



Planbureau voor de Leefomgeving

OVERIG BROEIKASGASEMISSIES IN DE NATIONALE ENERGIEVERKENNING 2017

**Achtergronden bij de projecties van de overige
broeikasgasemissies uit alle sectoren exclusief
landbouw**

C.J. Peek (RIVM) *

20 december 2017

***In opdracht van PBL**

Overige broeikasgasemissies in de Nationale Energieverkenning 2017

Achtergronden bij de projecties van de overige broeikasgasemissies uit alle sectoren exclusief landbouw

© PBL (Planbureau voor de Leefomgeving)
Den Haag, 2017
PBL-publicatienummer: 3197

Auteurs

Kees Peek (RIVM)

Contact

Kees.Peek@rivm.nl

Redactie

Pieter Hammingh (PBL)

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: [Peek K., 2017, Overige broeikasgasemissies in de Nationale Energieverkenning 2017. Publicatienummer 3197. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag].

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Methoden	5
2.1	Beleidsvarianten	5
2.2	Onzekerheidsanalyse	5
3	Toelichting per bron	6
3.1	Inleiding	6
3.2	Afvalverwijdering en stortplaatsen	9
3.3	Industrie: Salpeterzuur- en Caprolactamproductie	9
3.4	F-gassen (Industrie)	9
	3.4.1 Productie van HCFK22	9
	3.4.2 Ompakken	9
	3.4.3 Stationaire koeling	10
	3.4.4 Airco Mobiel	10
	3.4.5 Overige (Schuimen, Smitbussen, Brandblusmiddelen)	10
	3.4.6 Productie primair aluminium	10
	3.4.7 Halfgeleider industrie	10
	3.4.8 SF ₆ Totaal (Vermogensschakelaars, Dubbelglas, Electronenmicroscopen)	10
3.5	Verkeer&Vervoer	10
3.6	Energiesector	11
3.7	Gasmotoren in WKK-installaties	11
3.8	Overige bronnen CH ₄ en N ₂ O	11
	Referenties	12

1 Inleiding

Naast de CO₂-emissieramingen zijn er ook emissieramingen van de overige broeikasgassen (OBKG) opgesteld in de Nationale Energieverkenning 2017 (Schoots, Hekkenberg en Hammingh, 2017). De OBKG betreffen methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en de gefluoreerde broeikasgassen (HFK's, PFK's en SF₆), ook wel F-gassen genoemd. Deze worden in de NEV 2017 onderscheiden naar twee groepen van emissiebronnen, namelijk de landbouwsector (exclusief WKK) en de overige sectoren. In dit document wordt toegelicht hoe de emissieramingen van de OBKG uit de overige sectoren tot stand zijn gekomen. Voor de emissies van OBKG uit de landbouwsector (exclusief WKK) wordt verwezen naar de NEV 2017.

Om de overige broeikasgassen te kunnen vergelijken met CO₂ worden ze omgerekend naar CO₂-equivalenten. Dat is een rekeneenheid om de bijdrage van broeikasgassen aan het broeikaseffect onderling te kunnen vergelijken. Het is gebaseerd op het 'Global Warming Potential' (GWP), dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. Zo heeft methaan een GWP van 25 CO₂-equivalenten en zwavelhexafluoride (SF₆) een GWP van 22.800 CO₂-equivalenten. Dat houdt in dat 1 kilo methaan over een periode van 100 jaar 25 keer meer aan het broeikaseffect bijdraagt dan 1 kilo CO₂. 1 kilo zwavelhexafluoride draagt zelfs 22.800 keer meer bij dan 1 kilo CO₂. Het GWP-concept is ontwikkeld door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Zo wordt uiteindelijk de totale emissie van broeikasgassen uitgedrukt in CO₂-equivalenten.

2 Methoden

2.1 Beleidsvarianten

De NEV 2017 presenteert twee beleidsvarianten, namelijk 'vastgesteld beleid' en wordt veelal aangeduid met 'V' en 'vastgesteld en voorgenomen beleid' aangeduid met 'VV'. In de NEV 2017 zijn er ten opzichte van de NEV 2016 geen wijzigingen opgetreden in het vastgestelde en voorgenomen beleid voor de overige broeikasgassen uit de overige sectoren (excl. landbouw).

2.2 Onzekerheidsanalyse

Voor de overige broeikasgassen uit de overige sectoren zijn voor diverse sectoren bandbreedtes onzekerheden bepaald, waarbij rekening gehouden is met de onzekerheid met betrekking tot de economische ontwikkelingen en de effecten van beleidsmaatregelen. De onzekerheden gerelateerd aan de economische ontwikkelingen zijn bepaald met behulp van economische onzekerheidsmarges van het PBL (Drissen et al., 2016). De onzekerheden gerelateerd aan beleidsmaatregelen zijn gebaseerd op expertinschattingen.

De geraamde uitstoot van de overige broeikasgassen in 2030 uit de overige sectoren bij voorgenomen beleid (VV) kent een 90%-betrouwbaarheidsinterval van 6,7 tot 7,1 Mt CO₂-equivalenten. Voor verdere informatie hierover wordt verwezen naar het Achtergrondrapport onzekerheidsanalyses bij de NEV 2017 (van der Welle et al., 2017).

3 Toelichting per bron

3.1 Inleiding

Het startpunt van de ramingen is voor alle bronnen de gerealiseerde emissie, uitgedrukt in CO₂-equivalenten, in 2015 (het basisjaar). In Tabel 3.1 is voor de overige sectoren per bron een overzicht van de emissies van de overige broeikasgassen over de periode 1990-2035 opgenomen. De fysieke groeireeksen welke zijn gebruikt bij de ramingen zijn in Tabel 3.2 opgenomen.

De belangrijkste wijzigingen in de ramingen voor overige broeikasgassen in de NEV 2017 betreffen:

- De methaanemissie uit stortplaatsen in 1990 is ten opzichte van de NEV 2016 naar beneden bijgesteld. Deze bijstelling vond plaats naar aanleiding van een internationale review (UNFCCC, 2017).
- In vergelijking met de NEV 2016 zijn de geraamde emissies van de OBKG binnen de overige sectoren lager ingeschat (Tabel 3.1). Dit komt met name door een lagere raming van de methaanemissies die wordt veroorzaakt door een iets kleinere inzet van WKK-installaties in de projecties van deze NEV 2017.

Tabel 3.1 Emissies overige broeikasgassen (Mton CO₂-equivalenten) uit de overige sectoren, 1990-2035

[Bron 1990-2015: ER, 2017]

BRON	STOF (GROEP)	Realisaties [kiloton]					Projecties [kiloton] ¹					
		1990	2005	2010	2014	2015	2020 V	2020 VV	2030 V	2030 VV	2035 V	2035 VV
Afvalverwijdering- Stortplaatsen	CH₄	13,7	5,7	4,1	3,1	2,9	2,1	2,1	1,1	1,1	0,8	0,8
Industrie	N₂O	6,8	6,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
Salpeterzuurproductie	N ₂ O	6,1	5,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Caprolactamproductie	N ₂ O	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
F-gassen (Industrie)		8,48	2,30	3,13	2,48	2,58	2,18	2,18	0,98	0,98	0,98	0,98
Productie van HCFK22	HFK23	5,61	0,25	0,49	0,05	0,12	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Ompakken	HFK's / PFK's	0,00	0,06	0,16	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Stationaire koeling	HFK's	0,00	0,97	1,45	1,59	1,59	1,12	1,12	0,30	0,30	0,30	0,30
Airco Mobiel	HFK134a	0,00	0,31	0,42	0,45	0,45	0,33	0,33	0,10	0,10	0,10	0,10
Overigen (Schuimen, Spuitbussen, Brandblusmiddelen)	Overige HFK's	0,00	0,15	0,20	0,15	0,15	0,20	0,20	0,13	0,13	0,13	0,13
Productie primair Aluminium	PFK14 / PFK116	2,64	0,10	0,07	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Halfgeleider industrie	Overige PFK's / SF ₆	0,03	0,27	0,22	0,10	0,09	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
SF ₆ Totaal (Vermogensschakelaars, Dubbelglas, Elektronenmicroscopen)	SF ₆	0,20	0,19	0,14	0,13	0,13	0,10	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03
Verkeer & Vervoer	CH₄	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	N₂O	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Energiesector	CH₄	1,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
Waarvan Olie- en Gaswinning	CH ₄	1,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Waarvan Transport Aardgas	CH ₄	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Waarvan Distributie Aardgas	CH ₄	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Gasmotoren in WKK-installaties	CH₄	0,07	0,39	1,26	0,95	0,98	0,77	0,77	0,50	0,47	0,49	0,46
Waarvan Glastuinbouw	CH ₄	0,05	0,26	1,16	0,86	0,88	0,64	0,64	0,40	0,36	0,39	0,36
Overige bronnen²	CH₄	1,4	1,6	1,5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Overige bronnen²	N₂O	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

BRON	STOF (GROEP)	Realisaties [kiloton]					Projecties [kiloton]*					
		1990	2005	2010	2014	2015	2020 V	2020 VV	2030 V	2030 VV	2035 V	2035 VV
TOTAAL Per stof(groep)	CH ₄	17,3	8,6	7,8	6,2	6,0	5,0	5,0	3,7	3,6	3,3	3,3
	N ₂ O	7,6	7,3	2,0	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	F-GASSEN	8,5	2,3	3,1	2,5	2,6	2,2	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0
TOTAAL	Overige BKG	33,3	18,2	12,9	10,8	10,8	9,4	9,4	6,9	6,8	6,6	6,5
	waarvan ETS			0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

1) V = vastgesteld beleid, VV = vastgesteld + voorgenomen beleid

2) Rioolwaterzuiveringsinstallaties, de energiesector, de industrie en consumenten

Tabel 3.2 Fysische groeireksen als index (2015 = 100)

	Realisatie	Ramingen ⁴					
	2015	2020-V	2020-VV	2030-V	2030-VV	2035-V	2035-VV
Industrie Chemische industrie ¹⁾	100	102,1	102,1	106,7	106,7	109,1	109,1
Industrie Basismetalaalindustrie Primair aluminium ¹⁾	100	100	100	100	100	100	100
Energie Winning Aardgas ²⁾	100	83,2	83,2	32,7	32,7	27,7	27,7
Glastuinbouw WKK inzet aardgas ³⁾	100	61,1	61,1	38,1	34,6	36,7	34,5

1) Van Hout, 2017

2) Aardgaswinning (ECN, 2017)

3) Aardgas inzet WKK Glastuinbouw (ECN, 2017)

4) V = vastgesteld beleid, VV = vastgesteld + voorgenomen beleid

3.2 Afvalverwijdering en stortplaatsen

In deze sector ontstaat methaan bij stortplaatsen door de biologische afbraak van de organische stof. Dit proces kan tientallen jaren duren. Het geproduceerde methaan verlaat de stortplaats via de toplaag, waarbij het nog geheel of gedeeltelijk kan worden geoxideerd. Ook kan het worden gewonnen via in het stortlichaam geplaatste gasonttrekkingsbuizen.

De methaanproductie wordt modelmatig berekend door Rijkswaterstaat (van Huet, 2017). De jaarlijks variërende factoren in deze berekening zijn:

- de jaarlijkse hoeveelheid gestort afval;
- het koolstofgehalte;
- de hoeveelheid gewonnen stortgas.

In de berekening voor de NEV 2017 is specifiek rekening gehouden met:

- Een halvering van het te storten materiaal vanaf 2020;
- Bijna een halvering van het potentieel afbreekbare koolstof per ton gestort afval vanaf 2020;
- Verminderde onttrekking, doordat er minder stortgas gevormd wordt.

Hierdoor zullen de emissies dalen tot 1,1 Mton CO₂-equivalenten in 2030 en 0,8 Mton CO₂-equivalenten in 2035.

3.3 Industrie: Salpeterzuur- en Caprolactamproductie

Omdat er geen verdere reductiemaatregelen verwacht worden tot 2035, zijn bij zowel de productie van salpeterzuur als Caprolactam de emissies voor de toekomstige jaren berekend met de groeireeksen uit Tabel 3.2. Voor Salpeterzuur is de groeireeks "Chemische industrie - kunstmest" gebruikt en voor caprolactam de reeks "Chemische industrie".

3.4 F-gassen (Industrie)

3.4.1 Productie van HCFC22

Bij de productie van HCFC22 wordt als bijproduct HFK23 gevormd, dat grotendeels in een naverbrander wordt vernietigd. De uiteindelijke emissie van HFK23 is dus met name afhankelijk van hoeveel procent (op jaarbasis) van de gevormde HFK23 wordt verwerkt in de naverbrander. Daarom is voor de toekomstige jaren de hoogste HFK23 uitstoot over de laatste 5 jaar aangehouden. Deze bedraagt 0,24 Mton CO₂-equivalenten.

3.4.2 Ompakken

Het gaat hier om de emissies van HFK's (HFK32, HFK125, HFK134a, HFK143a, HFK152a, Overige HFK's en Overige PFK's), die vrijkomen bij het ompakken (handling) van HFK's van grote (bijvoorbeeld containers) naar kleinere verpakkingseenheden (bijvoorbeeld cilinders).

Omdat de jaarlijkse hoeveelheden om te pakken HFK's nogal fluctueren en daarnaast op 1 januari 2015 de EU-verordening (EC,2014) in werking is getreden, is voor de toekomstige jaren de emissie gelijk gehouden aan de gemiddelde emissie over de laatste 4 jaar.

3.4.3 Stationaire koeling

Bij stationaire koeling gaat het de uitstoot van HFK23, HFK32, HFK125, HFK134a en HFK143a. Als gevolg van de nieuwe EU-verordening (EC,2014) die op 1 januari 2015 in werking is getreden moet het gebruik van HFK's (gerekend in CO₂-equivalenten) tussen 2015 en 2030 met 79% dalen. Met als uitgangspunt het voor 2015 bepaalde gebruikscijfer zijn als eerste stap de gebruikscijfers voor de jaren tussen 2015 en 2030 bepaald. Daarom is deze waarde ook voor de toekomstige jaren aangehouden. Voor de jaren 2031-2035 zijn dezelfde gebruikscijfers aangehouden als voor 2030. Vervolgens zijn met behulp van deze gebruikscijfers en de hoeveelheid te vervangen voorraad de emissies, via een gemiddeld lekpercentage van 5% (de Baedts, 2001) bepaald.

3.4.4 Airco Mobiel

Momenteel gaat het bij deze bron alleen om de uitstoot van HFK134a. De Europese richtlijn 2006/40/EC (MAC-richtlijn (EC, 2006)) verbiedt het gebruik van koudemiddelen met een GWP > 150 in nieuwe auto's vanaf 2017. Rekening houdend met dit verbod zijn de emissies voor de toekomstige jaren berekend met behulp van een emissiefactor per bouwjaar en de omvang van het autopark. De gegevens over de ontwikkeling van het autopark zijn aangeleverd door de Sector Verstedelijking en Mobiliteit van het PBL. De emissiefactoren per bouwjaar zijn bepaald met behulp van de lekpercentages uit een aantal onderzoeken (Minnesota Pollution Control Agency, 2009-2013; YU & CLODIC, 2008; de Baedts, 2001).

3.4.5 Overige (Schuimen, Spuitbussen, Brandblusmiddelen)

Als gevolg van de nieuwe EU-verordening die op 1 januari 2015 in werking is getreden moet het gebruik van HFK's (gerekend in CO₂-equivalenten) tussen 2015 en 2030 met 79% dalen. Met als uitgangspunt de voor 2015 bepaalde gebruikscijfer zijn als eerste stap de gebruikscijfers voor de jaren tussen 2015 en 2030 bepaald. Voor de jaren 2031-2035 zijn dezelfde gebruikscijfers aangehouden als voor 2030. Vervolgens zijn met behulp van deze gebruikscijfers en de default emissiefactoren de emissies bepaald. Genoemde bronnen mogen vanwege vertrouwelijkheid niet apart gepubliceerd worden.

3.4.6 Productie primair aluminium

Omdat er geen verdere reductiemaatregelen verwacht worden tot 2035, zijn bij de productie van primair Aluminium de emissies voor de toekomstige jaren berekend met de groeireeksen uit Tabel 3.2.

3.4.7 Halfgeleider industrie

Voor de toekomstige jaren is de 2020-doelstelling van 130 kiloton CO₂-eq aangehouden. Dit cijfer is afkomstig van de enige producent in Nederland.

3.4.8 SF₆ Totaal (Vermogensschakelaars, Dubbelglas, Electronenmicroscopen)

De emissie van deze bronnen schommelt de laatste jaren rond de 0,15 Mton CO₂-equivalenten. Vanwege de EU-F-gassen verordening waarin een verbodsbepaling op de toepassing van SF₆ voor geluidsisolerend dubbelglas is opgenomen vindt er sinds 2006 in Nederland geen productie meer plaats van geluidsisolerend dubbelglas met SF₆. Daarom zijn de SF₆ emissies sinds 2007 alleen nog maar afkomstig van emissies die optreden tijdens de gebruiksfase en in de afvalfase. Omdat de voorraad Dubbelglas met SF₆ als geluidsisolerend medium steeds minder wordt, zal de emissie vanuit deze bron en daardoor ook de som van de drie SF₆ bronnen de komende jaren flink dalen.

3.5 Verkeer&Vervoer

De CH₄-en N₂O-emissies zijn aangeleverd door de sector 'Verstedelijking en Mobiliteit' van het PBL.

3.6 Energiesector

De emissies die vrijkomen bij de olie- en gaswinning zijn voor de toekomstige jaren berekend met de groeireeks 'Winning Aardgas' uit Tabel 3.2. Omdat de emissies van transport en distributie van aardgas vanaf 2005 redelijk constant zijn, is voor beide bronnen voor de toekomstige jaren de gemiddelde emissie over de periode 2006-2015 aangehouden.

3.7 Gasmotoren in WKK-installaties

De CH₄-emissie van de WKK's in de glastuinbouw voor de toekomstige jaren is berekend met de aardgasinzet (zie Tabel 3.2) en een emissiefactor van 460 g/GJ Aardgas (van Dijk, 2012).

Voor de overige sectoren, met name 'Handel, Diensten en Overheid en Industrie', wordt al jaren gewerkt met een emissiefactor van 250 gr CH₄/GJ aardgas [van Dijk, 2004]. Omdat de aardgasinzet de laatste jaren vrij constant is, zijn de CH₄-emissies voor de toekomstige jaren gelijk gehouden aan die van 2015. De emissie van WKK's in de Landbouw, met als voeding biogas uit co-vergisting, is berekend met een emissiefactor van 250 g/GJ Biogas (Verdonk en Wetzels, 2012).

3.8 Overige bronnen CH₄ en N₂O

Naast de al besproken bronnen zijn er nog enkele kleine emissiebronnen van methaan en/of lachgas bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), de energiesector, de industrie en consumenten. De emissies van deze bronnen zijn vanaf 2005 redelijk constant. Daarom is voor de emissies van alle jaren tot 2035 het gemiddelde over de periode 2005-2015 aangehouden.

Referenties

- De Baedts E.E.A., et al., 2001. Koudemiddelgebruik in Nederland. STEK, Baarn (in Dutch).
- Drissen E., et al., 2016. Demografie en economie in de nationale energie verkenning 2015. PBL-Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Drissen E., 2016. Persoonlijk contact, PBL, De Haag.
- EC, 2006. DIRECTIVE 2006/40/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC. 17 May 2006
- EC, 2014. REGULATION (EU) No 517/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006.
- ER, 2017. Emissieregistratie, definitieve emissiecijfers 1990-2015. Februari 2017. RIVM, Bilthoven, www.emissieregistratie.nl
- Geilenkirchen G. et al., 2017. Verkeer en vervoer in de Nationale Energieverkenning 2017. PBL-Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- ECN, 2017. Persoonlijk contact met K. Smekens, ECN, Petten.
- Minnesota Pollution Control Agency, 2009-2013: Minnesota air conditioner leak rate database, Model Years 2009-2013. Minnesota Pollution Control Agency, Minnesota.
- Verdonk M., en W. Wetzels, 2012. Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012 Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030. PBL/ECN. ISBN: 978-94-91506-12-3, PBL-publicatienummer: 500278001. Den Haag 2012.
- YU & CLODIC, 2008: Generic approach of refrigerant HFC-134a emission modes from MAC systems. Laboratory tests, fleet tests and correlation factor. Centre for energy and processes, Ecole des Mines de Paris, France.
- Schoots K., M. Hekkenberg en P. Hammingh, 2016. Nationale Energieverkenning 2016. ECN-O--16-035. Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten.
- Schoots K., M. Hekkenberg en P. Hammingh, 2017. Nationale Energieverkenning 2017. ECN-O--17-018. Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten.
- UNFCCC, 2017. Report on the individual review of the annual submission of the Netherlands submitted in 2016, UNFCCC, June 2017.
- Van Dijk G.H.J., 2004. Inventarisatie CH₄- en NO_x-emissiereductie voor aardgasmotoren. Rapport: RE2003.R.0612, Gasunie Research, Energy Innovation & Consultancy, N.V. Nederlandse Gasunie, Groningen, 17 februari 2004.
- Van Dijk G.H.J., 2012. Hydrocarbon emissions from gas engine CHP-units; 2011 measurement program. KEMA Nederland B.V, Groningen, June 28, 2012
- Van Hout M., 2017. Data bestand Physical_Units_NEV2017_02062017, persoonlijk contact, ECN, Petten.
- Van Huet B., 2017. Persoonlijk contact, RWS/WVL, Rijswijk.
- Van der Welle A.J., M. Hekkenberg, G. Geilenkirchen, M. van Hout, M. Menkveld, K. Peek, A. J. Plomp, M. van Schijndel, S. van der Sluis, K.E.L. Smekens, J. van Stralen, C. Tigchelaar, W. Wetzels, 2017. Achtergronddocument onzekerheden in de NEV 2017. ECN-E--17-049. Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten.