

Protocol 0065 Halfgeleiders
t.b.v. NIR 2010
uitgave maart 2010

2F8: SF₆ en PFK Halfgeleiderindustrie



Voorwoord

Onder het Kyoto Protocol is Nederland verplicht om een nationaal systeem op te zetten en te onderhouden voor de monitoring van broeikasgassen. Een van de elementen hierin is een transparante en controleerbare beschrijving van de methoden en processen, die daarbij gehanteerd worden. De methoden moeten daarbij voldoen aan de internationale richtlijnen, welke zijn vastgesteld door de Verenigde Naties (UN) en de Europese Unie (EU).

In Nederland wordt aan deze eisen onder meer invulling gegeven in de vorm van Monitoring Protocollen, waarin de methoden en werkprocessen zijn beschreven voor de vaststelling van emissies en de hoeveelheid vastlegging (sinks) van broeikasgassen. Er zijn protocollen voor ongeveer 40 verschillende bronnen of sinks van broeikasgassen. Dit document beschrijft het protocol voor een van deze bronnen of sinks.

De protocollen zijn opgesteld in een nauw samenwerkingsverband tussen experts vanuit diverse sectoren van de Nederlandse samenleving. Met name de experts van de Emissieregistratie (ER) zijn hier bij betrokken. De ER is een samenwerkingsverband van onder meer CBS, WUR, RIVM en PBL. Tot 31 december 2009 werd dit gecoördineerd door het Planbureau voor de Leefomgeving; per 1 januari 2010 is de coördinatie overgegaan naar RIVM. Aan de protocollen is verder bijgedragen door Agentschap NL, het Ministerie van Landbouw, Natuur & Voedselkwaliteit en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM).



Planbureau voor de Leefomgeving



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken



Inhoudsopgave

1	SCOPE EN BELANG VAN EMISSIEBRONNEN/ACTIVITEITEN	4
1.1	SCOPE EN DEFINITIE	4
1.2	BELANG EN INVLOEDSFACTOREN	4
1.2.1	<i>Bijdrage aan de totale nationale emissies.....</i>	<i>4</i>
1.2.2	<i>Factoren van invloed op de emissie(berekening).....</i>	<i>5</i>
2	METHODIEK, EMISSIEFACTOREN EN ACTIVITEITENDATA	5
2.1	BEREKENINGSMETHODIEK	5
2.2	EMISSIEFACTOREN.....	6
2.3	ACTIVITEITENDATA	6
3	WERKPROCESSEN.....	7
4	KWALITEIT EN VERIFICATIE.....	8
4.1	ONZEKERHEIDSINSCHATTING	8
4.2	KWALITEITSBEWAKING EN -BORGING.....	9
4.3	VERIFICATIE	9
4.4	VERBETERPUNTEN T.A.V. HUIDIGE BEREKENINGSMETHODE	9
4.4.1	<i>Historie</i>	<i>9</i>
4.4.2	<i>Toekomst.....</i>	<i>10</i>
5	OVERIGE ASPECTEN	10
5.1	PUNTBRONCRITERIA	10
5.2	STOFPROFIELEN	10
5.3	REGIONALISERING	10
5.4	TUJGEBONDEN VARIATIES IN BRONSTERKTE.....	10
6	REFERENTIES EN AANVULLENDE INFORMATIE.....	10
6.1	REFERENTIES	10
6.2	AANVULLENDE INFORMATIE.....	11
	BIJLAGE 1 BEGRIPPENLIJST.....	12



Protocol

2F8: SF₆ en PFK Halfgeleiderindustrie

IPCC Categorie:	2F8 Other
NFR Code:	n.v.t.
NOSE Code:	n.v.t.
NACE Code 2008	261109, 2612, 331301

1 Scope en belang van emissiebronnen/activiteiten

1.1 Scope en definitie

Dit protocol beschrijft de totstandkoming van het emissiecijfer van SF₆ en PFK als gevolg van het gebruik van deze gassen door de halfgeleiderindustrie. Het betreft SBI-codes 261109, 2612 en 331301.

De emissies van SF₆ door het gebruik van SF₆ bij de productie van halfgeleiders, sterkstroomsector, dubbelglas en elektronenmicroscopen worden geaggregeerd tot één getal en gerapporteerd onder CRF-categorie 2F8 'Overige'.

De beschrijving van de monitoring van de emissie van SF₆ bij productie van halfgeleiders en bij productie en gebruik van elektronenmicroscopen, dubbelglas en sterkstroominstallaties wordt in aparte protocollen behandeld. De bijdrage van de resterende overige bronnen (o.a. bij de productie en het gebruik van deeltjesversnellers) lijkt vooralsnog niet substantieel: < 0,2 ton SF₆/jaar [DHV, 2000], en wordt daarom niet meegenomen in de bepaling van de totale SF₆-emissie.

In de halfgeleiderindustrie worden F-gassen (SF₆ en PFK's) toegepast bij het reinigen van de proceskamers en bij het etsen van de halfgeleiders. Tijdens dit proces worden F-gassen geëmitteerd. In Nederland is één halfgeleiderfabrikant gevestigd met één productielocatie.

1.2 Belang en invloedsfactoren

1.2.1 Bijdrage aan de totale nationale emissies

De **PFK**-emissie als gevolg van het gebruik door de halfgeleiderindustrie levert een bijdrage van minder dan 0,1% aan de Nederlandse broeikasgasemissies (CO₂-equivalenten). De totale emissie van **SF₆** die wordt gerapporteerd onder sector 2F8 levert een jaarlijkse bijdrage van minder dan 0,5% aan de Nederlandse broeikasgasemissies.

Geaggregeerde weergave in verband met vertrouwelijkheid

De emissies van SF₆ als gevolg van het gebruik van SF₆ bij de sterkstroomsector, productie van halfgeleiders, dubbelglas en elektronenmicroscopen worden geaggregeerd tot één getal en gerapporteerd onder CRF-categorie 2F8 'Overige' [UNFCCC, 2004]. Dit in verband met vertrouwelijkheid van gegevens. Productiegegevens van de (voormalige) Nederlandse sterkstroomfabrikant, het testlaboratorium van hoogspanningsinstallaties, de halfgeleider- en elektronenmicroscopenfabrikant zijn anders rechtstreeks af te leiden van de emissiecijfers, activiteitendata en implied emissionfactors onder de subcategorieën 6,7 en 8 van 2F.



1.2.2 Factoren van invloed op de emissie(berekening)

Voor de methoden die in ontwikkeling of beschikbaar zijn voor het reduceren van de PFK-emissie in de halfgeleiderindustrie kunnen op hoofdlijnen drie types van maatregelen worden onderscheiden:

- A. reductie van het gebruik van etsgassen / proces- en equipment optimalisatie;
- B. vervanging van etsgassen / alternatieve plasma chemie;
- C. end-of-pipe treatment / abatement.

In 2002 en 2003 heeft PSN het project "Onderzoek naar de haalbaarheid van de reductie PFK emissies door middel van procesoptimalisatie" uitgevoerd. In dit project heeft PSN een aantal procesaanpassingen onderzocht die passen binnen haar reductieplan PFK's.

Massabalans berekeningen en emissiemetingen tonen aan dat C_2F_6 verre weg de grootste bijdrage levert (>75%) aan het broeikas effect. Dit procesgas C_2F_6 wordt toegepast in de PE-CVD processen. De reductiemaatregelen bij PSN focussen zich daarom op de PE-CVD processen en op het broeikasgas C_2F_6 in het bijzonder.

De resultaten tonen dus aan dat met procesoptimalisatie van de chamber cleans van de PE-CVD Nitride- en Oxide-processen binnen PSN een reductie van de PFK-emissies met 30% mogelijk is.

In een pas opgestart project onderzoekt PSN hoe de productiemachines dusdanig kunnen worden aangepast, dat een hoogst mogelijke reductie van PFK's (80-95%) kan worden bereikt. Verder worden in dit onderzoek nieuwe procesontwikkelingen die in de nabije toekomst met hogere PFK-flow werken, geëvalueerd met het oog op realisatie van minimale PFK-uitstoot. Tot nu toe worden de in die processen gebruikte PFK's in hoge mate onomgezet geëmitteerd naar lucht. Het onderzoek bestaat uit de volgende vijf onderzoeksrichtingen:

- A. Applied Materials Centura: vervanging van C_2F_6 door NF_3 als etsgas in combinatie met remote plasma (met >95% PFK-reductiepotentieel);
- B. Novellus Concept 1: vervanging van C_2F_6 door C_4F_8O in PE-CVD stap (met >80% PFK-reductiepotentieel);
- C. Novellus Concept 2: toevoegen van een locale naverbrander HOx Mistral achter deze PE-CVD processtap (met > 60% PFK-reductiepotentieel);
- D. TEL-unit: toepassing van een nieuwe plasma ets machine voor oxides met of zonder locale plasma abatement (met >99% PFK-reductiepotentieel);
- E. LAM-Alliance: toevoegen van nieuw type plasma abatement (Litmas Blue en Pegasus II) achter bestaande LAM-plasma oxide/nitride etser (met >95% PFK-reductiepotentieel).

2 Methodiek, emissiefactoren en activiteitendata

2.1 Berekeningsmethodiek

De jaarlijkse emissies van SF_6 en PFK_{som} door de halfgeleiderindustrie worden bepaald op basis van een massabalansmethode. De gebruikte formule staat hieronder. Hierbij wordt uitgegaan van de hoeveelheid SF_6 en PFK_{som} die worden gebruikt ten behoeve van het productieproces plus de emissie van het bijproduct CF_4 die ontstaat als gevolg van het gebruik van PFK_{som} .



$$Emissie FC_i = inkoop C_i \cdot (1-h) \cdot [(1-C_i)(1-a_i \cdot d_i) + B_i \cdot (1-a_i \cdot d_{CF_4})]$$

Waarin:

Bedrijfsspecifieke informatie:

inkoop FC_i In- en verkoop van gassen [in kg CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, CHF_3 , NF_3 en SF_6]

a_i Volumefractie van het gas FC_i dat aan het emissiereductie proces wordt gevoed [-]

Standaardwaarden volgens Tier 2c (zie tabel 1 onder paragraaf 2.2):

h Volumefractie gas FC_i dat na gebruik achterblijft in gasfles [-]

C_i Volumefractie van het verbruikte gas FC_i in het proces [-]

d_i Volumefractie omgezette/vernietigde gas FC_i in emissiereductie proces [-]

B_i kg CF_4 geproduceerd per kg gas FC_i [kg/kg]

d_{CF_4} Volumefractie omgezette/vernietigde gas FC_i in emissiereductie proces [-]

Voor een nadere toelichting op in- en verkoop van gassen en emissiefactoren wordt verwezen naar respectievelijk paragraaf 2.3 en 2.2 van dit protocol.

Vergelijking met IPCC methodiek

De massabalansmethode die wordt gehanteerd voor het bepalen van de jaarlijkse emissie van F-gassen (PF_6 en SF_6) door de halfgeleiderindustrie komt overeen met methode Tier 2c zoals beschreven in equations 3.29 en 3.30 van de IPCC GPG, 2001, p.3.72. De Tier 2c methode is gebaseerd op bedrijfsspecifieke data met betrekking tot de in- en verkoop van gassen en emissiereductietechnologieën.

2.2 Emissiefactoren

Ten behoeve van de berekening onder paragraaf 2.1 worden de standaardwaarden die hieronder in de tabel staan weergegeven gehanteerd door de Nederlandse Halfgeleiderfabrikant:

	GWP_i	h_i	$1-C_i$	d_i	B_i
CF4	6500	0,1	0,8	0,9	n.v.t.
C2F6	9200	0,1	0,7	0,9	0,1
CHF3	11700	0,1	0,3	0,9	n.v.t.
C3F8	7000	0,1	0,4	0,9	0,2
c-C4F8	8700	0,1	0,3	0,9	n.v.t.
NF3	8000	0,1	0,2	0,9	n.v.t.
SF6	23900	0,1	0,5	0,9	n.v.t.

Tabel 1 Standaardwaarden (volgens Tier2c, tabel 3.15, IPCC GPG, 2001, p.3.74)

2.3 Activiteitendata

In het kader van de milieuvergunning rapporteert het bedrijf jaarlijks de emissies per gas (PF_6 en SF_6) in kilogrammen en de daarbij gebruikte berekeningsmethode. De Provincie Gelderland levert deze emissiecijfers en de methodiek vóór 1 september aan de Taakgroep ENINA van de Emissie Registratie (ER).



De volgende bedrijfsspecifieke informatie wordt gebruikt ten behoeve van de berekening door de Nederlandse Halfgeleiderfabrikant:

inkoop FC_i In- en verkoop van gassen [in kg CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, CHF_3 , NF_3 en SF_6]
De inkoopcijfers van de PFC en SF_6 worden vastgesteld door de Nederlandse Halfgeleiderfabrikant en worden geverifieerd door de leverancier van de gassen.

a_i Volumefractie het gas FC_i dat aan het emissiereductie proces wordt gevoed [-]
Het bedrijf heeft t/m 2005 geen emissiereductietechniek in het productieproces geïntegreerd. Daarmee is de bedrijfsspecifieke volumefractie a_i in deze periode nihil.

3 Werkprocessen

Proces voor raming (t-1)

Indien op een bepaald moment voorlopige cijfers nodig zijn wordt het onderstaande proces gevolgd om tot een raming van t-1 te komen. De voorlopige data van de werkveldtrekker zijn berekend door extrapolatie van de cijfers van het voorgaande jaar op basis van prognoses in de ontwikkelingen in de belangrijkste activiteitendata (afkomstig uit CBS- of andere statistieken).

INPUT	PROCES	OUTPUT	WIE
Voorlopige data werkveldtrekker (t-1)	Opnemen t-1 gegevens in Emissieregistratiedatabase	ER-db met (t-1) data	Werkveldtrekker
ER-db met (t-1) data	Controle emissiecijfers: vergelijking met vorige jaren (trend) eventueel aanpassen en documenteren van het geheel	ER-db (t-1) met eventueel aangepaste cijfers	Taakgroep

Proces voor definitieve vaststelling (t-2)

De definitieve emissiecijfers (zoals beschreven in dit protocol) worden berekend volgens het volgende proces.

INPUT	PROCES	OUTPUT	WIE
Binnen bedrijf vastgestelde emissiecijfers, inclusief berekeningmethode	Rapporteren in MJV	MJV	Bedrijven
MJV's	Valideren MJV	Gevalideerd MJV	Bevoegd Gezag (Provincie)
Gevalideerd MJV t-2 Gevalideerde MJV's voorgaande jaren	Controle emissiecijfers: vergelijking met vorige jaren (trend) Bij niet onderbouwde afwijkingen in tekst MJV contact met Provincie en/of Bedrijf opnemen → emissiecijfer eventueel aanpassen en documenteren van het geheel	Goedgekeurde emissie (=Definitieve data werkveldtrekker (t-2))	Werkveldtrekker

**INPUT**Definitieve data
werkveldtrekker (t-2)**PROCES**Opnemen t-2 gegevens in
Emissieregistratiedatabase**OUTPUT**

ER-db met (t-2) data

WIE

Werkveldtrekker

ER-db met (t-2) data

Controle en trendanalyse lucht-
emissies: afwijkingen verklaren of
cijfers aanpassenDefinitief vastgestelde
emissiecijfers t-2Taakgroepen en
PBL-
deskundigen**Rapportage in CRF en NIR**

De bijdrage van de halfgeleiderindustrie wordt in het CRF gerapporteerd als onderdeel van het totaalcijfer van de SF6-emissie en de PFK-emissie onder de categorie 2F8 Overig. De individuele emissiecijfers worden als vertrouwelijk behandeld.

4 Onzekerheid en kwaliteit

4.1 Onzekerheidsinschatting

Jaarlijks wordt voor submittie van de NIR door de ER een Tier 1 onzekerheidsanalyse uitgevoerd op de broeikasgasinventarisatie volgens de IPCC richtlijnen. De gebruikte aannames en resultaten worden beschreven in een achtergrondrapport bij het National Inventory Report (NIR). In aanvulling hierop worden, voorzover opgenomen in het QA/QC programma voor de betreffende periode, regelmatig in specifieke situaties extra analyses uitgevoerd, waaronder eventuele actualisering van Tier 2 onzekerhedenanalyses. In 2006 is de Tier 2 onzekerheidsanalyse geactualiseerd. Deze analyse toonde aan dat de Tier 1 onzekerheidsanalyse voldoende betrouwbaar is en dat de Tier 2 onzekerheidsanalyse slechts met een tussenpoos van ongeveer 5 jaar hoeft te worden uitgevoerd, tenzij een grote verandering bij een belangrijke bron aanleiding geeft tot een eerdere actualisatie.

Bronspecifieke onzekerheid

De onzekerheidsschatting_{totaal} betreft de wortel van de optelsom van onzekerheid in de gebruikte databronnen (AD_{onz}) in het kwadraat en de onzekerheid van de emissiefactor (EF_{onz}) in het kwadraat. De grootte van de totale onzekerheid wordt hierbij voornamelijk bepaald door de grootste AD- of EF-onzekerheid.

$$\text{Onzekerheidsschatting}_{\text{totaal}} = \sqrt{EF_{onz.}^2 + AD_{onz.}^2}$$

De onzekerheidsschattingen ten aanzien van de gebruikte databronnen (AD) en emissiefactoren (EF) en totale onzekerheidsschatting is terug te vinden in onderstaande tabel.

IPCC	Categorie	Gas	AD _{onz.}	EF _{onz.}	Onzekerheid schatting _{totaal}
2F	PFK emissies door PFK-gebruik	PFC	5	25	25
2F	SF6 emissies door SF6 -gebruik	SF6	50	25	56

De onzekerheid in SF₆- en PFC emissies uit het verbruik van SF₆ en PFC werd geschat op respectievelijk 56% en 25%. De onzekerheid in de activiteitendata voor de SF₆- en PFC-bronnen werd geschat op respectievelijk 50% en 5%. Voor de emissiefactor van SF₆ en PFC werd de onzekerheid geschat op 25%. Al deze cijfers zijn gebaseerd op *expert judgements* (Olivier et al, 2009).



4.2 Kwaliteitsbewaking en –borging (QA/QC)

De werkveldtrekkers van de ER checken:

1. of basisdata goed zijn gedocumenteerd en overgenomen (check op typefouten, gebruik van juiste eenheden en goede omrekening);
2. of de berekeningen juist zijn uitgevoerd;
3. of aannames consistent zijn, alsmede of specifieke parameters (zoals activiteiten data) consistent zijn gebruikt;
4. of complete en consistente datasets zijn aangeleverd.

Eventuele hieruit voortvloeiende acties worden bijgehouden op een 'actielijst'. Alvorens de dataset wordt vastgesteld, wordt gecheckt of de relevante acties op deze lijst en de QC checks zijn afgehandeld.

Vaststelling hiervan vindt plaats in de Werkgroep Emissie Monitoring (WEM), dan wel schriftelijk door een e-mail van de instituutvertegenwoordigers aan de projectleider ER bij PBL.

Bij het toevoegen van nieuwe data wordt door de werkveldtrekker een documentatiesheet ingevuld. Om efficiencyredenen geldt een ondergrens voor verplichte documentatie van wijzigingen van 5% op doelgroepniveau en 0,5% op niveau van het nationale totaal. Deze documentatiesheets vormen een onderdeel van de trendanalyse en van de uiteindelijke vaststelling van de dataset.

De werkveldtrekkers van de ER communiceren per e-mail over deze QC-checks, resultaten en acties. Zij sturen daarvan een afschrift aan de secretaris van de ER, die een logboek bijhoudt en deze e-mails bundelt in een "actielijst". Daarmee wordt expliciet gemaakt dat de benodigde checks en correcties zijn uitgevoerd.

4.3 Verificatie

Om de kwaliteit van de emissiecijfers voor de bronnen in dit protocol te checken worden algemene QA/QC-procedures gevolgd in lijn met de IPCC guidelines. Deze zijn nader beschreven in het QAQC programma voor het National System en de jaarlijkse werkplannen van de Emissieregistratie.

- Sectorspecifieke QC

Voor de bronnen in dit protocol worden daarnaast geen aanvullende specifieke verificatieprocedures uitgevoerd.

4.4 Verbeterpunten t.a.v. huidige berekeningsmethode

4.4.1 Historie

Vóór 2003 waren alleen de inkoopcijfers van het jaar 1998 bij de Taakgroep ENINA van de ER bekend. De PFK emissie is berekend met een kleine afwijking in de volumefractie (1-C) en zonder optelling van het bijproduct CF4 (Bi).

	1998	IPCC	
	$1-C_i$	$1-C_i$	B_i
CF4	0,81	0,8	n.v.t.
C2F6	0,68	0,7	0,1
CHF3	0,28	0,3	n.v.t.
C3F8	n.v.t.	0,4	0,2
c-C4F8	n.v.t.	0,3	n.v.t.
NF3	0,15	0,2	n.v.t.
SF6	0,40	0,5	n.v.t.

Tabel 2 gebruikte parameters bij de PFC emissie over het jaar 1998 t.o.v. IPCC GPG



De jaren 1999 en 2000 werden geschat op basis van een gemiddelde jaarlijkse groei in de halfgeleiderindustrie. In het jaar 2002 zijn nieuwe emissiecijfers van 1995 tot en met 2001 door de Nederlandse Halfgeleiderfabrikant aan de taakgroep ENINA geleverd. Deze emissies zijn berekend volgens de in dit protocol beschreven methode.

4.4.2 Toekomst

N.v.t.

5 Overige aspecten

5.1 Puntbroncriteria

N.v.t.

5.2 Stofprofielen

N.v.t.

5.3 Regionalisering

N.v.t.

5.4 Tijdgebonden variaties in bronsterkte

N.v.t.

6 Referenties en aanvullende informatie

6.1 Referenties

DHV, 2000. Identificatie van onbekende bronnen van overige broeikasgassen

IPCC, 1997: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories, Three volumes: Reference Manual, Reporting Guidelines and Workbook. IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell, UK

IPCC, 2001: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC-TSU NGGIP, Japan

Olivier J.G.J., L.J. Brandes and R.A.B. te Molder, 2009 (in print) Uncertainty in the Netherlands' greenhouse gas emissions inventory: Estimate of annual and trend uncertainty for Dutch sources of greenhouse gas emissions using the IPCC Tier 1 approach, PBL-Report 500080013, Bilthoven

UNFCCC, 2004, Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual inventories, UNFCCC/SBSTA/2004/8, 3 September 2004



6.2 Aanvullende informatie

Bijlage 1: Begrippenlijst



Bijlage 1 Begrippenlijst

PFK	Perfluorocompounds
SF6	Sulfur Hexafluoride
ER	Emissie Registratie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
ROB	Reductieplan Overige Broeikasgassen
NIR	National Inventory Report
CRF	Common Reporting Format