, Croera C & Van Loveren H, 2023. Re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. EFSA Journal, 21 (4), e06857. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.6857>
- EFSA Panel on Food Contact Materials E, Flavourings & Aids P, 2015. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. EFSA Journal, 13 (1), 3978. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3978>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Brüschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C,

- Hoogenboom L, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Chipman K, De Meulenaer B, Dinovi M, Mennes W, Schlatter J, Schrenk D, Baert K, Dujardin B & Wallace H, 2017. Risks for public health related to the presence of furan and methylfurans in food. *EFSA Journal*, 15 (10), e05005. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.5005>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregård L, Ceccatelli S, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F & Schwerdtle T, 2020a. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18 (9), e06223. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Guérin T, Massanyi P, Van Loveren H, Baert K, Gergelova P & Nielsen E, 2020b. Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 18 (11), e06268. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268>
- EIGA (European Industrial Gases Association AISBL), doc 125/20. Guide to the supply of gases for use in foods. Brussel. Beschikbaar online: <https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC125.pdf>
- EIGA (European Industrial Gases Association AISBL), doc 126/20. Minimum specifications for food gas applications. Brussel.
- Elings A, Meinen E, Dieleman A & Kempkes F, 2011. Gewasmanagement in semi-gesloten kassen. Simulaties van gewasgroei en -ontwikkeling. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 60 pp. Beschikbaar online: <https://edepot.wur.nl/189784>
- European Food Safety Authority, 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal*, 6 (8), 724. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.724>
- European Food Safety Authority, 2009. Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal*, 7 (3), 980. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>
- European Food Safety Authority, 2012. Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10 (1), 2551. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>
- European Food Safety Authority, Gergelová P, Martino L & Rovesti E, 2025. EFSA scientific report on dietary exposure to lead in the European population. *EFSA Journal*, 23 (8), e9577. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9577>
- GlastuinbouwNL, 2020. Vermindering CO₂-dosering bij tomaat laat nog geen groeireductie zien [Webpagina].
- Grit J, Righini I, Kleijweg C, H. K & van Tuyll A, 2026. Kwaliteit van alternatieve CO₂-bronnen voor de glastuinbouw. Richtlijnen voor kwaliteitseisen, fytotoxische risico's van CO₂-bronnen en CO₂-kwaliteitsbepaling in de glastuinbouw. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw Bleiswijk, 54 pp. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.18174/704655>
- Hanab Pipeline & Utilities, 2026. OCAP: CO₂ van Shell naar tuinders [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://www.hanab.nl/pipelines-and-utilities/nl/projecten/ocap-co2-van-shell-naar-tuinders> [Geraadpleegd: augustus 2026].
- Kampman B, Hesselink F, Nieuwenhuijse I, van der Veen R & Manna K, 2025. Duurzame CO₂ levering aan de glastuinbouw. Kansen en bedreigingen CE Delft, Delft, 86 pp. Beschikbaar online: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2025/06/CE_Delft_240545_Kansen_en_bedeigingen_voor_co2-levering_aan_de_glastuinbouw_Def.pdf
- NOS Nieuws, 3 maart 2026. Helpt jongeren drinkt negentig suikerklontjes in frisdrank per week [Webpagina]. Beschikbaar online: <https://nos.nl/artikel/2604726-helpt-jongeren-drinkt-negentig-suikerklontjes-in-frisdrank-per-week>
- OCAP, 2026. OCAP specificaties [Webpagina].
- Raaphorst M & Kempkes F, 2019. Zomerstook voor CO₂-dosering : simulaties voor 6 gewassen. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Bleiswijk, 22 pp.
- Raaphorst M, Kempkes F, Campen J & Heuvelink E, 2005. Biologische en overige grondgebonden teelten in een (semi) gesloten kas. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Business Unit Glastuinbouw, Naaldwijk, 28 pp. Beschikbaar online: <https://edepot.wur.nl/36545>
- RIVM, 27 juni 2019. RIVM advies CO₂ uit rookgassen + bijlage. brief nr. 134, RIVM, Bilthoven.

- RIVM, 2026a. Portie-online versie 2026/2.0 [Webpagina]. RIVM. Beschikbaar online: <https://portie-online.rivm.nl/>
- RIVM, 2026b. -Wat eet Nederland. Alcoholische dranken [Webpagina]. RIVM. Beschikbaar online: <https://www.wateetnederland.nl/resultaten/voedingsmiddelen/alcoholische-dranken>
- Schakel AM, 2023. ZZS in CO2 voor kassengebied. Project PCC AEB Amsterdam. Opdrachtgever AEB Amsterdam. Witteveen+Bos, Deventer.
- Schakel AM, 2025. Beantwoording vragen ZZS in CO2 voor kassengebied. Project PCC AEB Amsterdam. Opdrachtgever AEB Amsterdam. Referentie 145844/25-005.123. Witteveen+Bos, Deventer, 3 pp.
- Smit P & Grootsholten R, 2024. Actueel inzicht CO2-behoefte Nederlandse glastuinbouw 2030. Wageningen Economic Research, Wageningen, 26 pp. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://edepot.wur.nl/650075>
- Strandberg J, Awad R, Bolinius J, J-J. Y, Sandberg J, M.A. B, Gobelius L, Egelrud L & Härnwall E-L, 2021. PFAS in waste residuals from Swedish incineration plants. A systematic investigation 2422. IVL Swedish Environmental Institute, Stockholm, Zweden, 27 pp. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134665>
- van Tuyl A, Boedijn A, Brunsting M, Barbagli T, Blok C & Stanghellini C, 2022. Quantification of material flows: A first step towards integrating tomato greenhouse horticulture into a circular economy. Journal of Cleaner Production, 379, 134665. Beschikbaar online: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134665>
- Vermeulen P, 2011. CO2-dosering in de biologische glastuinbouw. Onderzoek naar alternatieve bronnen, toepassingen in gangbare tuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, 2 pp.
- Vermeulen PCM & van der Lans CJM, 2010. CO2-dosering in de biologische glastuinbouw. Onderzoek naar alternatieve bronnen. Toepassingen in gangbare tuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Appendix 1. Specificatie OCAP, CO₂

Onderstaande specificatie specificeert minimaal 99 mol% CO₂ (43,56 g per 44 g).
Voor Hg en Cd+Tl (beide <30) is de eenheid niet gespecificeerd.

Specification OCAP CO₂

datum: 04/04/2025

kenmerk: OCAP-ME-20250404

Component	Unit	Value
Carbon Dioxide (CO ₂)	Mol%	≥99
Hydrogen (H ₂)	Mol%	≤0.75
Nitrogen (N ₂)	Mol%	≤1
Argon (Ar)	Mol%	≤0.4
Carbon monoxide (CO)	ppmv	≤750
Water (H ₂ O)	ppmv	≤40 ¹
Oxygen (O ₂)	ppmv	≤40 ²
Nitric Oxides (NO _x)	ppmv	≤2.5
Ethylene (C ₂ H ₄)	ppmv	≤1
Total Hydrocarbons (incl. methane, C ₂ to C ₁₀)	ppmv	≤1200
Total aromatic hydrocarbons	ppmv	≤0.1
Total Volatile Organic Compounds (excluding methanol, ethanol, aldehydes) ³	ppmv	≤10
Methanol	ppmv	≤620 ⁴
Ethanol	ppmv	≤1
Acetaldehyde + ethylacetate	ppmv	≤0.2

¹ Subject to further investigation, might be lowered to 20 ppmv

² Subject to further investigation, might be lowered to 10 ppmv

³ The composition is in accordance with the Dutch Policy.

⁴ Subject to further investigation, might be lowered in future

Total aldehydes compounds	ppmv	≤10
Sulphur Oxides (SO _x)	ppmv	≤3 ⁵
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	ppmv	≤3 ⁶
Carbonyl Sulphide (COS)	ppmv	≤0.1
Dimethyl Sulphide (DMS)	ppmv	≤1.1
Ammonia (NH ₃)	ppmv	≤3
Hydrogen Cyanide (HCN)	ppmv	≤2
Total amine compounds	ppmv	≤1
Total carboxylic acid and amide compounds	ppmv	≤1
Total phosphorus-contained compounds	ppmv	≤1
Mercury (Hg)		<30
Cadmium + Thallium		<30

Dewpoint < -10 °C at 20 bara

Max. operating pressure: 22 bara

Min. operating pressure: 8 bara

⁵ Subject to further investigation, might be lowered to 1 ppmv

⁶ Subject to further investigation, might be lowered to 1,5 ppmv

Omrekenen van deze specificaties naar % w/w:

	Max % w/w
CO ₂	99
H ₂	0,03
N ₂	0,64
Ar	0,63
Rest	0,27
Hg plus Cd+Tl	0,006

Appendix 2. Overzicht van afvalverbrandingsinstallaties in Nederland

Annex in RIVM-rapport (Bakker et al., 2021). Een overzicht van afvalverbrandingsovens in Nederland laat zien dat 'hazardous waste' op slechts enkele plekken in Nederland wordt verbrand.

Annex I. Overview of waste incineration sites in the Netherlands

Province	Location	Company	Type of kiln	Combustion chamber	Type of waste	Temperature (°C)	
						Average	Max
Groningen	Delfzijl	EEW Delfzijl BV	Moving grate, 2 lines	-	Non-hazardous	1195	1200
Friesland	Harlingen	REC Harlingen	Moving grate	-	Non-hazardous waste	-	-
Drenthe	Wijster	Attero Noord BV	Moving grate, 3 lines	Parallel	Non-hazardous waste	950	1100
Overijssel	Hengelo	Twence afval en energie, AEC & BEC	Moving grate, 3 lines Moving grate, 1 line	Centre	Non-hazardous waste Biomass	900	1100
Gelderland	Weurt	ARN B.V.	Moving grate, 2 lines	Parallel	Hazardous and non-hazardous waste	980	1100
						1050	1100
	Duiven	AVR Afvalverwerking	Moving grate, 3 lines Fluidized bed	Centre	Non-hazardous waste Paper pulp residue	1050	1250
Noord-Holland	Alkmaar	HVCafvalcentrale	Moving grate, 4 lines	Centre	Non-hazardous waste and biomass	900	1150
	Amsterdam	Afval Energie Bedrijf	AEC: Moving grate HRC: Moving grate	Centre	Hazardous and non-hazardous waste	1100	1100
Zuid-Holland	Rotterdam-Botlek	AVR Rozenburg	Moving grate, 7 lines Vortex ovens	3 Counter 4 Parallel	Hazardous and non-hazardous waste and biomass Aqueous hazardous and high caloric petrochemical waste	950	1200
	Dordrecht	HVCafvalcentrale	Moving grate, 5 lines Fluidized bed	Parallel	Non-hazardous waste Sludges (waste water)	890 920 920 890	974 1121 1036 1005
	Dordrecht	ZAVIN CV	Moving concrete floor		Specific (contagious) hospital waste	1200	1300
Noord-Brabant	Moerdijk	Attero AEC Moerdijk	Moving grate, 4 lines	Centre	Non-hazardous	950	1200
	Moerdijk	N.V. Slibverwerking Noord-Brabant (SNB)	Fluidized bed		Sludges (waste water)		
	Roosendaal	SUEZ ReEnergy	Moving grate, 2 lines	Parallel	Non-hazardous	950	1170

Non-hazardous waste refers to household and commercial waste

Appendix 3. Emissies en emissiegrenswaarden

Bij Emissieregistratie (<https://www.emissieregistratie.nl/>) worden uitgestoten stoffen in Nederland geregistreerd. De volgende stoffen in lucht zijn door AEB in 2024 uitgestoten in kg.

Stof	Compartment	Jaar	Emissie	Eenheid	Herkomst
Ammoniak	Lucht	2024	8446	kg	MJV A
Antimoonverb. (als Sb)	Lucht	2024	13,78	kg	MJV A
Arseenverb. (als As)	Lucht	2024	6,173	kg	ER S
Benzeen	Lucht	2024	35,18	kg	MJV A
Cadmiumverb. (als Cd)	Lucht	2024	0,2	kg	MJV A
Chloriden	Lucht	2024	7131	kg	MJV A
Chroomverb. (als Cr)	Lucht	2024	13,5	kg	MJV A
Dioxinen (PCDD/PCDF, I-TEQ)	Lucht	2024	0,000366	kg	MJV A
Distikstofoxide	Lucht	2024	37550	kg	MJV A
Elementair koolstof (EC2.5)	Lucht	2024	275,7	kg	ER S
Etheen	Lucht	2024	351,8	kg	MJV A
Fijnstof (PM10)	Lucht	2024	8291	kg	MJV A
Fijnstof (PM2,5)	Lucht	2024	7876	kg	ER S
Fluoriden anorganisch (als HF)	Lucht	2024	827,9	kg	ER S
Halogeenverb.org.	Lucht	2024	0,6026	kg	ER S
Hexachloorbenzeen	Lucht	2024	0,2458	kg	ER S
Kobaltverb. (als Co)	Lucht	2024	3,776	kg	ER S
Koolstofdioxide	Lucht	2024	1,35E+09	kg	MJV A
Koolstofmonoxide	Lucht	2024	119400	kg	MJV A
Koperverb. (als Cu)	Lucht	2024	23,2	kg	MJV A
Kwikverb. (als Hg)	Lucht	2024	11,96	kg	MJV A
Loodverb. (als Pb)	Lucht	2024	20,03	kg	MJV A
Mangaanverb. (als Mn)	Lucht	2024	57	kg	MJV A
Methaan	Lucht	2024	2111	kg	MJV A
NMVOS	Lucht	2024	1407	kg	MJV A
Nikkelverb. (als Ni)	Lucht	2024	12,13	kg	MJV A
Stikstofoxiden (als NO ₂)	Lucht	2024	562700	kg	MJV A
TSP (Totaal stof)	Lucht	2024	8291	kg	MJV A
Tolueen	Lucht	2024	70,36	kg	MJV A
VOS	Lucht	2024	3518	kg	MJV A
Vanadiumverb. (als V)	Lucht	2024	5,437	kg	ER S
Zinkverb. (als Zn)	Lucht	2024	30,11	kg	ER S
Zwaveloxiden (als SO ₂)	Lucht	2024	52220	kg	MJV A

In het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal), artikel 5.30 zijn de volgende emissiegrenswaarden in lucht opgenomen. Voor een overzicht van de stoffen die bij elke stofklasse horen, zie Annex 1.

Tabel 5.30 Emissiegrenswaarden

Stof of stofklasse	Emissiegrenswaarde in ng/Nm³ of mg/Nm³ of ng TEQ/Nm³	Ondergrens per puntbron in kg/jaar of mg TEQ/jaar
Zwavedioxide	50 mg/Nm ³	1.000 kg/jaar
Stikstofoxide	100 mg/Nm ³	1.000 kg/jaar
Waterstofchloride	2 mg/Nm ³	7,5 kg/jaar
Waterstoffluoride	1 mg/Nm ³	7,5 kg/jaar
Ammoniak	5 mg/Nm ³	75 kg/jaar
ERS	0,05 ng TEQ/Nm ³	20 mg TEQ/jaar
MVP1	0,05 mg/Nm ³	0,075 kg/jaar
MVP2	1 mg/Nm ³	1,25 kg/jaar
S	3 mg/Nm ³	100 kg/jaar
sA.1	0,05 mg/Nm ³	0,125 kg/jaar
sA.2	0,5 mg/Nm ³	1,25 kg/jaar
sA.3	0,5 mg/Nm ³	5 kg/jaar
gA.1	0,5 mg/Nm ³	1,25 kg/jaar
gA.2	3 mg/Nm ³	7,5 kg/jaar
gA.3	30 mg/Nm ³	75 kg/jaar
gO.1	20 mg/Nm ³	50 kg/jaar
gO.2	50 mg/Nm ³	250 kg/jaar

RICHTLIJN 2010/75/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 24 november 2010 inzake industriële emissies (geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging) (herschikking)

9. Op het niveau van de emissiegrenswaarde mogen de waarden van de 95 %-betrouwbaarheidsintervallen van individuele metingen de volgende percentages van de emissiegrenswaarden niet overschrijden:

Koolmonoxide	10 %
Zwavedioxide	20 %
Stikstofoxiden	20 %
Stof	30 %

- 1.3. Gemiddelde emissiegrenswaarden (mg/Nm^3) voor de volgende zware metalen over een bemonsteringsperiode van minimaal 30 minuten en maximaal acht uur

Cadmium en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als cadmium (Cd)	Totaal: 0,05
Thallium en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als thallium (Tl)	
Kwik en kwikverbindingen, uitgedrukt als kwik (Hg)	0,05
Antimoon en antimoonverbindingen, uitgedrukt in antimoon (As)	Totaal: 0,5
Arseen en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als arseen (As)	
Lood en loodverbindingen, uitgedrukt als lood (Pb)	
Chroom en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als chroom (Cr)	
Kobalt en kobaltverbindingen, uitgedrukt als kobalt (Co)	
Koper en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als koper (Cu)	
Mangaan en mangaanverbindingen, uitgedrukt in mangaan (Mn)	
Nikkel en de verbindingen daarvan, uitgedrukt als nikkel (Ni)	
Vanadium en vanadiumverbindingen, uitgedrukt in vanadium (V)	

Deze gemiddelden omvatten eveneens de gas- en dampvormige emissies van de betrokken zware metalen en de verbindingen daarvan.

- 1.4. ► **C1** Gemiddelde emissiegrenswaarden (ng/Nm^3) voor dioxines en furanen ◀ over een bemonsteringsperiode van minimaal zes en maximaal acht uur. De emissiegrenswaarde heeft betrekking op de totale concentratie dioxinen en furanen, berekend overeenkomstig deel 2.

Dioxinen en furanen	0,1
---------------------	-----

- 2.2. C - Totale emissiegrenswaarden (mg/Nm³ behalve voor dioxinen en furanen) voor de volgende verontreinigende stoffen

Verontreinigende stof	C
Totaal stof	30
HCl	10
HF	1
NO _x	500 ⁽¹⁾
Cd + Tl	0,05
Hg	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5
Dioxinen en furanen (ng/Nm ³)	0,1

⁽¹⁾ Tot 1 januari 2016 kunnen de bevoegde autoriteiten uitzonderingen op de NO_x-grenswaarde voor Lepol-ovens en lange draaiovens toestaan, mits in de vergunning een totale emissiegrenswaarde voor NO_x van ten hoogste 800 mg/Nm³ bepaald is.

Appendix 4. Informatie uit de notitie van Witteveen+Bos (Schakel, 2023)

Tabel 4.1 Gemiddelde concentraties in gereinigde rookgassen AEC en HRC

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

Tabel 5.1 Opname en verwijdering van stoffen in geleverde CO₂ 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%

Naar aanleiding van dit document zijn door ODNZKG eind 2024 enkele vragen gesteld die door Witteveen+Bos in 2025 zijn beantwoord (ref). De vragen waren: 1) is er concrete informatie beschikbaar over de aanwezigheid van dioxinen/furanen en PAK's in het afgevangen CO₂ en hoe wordt dit beïnvloed door verstoringen in het reguliere proces?, 2) om PFAS daadwerkelijk goed af te breken is een temperatuur van 1200°C nodig; hoe robuust is de informatie over verwijderingsrendementen in de verschillende stappen voor korte PFAS-verbindingen?, 3) een onderbouwing van de aanname van 34,2 kg CO₂/ha per uur (30 kg CO₂/m² per jaar), 4) is er een onderbouwing voor alleen rekenen aan stoffen die terecht komen op het oppervlak van de vruchten, 5) waarom paprika's als referentie?

De antwoorden van Witteveen+Bos (ref) zijn als volgt.

- 1) er zijn meetwaarden van deze stoffen beschikbaar en bij storingen in de rookgasreiniging wordt de toevoer van rookgassen naar de CO₂-afvanginstallatie tijdelijk onderbroken, 2) voor korte PFAS-verbindingen die kunnen ontstaan, is gebruik gemaakt van RIVM-rapport 2021-0143; in een berekening van AEB is ervan uitgegaan dat circa een-derde van de dioxine uit rookgas terecht komt in de CO₂-stroom, wat een veilige overschatting is (met referentie Bisinella, V., Hulgaard, T., Riber, C., Damgaard, A., & Christensen, T. H., 2021. Environmental assessment of carbon capture and storage (CCS) as a post-treatment technology in waste incineration. Waste Management, 128, 99-113, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.046>).
- 2) Er is niet uitgegaan, op basis van het RIVM-rapport, van verwijdering van PFAS (met uitzondering van 5% in de koolfilters in de retourvloeistof). De (worst case) aanname was dat 75%) van de PFAS in het rookgas via de absorber wordt opgenomen in de CO₂-stroom. De combinatie van aannames resulteert erin dat ruim 70% van alle PFAS uit het rookgas in de CO₂-stroom terecht komt. Echter RIVM concludeerde dat waarschijnlijk het grootste deel van de PFAS niet in het geëxtraheerde CO₂ terecht zou komen en dit een zeer conservatieve benadering is. Witteveen+Bos (2023) hanteerde 46 ng PFAS/m³ CO₂ terwijl RIVM een maximale ordegrrootte van 10 ng/m³ (voor relevante PFAS) noemde.
- 3) De waarde van 30 kg CO₂/m² per jaar werd gezien als een gangbare jaarwaarde en voor de evaluatie over lange termijn gevolgen door inname, zijn jaargemiddelde belastingen het meest representatief.
- 4) Een route van opname van stoffen via de wortels/bodem (substraat) is in kassen niet aannemelijk omdat er weinig/geen uitwisseling is met de (afgedekte) substraatvoeding.

- 5) De voornaamste twee glasgroenten in Nederland zijn tomaten en paprika's, samen circa 80% van het oppervlak. Daarna volgen komkommers en aubergines. Voor al deze vruchtgroenten gelden vergelijkbare CO₂-doseringshoeveelheden als genoemd bij vraag 3 (30 kg CO₂/m² per jaar). Voor tomaten en komkommers geldt echter dat de productie per ha gemiddeld hoger is dan paprika. Bij vergelijkbare doseringshoeveelheden CO₂ is de belasting per kg daarom lager dan bij paprika's. De indicatieve (veilige) conclusies voor paprika's zullen voor tomaten en komkommers daarom niet anders zijn.

Appendix 5. Relatie CO₂-gehalte en opname door gewas (Vermeulen & van der Lans, 2010)

Tabel 4. Relatie ventilatie, CO₂ gehalte (ppm), opname gewas (kg/ha/uur) en aanvullende CO₂ behoefte (kg/ha/uur).
Uitgangspunten: kasinhoud is 6 m³/m²; buitenwaarde CO₂ is 350 ppm.

gewenste CO ₂ gehalte kas	ppm	350	400	450	500	550
gewas opname CO ₂	kg/ha/uur	35	35	35	35	35
ventilatie	m ³ /m ² /uur	6	6	6	6	6
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	5	9	14	18
totaal doseren	kg/ha/uur	35	40	44	49	53
CO ₂ efficiëntie		100%	88%	79%	72%	66%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	30	30	30	30	30
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	23	46	69	92
totaal doseren	kg/ha/uur	35	58	81	104	127
CO ₂ efficiëntie		100%	60%	43%	34%	28%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	60	60	60	60	60
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	46	92	138	184
totaal doseren	kg/ha/uur	35	81	127	173	219
CO ₂ efficiëntie		100%	43%	28%	20%	16%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	90	90	90	90	90
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	69	138	207	275
totaal doseren	kg/ha/uur	35	104	173	242	310
CO ₂ efficiëntie		100%	34%	20%	14%	11%

Appendix 6. Simulaties voor gewassen in een kas (Raaphorst en Kempkes, 2019)

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Verschil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Tomaat										
inkoop	1000	100	55.9	24.9	0.0	331	11.9	763		
inkoop	1000	200	84.2	24.9	0.0	331	12.6	889		
inkoop	1000	300	98.6	24.9	0.0	331	12.8	929		
inkoop	700	100	44.4	8.3	33.1	205	11.7	637		
inkoop	700	200	57.7	0.9	51.2	136	12.2	670		
inkoop	700	300	63.9	0.1	63.6	89	12.3	680		
ketel	1000	100	56.8	34.6	0.0	332	11.8	743	9.7	
ketel	1000	200	88.6	50.8	0.0	332	12.4	853	25.9	
ketel	1000	300	110.4	63.0	0.0	333	12.6	888	38.1	
ketel	700	100	45.3	31.7	0.0	332	11.7	631	6.8	
ketel	700	200	61.5	39.9	0.0	332	12.0	665	15.0	
ketel	700	300	72.9	46.0	0.0	333	12.2	683	21.1	
WKK	1000	100	57.0	8.2	37.5	190	11.9	746	2.5	-15
WKK	1000	200	90.2	3.8	63.7	92	12.5	868	8.9	-44
WKK	1000	300	108.7	7.2	85.8	9	12.7	903	17.0	-80
WKK	700	100	45.6	7.9	37.5	190	11.7	634	2.3	-15
WKK	700	200	61.2	3.0	61.1	101	12.1	666	7.0	-35
WKK	700	300	71.1	6.4	77.9	38	12.2	678	12.0	-51

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Verschil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Paprika										
inkoop	1000	100	31.5	27.8	0.0	5	6.2	829		
inkoop	1000	200	48.1	27.8	0.0	5	7.0	924		
inkoop	1000	300	57.3	27.8	0.0	5	7.4	955		
inkoop	700	100	25.1	13.3	28.7	-104	5.9	657		
inkoop	700	200	33.2	5.2	44.4	-164	6.4	682		
inkoop	700	300	36.3	0.9	52.9	-196	6.5	689		
ketel	1000	100	31.7	33.8	0.0	5	6.1	822	5.9	
ketel	1000	200	49.8	42.6	0.0	6	6.6	905	14.8	
ketel	1000	300	64.4	50.6	0.0	6	6.8	937	22.8	
ketel	700	100	25.3	32.5	0.0	5	5.8	655	4.6	
ketel	700	200	35.4	37.7	0.0	6	6.2	684	9.8	
ketel	700	300	42.1	41.2	0.0	6	6.2	700	13.4	
WKK	1000	100	32.1	11.3	36.0	-131	6.1	820	3.0	-26
WKK	1000	200	50.4	6.0	55.9	-206	6.8	910	7.1	-42
WKK	1000	300	62.3	6.8	65.1	-240	7.0	941	10.5	-44
WKK	700	100	25.5	11.2	35.7	-130	5.9	655	2.9	-26
WKK	700	200	35.0	6.4	52.5	-193	6.3	680	5.3	-29
WKK	700	300	41.0	6.2	59.8	-220	6.4	694	7.0	-24

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Verschil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Komkommer										
inkoop	1000	100	29.5	27.9	0.0	4	6.2	814		
inkoop	1000	200	44.8	27.9	0.0	4	6.8	902		
inkoop	1000	300	52.1	27.9	0.0	4	7.0	930		
inkoop	700	100	23.3	12.7	29.3	-89	6.1	637		
inkoop	700	200	30.0	4.5	45.2	-139	6.4	661		
inkoop	700	300	32.0	1.6	50.7	-157	6.5	668		
ketel	1000	100	29.9	33.3	0.0	5	6.1	810	5.3	
ketel	1000	200	46.2	41.0	0.0	5	6.6	898	13.1	
ketel	1000	300	56.2	46.5	0.0	6	6.8	930	18.6	
ketel	700	100	23.6	32.0	0.0	5	6.0	638	4.0	
ketel	700	200	31.3	35.8	0.0	5	6.3	668	7.8	
ketel	700	300	35.3	37.8	0.0	5	6.4	685	9.8	
WKK	1000	100	30.2	9.6	38.8	-118	6.1	806	3.7	-29
WKK	1000	200	46.9	4.8	57.2	-175	6.7	895	7.1	-36
WKK	1000	300	56.3	6.1	65.6	-201	6.8	926	11.2	-45
WKK	700	100	23.9	9.8	38.7	-117	6.0	635	3.8	-29
WKK	700	200	31.4	6.3	52.2	-160	6.3	662	5.1	-21
WKK	700	300	35.5	6.4	58.1	-178	6.4	677	7.0	-22
PaprikaHNT										
inkoop	1000	100	23.0	23.4	0.0	5	6.2	869		
inkoop	1000	200	34.9	23.4	0.0	5	6.9	937		
inkoop	1000	300	42.1	23.4	0.0	5	7.2	960		
inkoop	700	100	18.6	11.2	24.2	-87	5.8	667		
inkoop	700	200	25.2	3.9	38.5	-141	6.2	686		
inkoop	700	300	28.1	0.6	44.9	-165	6.3	692		
ketel	1000	100	24.3	31.3	0.0	6	6.0	856	7.9	
ketel	1000	200	40.9	40.0	0.0	6	6.5	909	16.6	
ketel	1000	300	56.0	48.3	0.0	7	6.6	936	24.9	
ketel	700	100	19.4	29.4	0.0	6	5.7	662	6.0	
ketel	700	200	29.3	34.7	0.0	6	6.0	686	11.4	
ketel	700	300	37.2	39.0	0.0	6	6.1	701	15.6	
WKK	1000	100	23.9	9.2	34.7	-125	6.1	858	4.9	-39
WKK	1000	200	39.0	5.6	52.1	-191	6.6	917	8.8	-50
WKK	1000	300	53.3	6.3	61.4	-226	6.9	942	12.8	-60
WKK	700	100	19.2	9.1	34.4	-124	5.8	663	4.7	-38
WKK	700	200	28.6	5.5	48.7	-178	6.1	683	6.8	-37
WKK	700	300	34.9	5.2	55.9	-206	6.2	698	9.1	-40

ANNEX 1. Reactie d.d. 28 juli 2026 van deelnemers aan de kick off-bijeenkomst in Arnhem over CO₂-kwaliteit op 14 juli 2026

Namens de reviewgroep hebben wij het conceptrapport beoordeeld. Wij waarderen de mogelijkheid om op deze conceptversie te reageren en herkennen de studie als een waardevolle eerste stap in de onderbouwing van de voedselveiligheidsvraagstukken rond de toepassing van afgevangen CO₂ in de glastuinbouw.

Op hoofdlijnen komen wij tot de volgende bevindingen.

Positieve observaties

- De gehanteerde methodiek biedt een bruikbaar raamwerk voor een risico gebaseerde beoordeling van mogelijke contaminanten in afgevangen CO₂.
- De systematische koppeling tussen contaminantconcentraties, gewasopname en toetsing aan gezondheidkundige grenswaarden wordt als een logische aanpak beschouwd.
- Het rapport maakt inzichtelijk welke kennisvragen en onzekerheden momenteel bestaan.

Hoofdbevindingen

1. Scope sluit niet volledig aan op de actuele vraagstelling

Het rapport is gebaseerd op een eerdere afbakening van stoffen en kennisvragen. Inmiddels beschikken de betrokken partijen over aanvullende inzichten en een bredere stoffenlijst die voortvloeit uit het traject van de omgevingsdiensten en het RIVM. Hierdoor sluit de huidige scope niet volledig aan bij de actuele onderzoeksvraag.

Wij adviseren daarom expliciet te vermelden dat de studie niet alle stoffen omvat die inmiddels onderdeel zijn van de lopende discussie en dat een aanvullende beoordeling noodzakelijk is.

2. Conservatieve aannames bepalen in belangrijke mate de uitkomsten

Op diverse plaatsen worden bewust conservatieve aannames gehanteerd ten aanzien van:

- verwijderingsrendementen van contaminanten;
- concentraties van contaminanten in de CO₂-stroom;
- opname van contaminanten door gewassen;
- relatie tussen CO₂-opname en contaminantopname.

Wij begrijpen de keuze voor een voorzorgsgerichte benadering. Tegelijkertijd constateren wij dat meerdere conservatieve aannames worden gestapeld, waardoor de resultaten sterk door deze aannames worden bepaald. Het verdient aanbeveling dit explicieter te benoemen in de interpretatie van de resultaten en conclusies. Tevens wordt vanuit de sectoren gewerkt aan een risico analyse op het gebied van ZZS in CO₂ waarbij op basis van de selectiviteit van het CO₂ afvangproces mogelijke concentraties die kunnen voorkomen in de CO₂ zullen worden onderbouwd.

3. Meer praktijkdata beschikbaar dan in de studie is verwerkt

Sinds eerdere onderzoeken zijn aanvullende meetgegevens, operationele ervaringen en technische inzichten beschikbaar gekomen. Deze informatie lijkt nog niet volledig te zijn verwerkt in de huidige analyse.

Wij adviseren daarom de beschikbare praktijkdata en meetresultaten waar mogelijk te betrekken in toekomstige versies van de risicoanalyse.

4. Meetbaarheid verdient expliciete aandacht

Voor een aantal stoffen liggen de relevante concentraties in een bereik waar detectielimieten van analysemethoden een beperkende factor kunnen zijn. Hierdoor ontstaat een spanningsveld tussen theoretische risicoanalyses en praktische verificatie door middel van metingen.

Wij adviseren om in het rapport expliciet aandacht te besteden aan:

- de rol van detectielimieten;
- de relatie tussen metingen, massabalansen en risicoanalyse;
- de wijze waarop naleving en borging in de praktijk kunnen worden beoordeeld.

Aanbeveling voor vervolg

Wij zien de studie vooral als een waardevolle basis voor een vervolgstap waarin:

- de volledige actuele stoffenlijst wordt beschouwd;
- recente meetgegevens worden meegenomen;
- onzekerheden en aannames expliciet worden gemaakt;
- waar mogelijk aansluiting wordt gezocht bij actuele praktijkervaringen en operationele data.

Een dergelijke vervolgstap kan bijdragen aan een robuuste, transparante en breed gedragen risicobeoordeling.

Namens alle partijen uit de sectoren Afvalbedrijven en Glastuinbouw die hun bijdrage hebben geleverd aan deze review,