



# Milieueffecten nageschakelde technieken

19 december 2023

**Kenmerk** R001-1287766BWH-V04-Ios-NL

## Verantwoording

<b>Titel</b>	Milieueffecten nageschakelde technieken
<b>Opdrachtgever</b>	RWS Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Projectleider</b>	Berend Hoekstra
<b>Auteur(s)</b>	Albert Brouwer
<b>Projectnummer</b>	1287766
<b>Aantal pagina's</b>	30
<b>Datum</b>	19 december 2023
<b>Handtekening</b>	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

## Colofon

TAUW bv  
Handelskade 37  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
T +31 57 06 99 91 1  
E [info.deventer@tauw.com](mailto:info.deventer@tauw.com)

## Inhoud

Managementsamenvatting .....	4
1 Inleiding .....	5
1.1 Aanleiding .....	5
1.2 Doel en afbakening .....	5
2 Milieueffecten van nageschakelde technieken .....	6
2.1 Overzicht van milieueffecten .....	6
2.2 Focus van dit onderzoek .....	8
3 Methodiek .....	8
3.1 Milieuprijzen voor kwantificering van milieueffecten .....	8
3.2 Berekeningsmethodiek .....	11
4 Praktijkvoorbeelden .....	16
4.1 NOx (SCR) .....	16
4.2 VOS (regeneratieve thermische oxidatie) .....	20
4.3 VOS (actief koolfilter) .....	22
4.4 Stof (doekenfilter) .....	25
5 Handvatten voor vergunningverlening .....	28
5.1 Toepassing van S(N)CR .....	28
5.2 Toepassing van thermische oxidatie .....	29
5.3 Alle overige technieken .....	30
Bijlage 1     Berekeningen milieukosten SCR	
Bijlage 2     Berekeningen milieukosten thermische naverbrander	
Bijlage 3     Berekeningen milieukosten actief koolfilter	
Bijlage 4     Berekeningen milieukosten doekenfilter	

## Managementsamenvatting

Emissies van luchtverontreinigende stoffen naar de atmosfeer kunnen leiden tot negatieve effecten op de menselijke gezondheid en op natuur. Daarom is het wenselijk om emissies zoveel mogelijk te voorkomen, en als dat niet mogelijk is, te beperken. Om emissies te beperken kunnen technieken ingezet worden die afgasstromen behandelen, dit worden 'nageschakelde technieken' genoemd. Een voorbeeld van een dergelijke techniek is een stoffilter, wat fijnstof filtert uit een gasstroom alvorens deze gasstroom in de atmosfeer terecht komt.

Vrijwel alle nageschakelde technieken hebben zowel positieve als negatieve effecten op het milieu. Enerzijds wordt de uitstoot van verontreinigende stoffen naar de atmosfeer voorkomen, maar anderzijds leidt toepassing van een techniek tot diverse andere milieueffecten. Dit betreft bijvoorbeeld het verbruik van energie, het ontstaan van afvalwaterstromen en het ontstaan van afval. Het is van belang dat toepassing van een nageschakelde techniek leidt tot een vermindering van de milieubelasting, en niet slechts een verschuiving of zelfs verergering daarvan. Daarom is vanuit de praktijk de wens ontstaan om op objectieve wijze een afweging te kunnen maken over het netto milieueffect van toepassing van een nageschakelde techniek. Dit rapport voorziet in handvatten die kunnen helpen bij het maken van afwegingen. Er is gekozen voor een focus op de aspecten 'klimaat' en 'natuur'. Daarom ligt de focus op de emissies van CO<sub>2</sub> (klimaat) en emissies van stikstofoxiden en ammoniak (natuur, stikstofdepositie). De andere milieueffecten van een techniek zijn niet kwantitatief beschouwd in dit rapport.

Toepassing van een nageschakelde techniek blijkt in de meeste typische situaties een positief milieurendement te geven. Veel technieken stoten geen stikstof uit en hebben dus geen negatieve milieueffecten op het vlak van natuur. Emissies van CO<sub>2</sub> treden wel bijna altijd op, vaak indirect door het verbruik van elektriciteit. Een negatief milieurendement kan voorkomen, dit betreft situaties waarbij een techniek wordt toegepast op een afgasstroom die al zeer lage concentraties verontreiniging bevat. Er is dan weinig milieuvoordeel te behalen, terwijl de milieunadelen van de techniek wel volledig meetellen. Inzet van een techniek is dan enkel zinvol vanuit milieuoogpunt als de af te vangen stof een forse milieuprijs heeft. Bij emissies van ZZS gaat het vaak om lage emissieconcentraties en pakken de netto milieukosten van toepassing van een nageschakelde techniek al snel negatief uit, terwijl emissies van ZZS juist met prioriteit voorkomen moeten worden. Dit benadrukt de wenselijkheid van het voorkomen van emissies boven achteraf filteren. Ook geldt dat de huidige methodiek van milieubeprijzing neigt tot onderschatting van de milieuprijs van ZZS en zo een vertekend beeld kan geven. Bij ZZS emissies is het beschermen van mensen in de buurt van de bron een reden om toch maatregelen te willen treffen.

Bij toepassing van thermische naverbranding is er sprake van significante milieueffecten vanwege emissies van CO<sub>2</sub> en stikstofoxiden. Uit de berekeningen in dit rapport is gebleken dat toepassing van thermische naverbranding daardoor enkel een netto milieupositieve stap is als de emissies van stikstofoxiden afdoende worden beheerst tot het huidige BBT niveau, ruwweg 20 - 100 mg/Nm<sup>3</sup> afhankelijk van de specifieke toepassing.

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Vanuit oogpunt van milieu is het wenselijk een steeds verdergaande verbetering van de luchtkwaliteit te realiseren. Hierdoor ontstaat permanente gezondheidswinst voor iedereen. Toepassing van nageschakelde technieken is een onderdeel van de strategie om de emissies naar de lucht te beperken. De voorkeur voor maatregelen vanuit milieuperspectief is als volgt:

1. Vermijden van emissies (inherent schoner)
2. Beperken van emissies door middel van een proces geïntegreerde maatregel
3. Behandelen van de afgassen met nageschakelde techniek, met de voorkeursvolgorde:
  - a. Productterugwinning of vorming van waardevolle bijproducten
  - b. Nuttig gebruik van de energie
  - c. Zo min mogelijk negatieve milieueffecten

Nageschakelde technieken kunnen naast het positieve effect door de reductie van emissies van schadelijke stoffen ook nadelig uitpakken voor andere milieuthema's. Bijvoorbeeld: de inzet van een naverbrander die ZZS reduceert, heeft als nadelig effect het gebruik van aardgas waardoor emissies van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> ontstaan. Bij het selecteren van een nageschakelde techniek is het daarom van belang om een goed geïnformeerde afweging te maken tussen de verschillende milieueffecten die een nageschakelde techniek heeft. In de praktijk ontstaat dan ook discussie welke nageschakelde technieken het beste kunnen worden ingezet.

### 1.2 Doel en afbakening

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van praktische en eenvoudig te gebruiken informatie die bedrijven en overheden inzicht geeft in de milieueffecten van nageschakelde technieken. De informatie moet het bevoegd gezag en bedrijven helpen bij de keuze van een techniek waarbij deze bezien vanuit de positieve en negatieve milieueffecten in zijn geheel een hoge bescherming van het milieu biedt. Dit onderzoek focust op de milieueffecten op het vlak van klimaat (uitstoot van broeikasgassen) en natuur (aspect stikstofdepositie). Andere milieueffecten, zoals emissies naar water en bodem, het ontstaan van afval, et cetera maken enkel kwalitatief onderdeel uit van dit onderzoek.

Eerst is een samenvattend overzicht gemaakt van de milieueffecten van de verschillende nageschakelde technieken. Daarna wordt voor een nadere selectie van technieken een kwantitatieve uitwerking van de milieueffecten gemaakt (op broeikasgasemissies en emissies van stikstofverbindingen). Deze uitwerking vindt algemeen per techniek plaats en aan de hand van rekenvoorbeelden. De systematiek van milieuprijzen (zie hoofdstuk 3) wordt gebruikt voor de kwantificering van milieueffecten. Daarmee wordt een algemeen beeld gegeven van de netto milieuwinst door toepassing van een nageschakelde techniek. Toepassing van de methodiek op een individuele casus is hierdoor kwetsbaar: de methodiek van milieubeprijzing is bedoeld voor beleidsevaluatie, minder voor casus-specifieke vraagstellingen. Afsluitend worden concrete handvatten gegeven over de toepassing van deze informatie in de praktijk van vergunningverlening.

## 2 Milieueffecten van nageschakelde technieken

### 2.1 Overzicht van milieueffecten

De tabel op de volgende pagina geeft een overzicht van veelvoorkomende nageschakelde technieken. De tabel geeft een kwalitatieve indruk van deze emissiebeperkende technieken: welke stoffen kunnen verwijderd worden en welke milieueffecten moeten verwacht worden?

Indien de techniek niet primair is bedoeld voor een bepaalde verontreiniging, maar deze verontreiniging wel (deels) met de techniek wordt verwijderd, is dit aangegeven met een '+' in plaats van '♦'. In de onderste helft van de tabel wordt met een 'x' aangeduid welke milieueffecten verwacht worden in een gebruikelijke situatie.

**Kenmerk R001-1287766BWH-V04-los-NL**
**Techniek**
**Verwijderde componenten**
**Neven effect**

	Gaswasser	Filtër met kalkinjectie	Adsorptiefiltër	Biofiltër	Biotrickling	Biologische wasser	SCR	SNCR	Condensor	Cryo-condensatie	Elektrostatisch filter	Stoffilter	Misfilter (druppel)	Bezinkkamer	Cycloon	Ionisatie	Stofwasser	Sproeieren	Ventuwasser	Thermische naverbrander	Regeneratieve naverbrander
Droog stof	+									♦	♦		♦	♦			♦	♦	♦	+	
Nat stof	+									♦			♦				♦	♦	♦	+	
VOS	♦		♦	♦	♦	♦			+	♦						+	+	+	+	♦	♦
SO <sub>2</sub>	♦	♦															♦				
NO <sub>x</sub>							♦	♦													
NH <sub>3</sub>	♦		♦	♦	♦	♦			+	+							♦		♦	+	
Anorganische gassen	♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦	+	+			+			+	+	+	+		
Geur	♦		♦	♦	♦	♦			♦	♦			+			♦	+	+	+	♦	♦
NO <sub>x</sub>																				x	x
NH <sub>3</sub>							x	x													
Broeikasgas-CO <sub>2</sub>																				x	x
Broeikasgas-overig																					
Elektra kWh/1.000Nm <sup>3</sup>	0,2-1	1	0,2-2	<1	0,5-1	0,2-0,5	0,1	0,1	70		0,2-2	0,2-2	x		0,25-1,5	0,3-3	0,4-2,7	0,4-2,7	0,5-7	3-8	1,5-2,25
Waterverbruik / afvalwater	x	x		x	x	x			x		x			x	x	x	x	x	x		
Grondstoffen (reagentia,...)	x																				
Afal	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Geur					x	x															
N <sub>2</sub> O								x													
SO <sub>3</sub>		x					x	x													
Ozon																x					
CO																				x	x
Dioxine																				x	x

## 2.2 Focus van dit onderzoek

De focus van dit onderzoek ligt op de directe effecten die een techniek heeft op de aspecten klimaat en natuur. Daartoe worden de volgende effecten beschouwd:

- Verbruik van elektriciteit. Bij alle technieken is sprake van elektriciteitsverbruik in meer of mindere mate. Het milieueffect van elektriciteitsverbruik dat we beschouwen in dit onderzoek betreft de uitstoot van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> vanwege het opwekken van deze elektriciteit. Dit aspect kan toegepast worden op alle nageschakelde technieken
- Uitstoot van stikstofoxiden. Een milieueffect van het gebruik van thermische naverbranders
- Uitstoot van ammoniak. Dit is een milieueffect van het gebruik van S(N)CR technologie
- Directe uitstoot van CO<sub>2</sub>. Een milieueffect bij het gebruik van thermische naverbranders. Hierbij wordt zowel de CO<sub>2</sub> betrokken die het gevolg is van het verbranden van afgassen, als de uitstoot die volgt uit het verstoken van steunbrandstof

## 3 Methodiek

### 3.1 Milieuprijzen voor kwantificering van milieueffecten

In hoofdstuk 2 is aandacht besteed aan de vraag welke milieueffecten kunnen optreden door de inzet van nageschakelde technieken. Ook is duidelijk gemaakt welke focus gekozen is voor het voorliggende onderzoek. Deze focus ligt op de aspecten klimaat (uitstoot van CO<sub>2</sub>) en natuur (aspect stikstofdepositie).

#### Milieuprijzen conform methodiek CE Delft

Gezien deze focus beoordelen we de milieueffecten door de uitstoot van drie stoffen: (indirecte) CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub>. De milieuschade die ontstaat ten gevolge van de uitstoot van die drie stoffen moet daarom gekwantificeerd worden. Voor het kwantificeren van de milieuschade die ontstaat door luchtverontreiniging bestaat een handzame en eenduidige methodiek: de methodiek van 'milieuprijzen' zoals uitgewerkt door CE Delft in het Handboek Milieuprijzen 2023. Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke waarde van milieuvervuiling berekenen en uitdrukken in euro's per kilogram vervuilende stof. Milieuprijzen geven daarmee de welvaartsverliezen weer die optreden als er één extra kilogram van de stof in het milieu terecht komt.<sup>1</sup>

Als bekend is hoeveel uitstoot van een stof ontstaat uit een industrieel proces, dan kan die uitstoot omgezet worden in een prijs in euro's die de nadelige milieueffecten representeert: de milieukosten. Hiertoe wordt de milieuprijs van die stof vermenigvuldigd met het aantal kilogrammen van de stof dat wordt uitgestoten naar de lucht. Op een gelijke wijze kunnen ook de milieubaten gekwantificeerd worden, namelijk als het aantal kilogrammen uitstoot bekend is dat vermeden wordt door toepassing van een nageschakelde techniek. Voorts wordt het netto milieueffect van de nageschakelde techniek berekend door de kosten af te trekken van de baten. Het milieueffect ten gevolge van de nageschakelde techniek is dan concreet uitgedrukt in een getal: de milieuwinst. Als dit getal positief uitpakt, dan kan gesproken worden van een netto positief milieueffect van toepassing van de nageschakelde techniek.

---

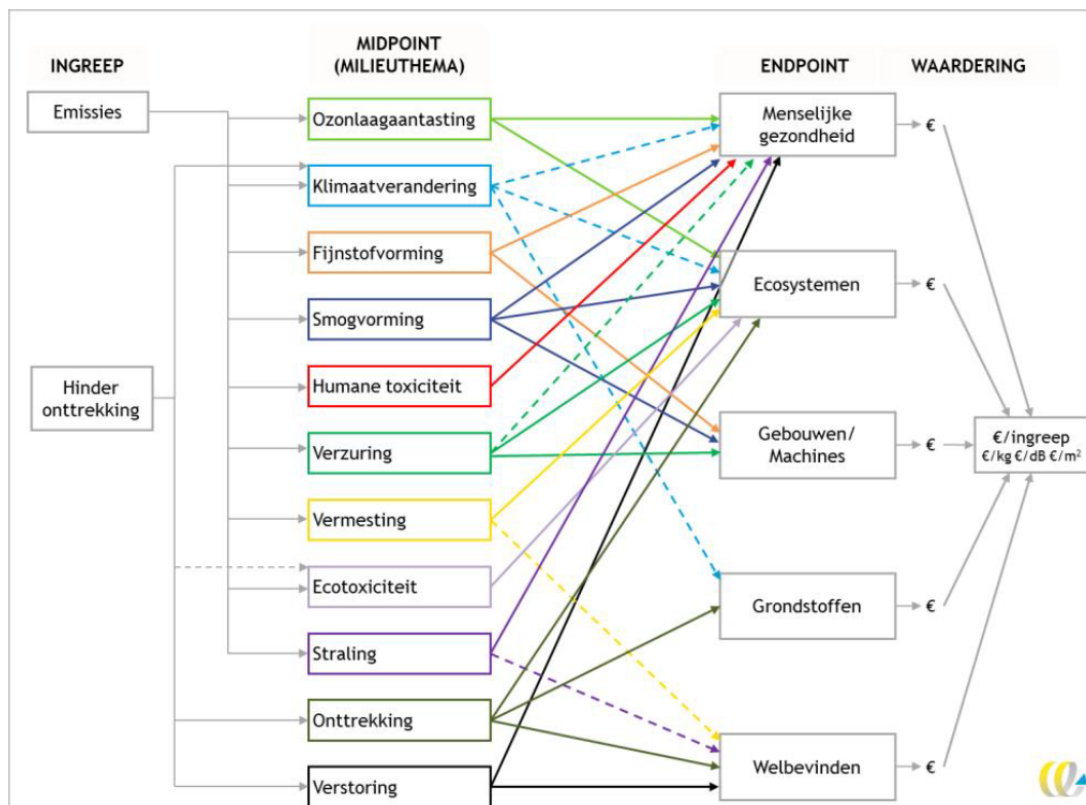
<sup>1</sup> CE Delft, Handboek milieuprijzen 2023



Als de som negatief uitpakt, dan is dat een signaal dat de negatieve milieueffecten groter zijn dan de positieve milieueffecten en is er sprake van milieuverlies.

Let op, de milieuprijs in de CE Delft methodiek is een abstracte representatie van de welvaartsverliezen die optreden ten gevolge van de emissie van een stof naar de lucht. Het betreft niet zozeer euro's in het financieel verkeer en heeft dan ook niets te maken met onderwerpen zoals kosteneffectiviteit, iets wat ook mee kan spelen in de afwegingen rondom de keuze voor een nageschakelde techniek.

**Overzicht van alle relaties in het Handboek Milieuprijzen**



Figuur 3.1 Overgenomen uit [ref. 1], figuur 1. In de milieuprijzen wordt uitdrukking gegeven aan de maatschappelijke waarde van milieuvuiling, door de impact op zoveel mogelijk aspecten mee te nemen

De milieuprijzen van enkele stoffen worden gegeven in tabel 3.1. De milieuprijzen kennen een onderwaarde, centrale waarde en bovenwaarde, hiermee wordt uitdrukking gegeven aan het feit dat er onzekerheid verbonden is aan het waarderen van milieuvuiling<sup>2</sup>. In dit onderzoek is aangesloten bij de 'centrale waarde' uit bijlage H.2 van het genoemde CE Delft rapport.

<sup>2</sup> Zie ook de toelichting onder paragraaf 2.2.2 van het Handboek Milieuprijzen (2023)

Tabel 3.1 Milieuprijzen van relevante stoffen.

Stof	CAS nummer	Prijs in euro/kg emissie naar lucht (onderwaarde)	Prijs in euro/kg emissie naar lucht (centrale waarde)	Prijs in euro/kg emissie naar lucht (bovenwaarde)
CO <sub>2</sub>	000124-38-9	0,050	0,130	0,160
NO <sub>x</sub>	011104-93-1	18,3	29,9	44,1
NH <sub>3</sub>	007664-41-7	30,4	49,3	67,9
Stof (als PM10)	999999-83-0	41,4	69,3	97,9
NMVOS	999999-82-8	1,76	2,73	3,82

#### Milieuprijzen in relatie tot ZZS componenten

In dit onderzoek is aan de hand van voorbeelden een methodiek gegeven om een integrale afweging te maken voor nageschakelde technieken. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het handboek milieuprijzen van CE Delft. Hoewel deze prijzen met grote zorgvuldigheid en aan de hand van (wetenschappelijke) data en modellen zijn bepaald, zijn ze ook onderhevig aan onzekerheid. Bij ZZS - die toxisch zijn voor de mens en de natuur en mogelijk ook bio-accumulerend - speelt dat sterker. Dit omdat er op het gebied van humane toxiciteit en ecotoxiciteit nog kennisleemte bestaat, waardoor deze effecten naar waarschijnlijkheid ondergewaardeerd worden. Ook voor stoffen die biologisch niet of nauwelijks afbreken, zoals PFAS, is de kennisbasis op dit moment onvoldoende om tot een inschatting van de schadekosten te komen. Daarom wordt in deze rapportage wel gebruik gemaakt van de methodiek zoals neergelegd in het Handboek milieuprijzen, maar wordt in de berekeningen gewerkt met stoffen die tekenend zijn voor meer traditionele vormen van luchtverontreiniging, zoals fijnstof, NMVOS en NO<sub>x</sub>. De methodiek is kwetsbaar als deze gebruikt wordt om de milieukosten te berekenen van stoffen met ZZS-specifieke eigenschappen zoals CMR eigenschappen.

#### Vergelijking met andere milieuprijs-methoden

Naast de uitwerking van milieuprijzen door CE Delft, bestaat ook een soortgelijke methodiek van EIONET, het Europees milieuoagentschap<sup>3</sup>. Beide methodieken koppelen de uitstoot van een hoeveelheid luchtverontreinigende stof aan het welvaartsverlies dat daaruit volgt, uitgedrukt in euro's (zie ook figuur 3.1). Tabel 3.2 zet de milieuprijzen uit beide onderzoeken naast elkaar.

Tabel 3.2 Vergelijking milieuprijzen CE Delft versus EIONET.

Stof	Milieuprijs CE Delft [euro/kg, centrale waarde]	Milieuprijs EIONET, VOLY waardering [euro/kg]
CO <sub>2</sub>	0,130	-
NO <sub>x</sub>	29,9	23,13
NH <sub>3</sub>	49,3	34,84
Stof (als PM10)	69,3	61,78
NMVOS	2,73	2,07

<sup>3</sup> ETC/ATNI Report 04/2020, Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2017

De onderliggende rekenmethodes die CE Delft en EIONET gebruiken, zijn sterk vergelijkbaar. Het betreft dan ook methoden met dezelfde theoretische basis en gebruiksdoelen. Nuanceverschillen zijn er wel, zo werkt bijvoorbeeld het EIONET rapport met een waardering van gezondheidskosten (een van de factoren in het bepalen van de totale milieuprijs) in zowel VOLY (value of life year) als VSL (value of statistical life). CE Delft kiest ervoor om te werken met een waardering in VOLY (zie paragraaf 5.3.3 uit het CE Delft rapport voor een onderbouwing van deze keuze). Verdere verschillen tussen CE Delft en EIONET liggen in het prijspeil (2015 vs. 2017) en VOLY waardering (CE Delft 70k euro, EIONET 101k euro). In het voorliggende onderzoek is gekozen voor aansluiting bij de milieuprijzen zoals door CE Delft gedefinieerd, om een optimale aansluiting bij de Nederlandse praktijk te waarborgen.

Daarbij zij opgemerkt dat de twee methodieken milieuprijzen geven die relatief dichtbij elkaar liggen. De onderzoeksresultaten zouden niet fundamenteel anders zijn als de cijfers van EIONET als uitgangspunt zouden dienen.

### 3.2 Berekeningsmethodiek

Op basis van de behaalde emissiereductie in kg kan de milieuwinst in EUR worden bepaald. Op vergelijkbare manier kan van de omvang van emissies van CO<sub>2</sub> (direct of indirect), NO<sub>x</sub> of NH<sub>3</sub> als milieuverlies worden gedomd. De netto som van milieuwinst en milieuverlies bepaalt in deze methode of de milieueffecten van de techniek ondergeschikt zijn ten opzichte van de gerealiseerde emissiereductie. Het toonaangevende aspect van deze som is niet de absolute netto milieuprijs, belangrijker is of de som een positief dan wel negatief resultaat geeft. Dit geeft een duiding van het al dan niet milieupositief uitpakken van de toepassing van een techniek.

#### Gevoeligheid parameters

In de volgende figuren is voor het milieueffect 'energieverbruik' de gevoeligheid van verschillende parameters inzichtelijk gemaakt ten opzichte van de ingangconcentratie van een reinigingstechniek.

Als uitgangspunten in het voorbeeld zijn gehanteerd:

- Een debiet van 50.000 m<sup>3</sup>/uur en een bedrijfstijd van 2.000 uur/jaar
- Een elektriciteitsverbruik van 1 kWh / 1.000 m<sup>3</sup> en gebruik van stroom conform de actuele stroommix op het landelijke net<sup>4</sup>
- Een ingangconcentratie tussen 0,1 - 100 mg/m<sup>3</sup>
- Een rendement van de techniek op de ingangconcentratie van 90 % en een milieuprijs van de af te vangen stof van 2,73 EUR/kg (bijvoorbeeld VOS)

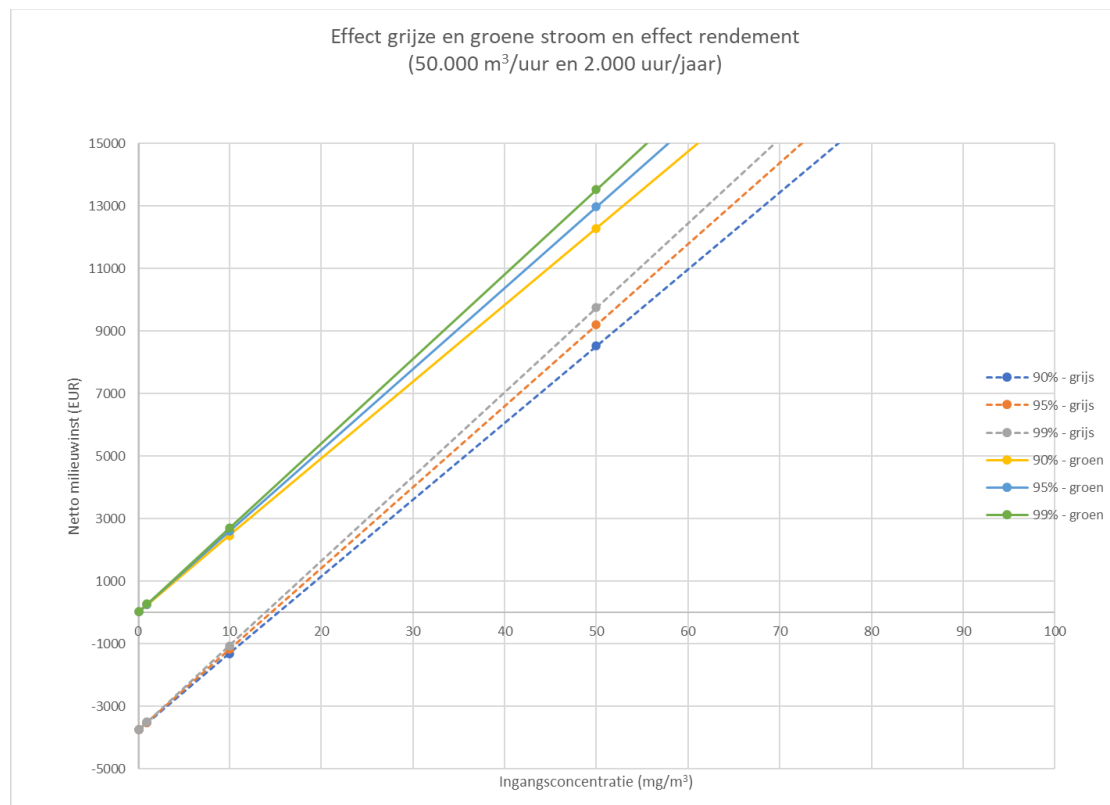
Er is in de eerste figuur gevarieerd in:

- Het rendement van de techniek op de ingangconcentratie van 90 - 99 %
- Gebruik van grijze en groene stroom

<sup>4</sup> CBS, zie <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/05/rendementen-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2020>

Uit de figuur is af te leiden:

- Gebruik van groene stroom heeft gunstig effect op de netto milieuwinst
- Rendement van de techniek heeft slechts weinig effect en wordt pas relevanter bij hoge concentraties
- Bij lage ingangconcentraties in combinatie met grijze stroom kan er een omslag plaatsvinden van milieuwinst in milieuverlies



Er is in de tweede figuur gevarieerd in:

- Het debiet van 1.000 - 50.000 m<sup>3</sup>/uur
- Gebruik van grijze en groene stroom

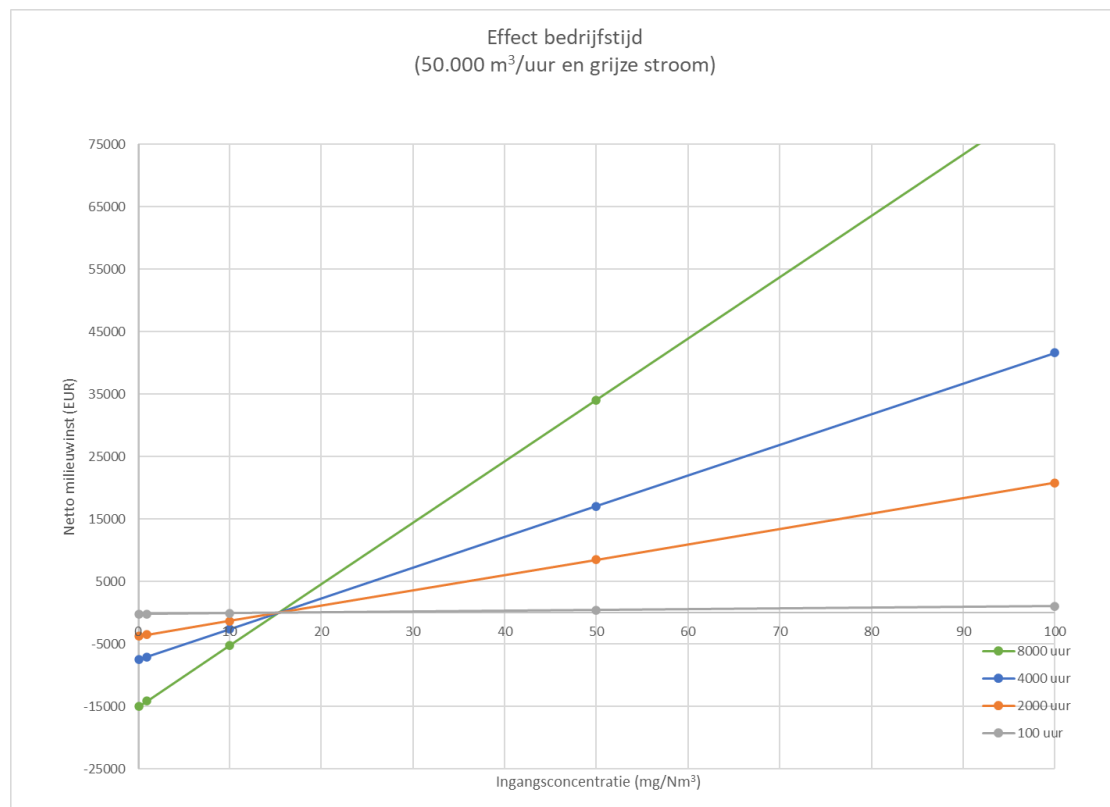
Uit de figuur is af te leiden:

- Het debiet heeft een grote invloed op de netto milieuwinst



Er is in de derde figuur gevarieerd in:

- De ingangconcentratie van 1 - 100 mg/m<sup>3</sup>
- Bedrijfsuren van 100 - 8.000 uur/jaar

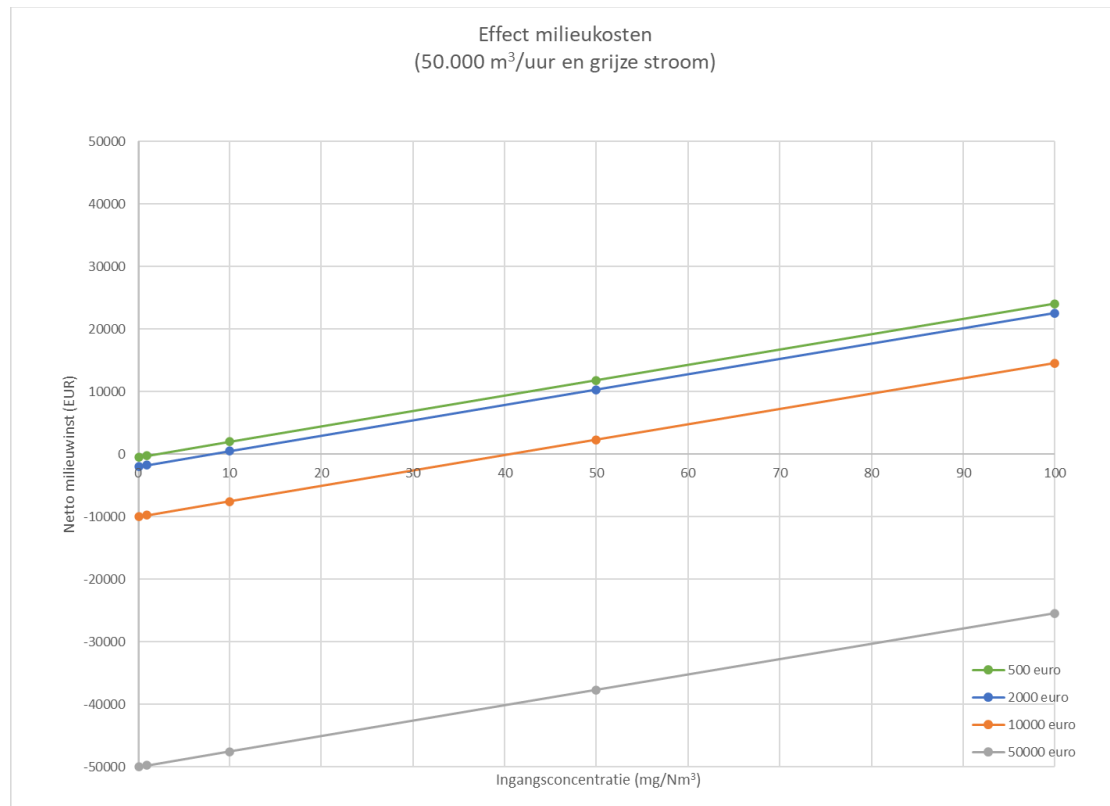


Uit de figuur is af te leiden:

- Bedrijfstijd heeft grote invloed op nettowinst, maar niet op het positief dan wel negatief zijn ervan
- Bij lage ingangconcentraties kan er een omslag plaatsvinden van milieuwinst in milieuverlies

Er is in de vierde figuur gevarieerd in:

- De ingangconcentratie van 1 - 100 mg/m<sup>3</sup>.
- De milieukosten per jaar van 500 - 50.000 euro/jaar. Dit betreft de totale milieukosten van een situatie, dus de milieukosten van de verschillende geëmitteerde stoffen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub>) bij elkaar opgeteld



Uit de figuur is af te leiden:

- De milieukosten hebben grote invloed op het al dan niet positief uitvallen van het milieurendement

## 4 Praktijkvoorbeelden

Hierna worden vier praktijkvoorbeelden uitgewerkt om het principe duidelijk te maken, gesorteerd op af te vangen stof. Naast het uitwerken van de methodiek wordt ook gekeken naar de gevoeligheid van de rekenmethode voor diverse parameters.

1. NO<sub>x</sub> emissiereductie. Hiertoe wordt een SCR ingezet. Minder uitstoot van NO<sub>x</sub>, maar meer (directe) uitstoot van ammoniak en indirecte uitstoot van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> bij elektriciteitsopwekking
2. VOS emissiereductie door middel van een thermische naverbrander: minder uitstoot van VOS, maar meer CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>
3. VOS emissiereductie door middel van een actief koolfilter: minder uitstoot van VOS, maar meer CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>
4. Stof emissiereductie door middel van een doekenfilter. Minder stofuitstoot, maar meer CO<sub>2</sub> uitstoot en NO<sub>x</sub>

### 4.1 NO<sub>x</sub> (SCR)

Voor de casus worden diverse aannames gemaakt over de typische toepassing van een SCR. Al deze factoren kunnen uiteraard variëren in de concrete situatie. Daarom worden ook diverse scenario's behandeld, zodat een beeld ontstaat van de gevoeligheid van alle variabelen. Bijlage 1 geeft al deze scenario's en getallen weer. Als basisuitgangspunten zijn gekozen:

- Een rookgasdebiet van 20.000 Nm<sup>3</sup>/uur, typisch voor een middelgrote stookinstallatie en in de factsheets (ref. 5) aangeduid als het 50-percentiel
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Een elektriciteitsverbruik van 0,1 kWh / 1.000 Nm<sup>3</sup> rookgasdebiet (expert judgement)
- Ammoniakslip van 1,4 mg/Nm<sup>3</sup> rookgas. Dit is het 50-percentiel uit de Factsheets [ref. 5]
- Een typisch emissieconcentratie zonder SCR ligt omstreeks 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Uitgaande van een rendement van 80 % ligt de restemissie op 20 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit komt overeen met de getallen zoals gegeven in de Factsheets emissiebeperkende technieken<sup>5</sup>

Gebaseerd op deze uitgangspunten kunnen de volgende effecten worden berekend:

- Een totaal elektriciteitsverbruik van  $20.000 \times 7.008 \times 0,1 / 1.000 = 14.016$  kWh per jaar. Bij een CO<sub>2</sub> emissie van 0,29 kg per kWh<sup>6</sup> en een NO<sub>x</sub> emissie van 0,0826 gram per kWh<sup>7</sup> levert dat een milieukostenpost van EUR 563,00 per jaar
- Een jaarlijkse ammoniakslip van  $20.000 \times 7.008 \times 1,4 / 1.000.000 = 196,2$  kg ammoniak. In de CE Delft methodiek levert dit een milieukostenpost van  $196,2 \times 49,3 = \text{EUR } 9.674$  per jaar

<sup>5</sup> R001-1277907BRA-V03-aa0-NL, 29 april 2022

<sup>6</sup> CBS, zie <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/05/rendementen-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2020>. Het betreft de CO<sub>2</sub> emissie uit de 'integrale methode' voor zichtjaar 2020

<sup>7</sup> Dit volgt uit data uit Emissieregistratie inzake NO<sub>2</sub> uitstoot, gedeeld door de totale centrale/decentrale productie elektriciteit in 2020. Zie <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37823wkk/table?dl=77D3D> en Emissieregistratie, Compartiment Lucht, stikstofoxiden als NO<sub>2</sub>, zichtjaar 2020, sector 'energiesector', subsector 'opwekking elektriciteit'. Dat geeft een NO<sub>2</sub> emissie van 10.200.319.885 gram, gedeeld door 123.553.482 MWh. Daaruit volgt een emissie van 0,0826 gram per kWh, gemiddeld over heel Nederland



**Kenmerk** R001-1287766BWH-V04-Ios-NL

- De vermeden NO<sub>x</sub> uitstoot bedraagt  $(100 \text{ mg/Nm}^3 - 20 \text{ mg/Nm}^3) \times 20.000 \times 7.008 / 1.000.000 = 11.123 \text{ kg}$ . Bij een prijs van EUR 29,9 euro per kg is dat een milieuwinst van EUR 335.263 per jaar

Netto levert de toepassing van een SCR in deze typische situatie een milieuwinst van EUR 335.263 - EUR 9.674 - EUR 563 = EUR 325.026,00 per jaar.

Variant: ingangsdebiet

Bij de variatie van het ingangsdebiet zullen alle kosten en baten meebewegen. Tabel 4.1 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 1.

Tabel 4.1 SCR, variëren met ingangsdebiet

Debiet [Nm <sup>3</sup> /uur]	Milieukosten elektriciteit [euro/jaar]	Milieukosten NH <sub>3</sub> [euro/jaar]	Milieubaten NO <sub>x</sub> [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
100.000	2.815	48.369	1.676.314	<b>1.625.129</b>
50.000	1.408	24.185	838.157	<b>812.565</b>
20.000 (basis)	563	9.674	335.263	<b>325.026</b>
1.000	28	484	16.763	<b>16.251</b>
100	3	48	1.676	<b>1.625</b>

Variant: ingangconcentratie

Bij de variatie van de ingangconcentratie zullen de baten meebewegen. Tabel 4.2 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 1.

Tabel 4.2 SCR, variëren met ingangconcentratie

Ingangconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektriciteit [euro/jaar]	Milieukosten NH <sub>3</sub> [euro/jaar]	Milieubaten NO <sub>x</sub> [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
500	563	9.674	1.676.314	<b>1.666.077</b>
200	563	9.674	670.525	<b>660.289</b>
100 (basis)	563	9.674	335.263	<b>325.026</b>
50	563	9.674	167.631	<b>157.394</b>
25	563	9.674	83.816	<b>73.579</b>

Variant: ammoniakslip

Bij de variatie van de ammoniakslip zullen de kosten meebewegen. Tabel 4.3 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 1.

Tabel 4.3 SCR, variëren met ammoniakslip

Ammoniak-slip [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektriciteit [euro/jaar]	Milieukosten NH <sub>3</sub> [euro/jaar]	Milieubaten NO <sub>x</sub> [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
10	563	69.099	335.263	<b>265.601</b>
5	563	34.549	335.263	<b>300.150</b>
3 (basis)	563	9.674	335.263	<b>325.026</b>
0,5	563	3.455	335.263	<b>331.245</b>
0,1	563	691	335.263	<b>334.009</b>

#### Variante: opwarmen rookgassen noodzakelijk

Soms zal het noodzakelijk zijn om bij toepassing van een SCR de rookgassen eerst te verhitten. Een SCR is namelijk pas optimaal werkzaam bij een rookgastemperatuur tussen 200°C en 500°C.<sup>8</sup> Als SCR toegepast wordt bij relatief 'koude' rookgassen dan zal er dus ook een milieueffect volgen vanwege het verhitten van de rookgassen. Bij deze variatie zullen de milieukosten meebewegen. Hierbij is rekening gehouden met het verstoken van aardgas om de vereiste warmte op te wekken, wat leidt tot uitstoot van CO<sub>2</sub>. Er is, om een worst-case voorbeeld te creëren, géén rekening gehouden met warmteterugwinning. In de praktijk is het te verwachten dat warmteterugwinning toegepast zal worden, wat de milieukosten sterk drukt (~80-90 %). Tabel 4.4 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 1.

Tabel 4.4 SCR, variëren met opwarming van de rookgassen

Ingangstemperatuur rookgas [celcius]	Milieukosten elektriciteit [euro/jaar]	Milieukosten opwarmen rookgas [euro/jaar]	Milieukosten NH <sub>3</sub> [euro/jaar]	Milieubaten NO <sub>x</sub> [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
350 (basis)	563	-	9.674	335.263	<b>325.026</b>
250	563	95.131	9.674	335.263	<b>229.895</b>
200	563	142.697	9.674	335.263	<b>182.329</b>
100	563	237.828	9.674	335.263	<b>87.198</b>
50	563	285.394	9.674	335.263	<b>39.632</b>

#### Worst-case variant

Uit de voorgaande varianten volgt dat een SCR een positief milieurendement geeft. Dat maakt het interessant om te onderzoeken of er reële omstandigheden zijn waarbij een SCR een negatief milieurendement geeft. Dat blijkt mogelijk te zijn. De uitgangspunten zijn daarbij:

- Een rookgasdebiet van 50.000 Nm<sup>3</sup>/uur, ofwel een bovengemiddeld grote installatie
- Een bedrijfsduur van 8.000 uur/jaar
- Een elektriciteitsverbruik van 0,1 kWh / 1.000 Nm<sup>3</sup> rookgasdebiet
- Een ingangconcentratie van 50 mg NO<sub>x</sub> / Nm<sup>3</sup> rookgas, als voorbeeld voor een situatie waarbij al een forse reductie is behaald door optimalisatie van het verbrandingsproces
- Een rendement op NO<sub>x</sub> reductie van 50 %, laag door de lage ingangconcentratie

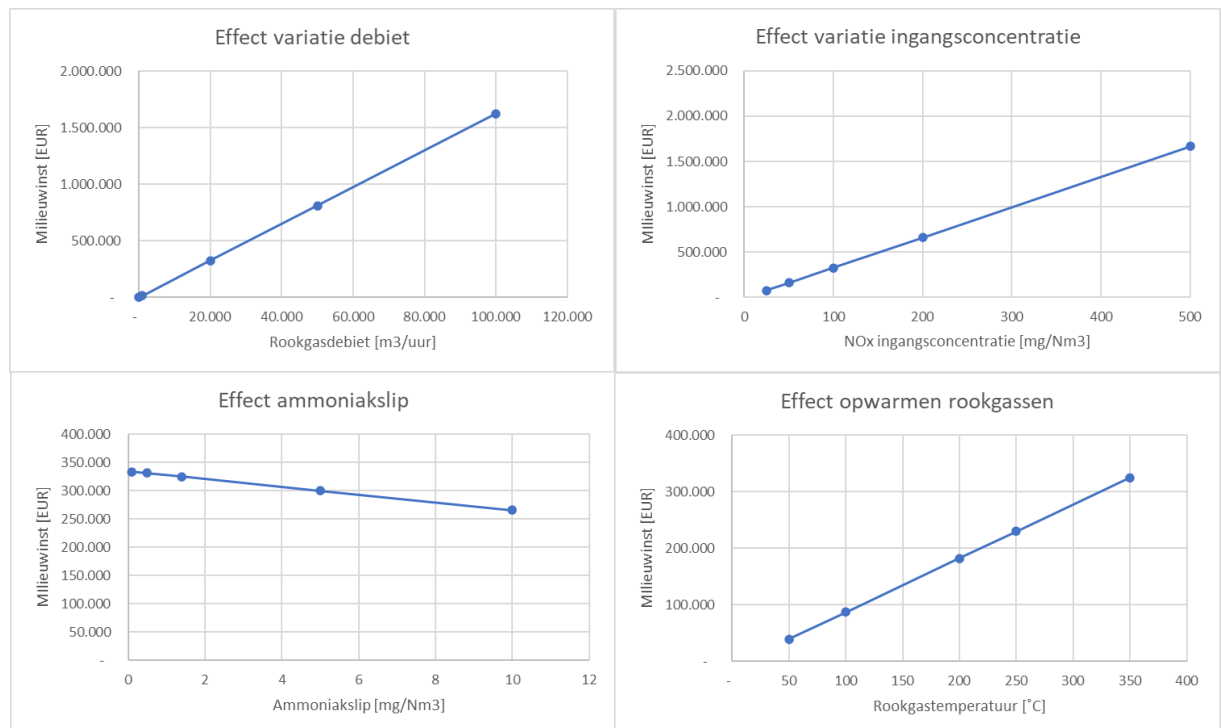
<sup>8</sup> BREF CWW (2016), pagina 483

- Ammoniak-slip van 5 mg/Nm<sup>3</sup> rookgas, relatief hoog doordat er veel ammoniak toegevoegd moet worden om het rendement op NO<sub>x</sub> reductie te behouden
- Een rookgastemperatuur van 50°C, die wordt opgewarmd door aardgasverbranding zonder warmteterugwinning

Met deze uitgangspunten (zie ook bijlage 1) komt het milieurendement uit op een netto milieuverlies van EUR 615.686 per jaar, waarbij de rookgasverwarming veruit de meest bepalende component is.

Toepassing van SCR technologie leidt praktisch gezien tot een vermindering van de NO<sub>x</sub> emissies, maar een verhoging van NH<sub>3</sub> emissies. Uit de voorgaande berekening blijkt dat dit in vrijwel alle gevallen leidt tot een netto milieupositieve uitkomst: er is sprake van een netto 'winst', wanneer de milieugevolgen uitgedrukt worden in milieuprijzen. Opgemerkt zij dat toepassing van SCR in de uitvoeringspraktijk niet per se vergunbaar is, bekeken vanuit de verplichtingen uit de Wet natuurbescherming. Dat komt doordat de (depositie)effecten van de stikstofemissies wel kunnen wijzigen: de vermindering in NO<sub>x</sub> depositie treedt ergens anders op dan waar de verhoging in NH<sub>3</sub> deposities optreedt. Deze lokale verhoging in NH<sub>3</sub> depositie kan problematisch zijn in het kader van vergunbaarheid volgens de Wet natuurbescherming.

De onderstaande figuren geven grafisch de effecten weer die in de tabellen 4.1 tot en met 4.4 worden gegeven. De achterliggende uitgangspunten zijn dan ook hetzelfde.



#### 4.2 VOS (regeneratieve thermische oxidatie)

Voor de casus van het gebruik van regeneratieve thermische oxidatie (RTO) zijn diverse aannames gemaakt over de typische toepassing. Al deze factoren kunnen uiteraard variëren in de concrete situatie. Daarom worden ook diverse scenario's behandeld, zodat een beeld ontstaat van de gevoeligheid van alle variabelen. Als basisuitgangspunten zijn gekozen:

- Een rookgasdebiet van 21.000 Nm<sup>3</sup>/uur, 50-percentiel voor een RTO
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Elektraverbruik van 1,5 kWh / 1.000 Nm<sup>3</sup> rookgasdebiet (onderkant range Factsheets [ref. 5])
- Een emissieconcentratie zonder RTO van 1.000 mg/Nm<sup>3</sup>. Uitgaande van een rendement van 98 % ligt de restemissie op 20 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit komt overeen met de onderkant van de prestatierange zoals gegeven in de Factsheets emissiebeperkende technieken<sup>5</sup>
- Een NO<sub>x</sub>-emissieconcentratie van 40 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit is afgeleid van de waarden uit de oplegnotitie voor de BREF afgasbehandeling (21 december 2022). Volgens de BBT-conclusies is de range van 5-130 mg/Nm<sup>3</sup>, waarbij 60 % van de regeneratieve thermische naverbranders een emissie van 40 mg/Nm<sup>3</sup> realiseert

Gebaseerd op deze uitgangspunten kunnen de volgende effecten worden berekend:

- Een totaal elektriciteitsverbruik van  $21.000 \times 7.008 \times 1,5 / 1.000 = 220.752$  kWh per jaar. Bij een CO<sub>2</sub> emissie van 290 gram per kWh [ref. 6] en een NO<sub>x</sub> emissie van 0,0826 gram per kWh [ref. 7] geeft dat een kostenpost van 8.868 euro per jaar, en EUR 0,040 per kWh
- Kosten voor het ontstaan van CO<sub>2</sub> uitstoot door verbranding van VOS en eventueel steunbrandstof. Uitgangspunt is nu 1.000 mg/Nm<sup>3</sup> pentaangas dat volledig verbrandt. Dat geeft 3,05 gram CO<sub>2</sub> per Nm<sup>3</sup>. Kostenpost voor CO<sub>2</sub> wordt daarmee  $21.000 \times 7.008 \times 3,05 / 1.000 = 448.842$  kg/jaar  $\times 0,130 =$  EUR 58.349
- Kosten voor NO<sub>x</sub> bedragen  $21.000 \times 7.008 \times 40 / 1.000.000 \times 29,9 =$  EUR 176.013
- De vermeden VOS uitstoot bedraagt  $(1.000 - 20) \times 21.000 \times 7.008 / 1.000.000 = 144.225$  kg. Bij een prijs van 2,73 euro per kg is dat een milieuwinst van EUR 393.733 per jaar

Netto levert de toepassing van een RTO in deze situatie een milieuwinst van EUR 393.733 - EUR 176.013 - EUR 58.349 - EUR 8.868 = EUR 150.503,00 per jaar. Toepassing van een RTO in deze situatie is milieupositief.

##### Variant: ingangsdebiet

Bij de variatie van het ingangsdebiet zullen alle kosten en baten meebewegen. Tabel 4.5 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 2.

Tabel 4.5 RTO, variëren met ingangsdebiet

Debiet [Nm <sup>3</sup> /uur]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieukosten emissies direct [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
50.000	21.113	558.006	937.460	<b>358.341</b>
21.000 (basis)	8.868	234.362	393.733	<b>150.503</b>
10.000	4.223	111.601	187.492	<b>71.668</b>
1.000	422	11.160	18.749	<b>7.167</b>
100	42	1.116	1.875	<b>717</b>

Variant: ingangconcentratie

Bij de variatie van de ingangconcentratie zullen de baten meebewegen. In de berekening is aangenomen dat een lagere ingangconcentratie zal leiden tot het verbranden van steunbrandstof: daardoor blijven de milieukosten voor CO<sub>2</sub> uitstoot en NO<sub>x</sub> hetzelfde<sup>9</sup>. Tabel 4.6 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 2.

Tabel 4.6 RTO, variëren met ingangconcentratie

Ingangconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieukosten emissies direct [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
2.000	8.868	234.362	787.467	<b>544.237</b>
1.000 (basis)	8.868	234.362	393.733	<b>150.503</b>
100	8.868	234.362	39.373	<b>-203.857</b>
10	8.868	234.362	3.937	<b>-239.293</b>
1	8.868	234.362	394	<b>-242.836</b>

Variant: NO<sub>x</sub> emissieconcentratie

Bij de variatie van de NO<sub>x</sub> emissies zullen de milieukosten van NO<sub>x</sub> emissies meebewegen. Tabel 4.7 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 2. Uit de berekening volgt dat de emissieconcentratie NO<sub>x</sub> zeer bepalend is voor het milieurendement van een RTO. Bij een lagere emissieconcentratie NO<sub>x</sub> zal ook de NO<sub>x</sub> emissievracht afnemen en daarmee ook de samenhangende milieukosten. Door de daling van milieukosten stijgt het milieurendement van de installatie als geheel.

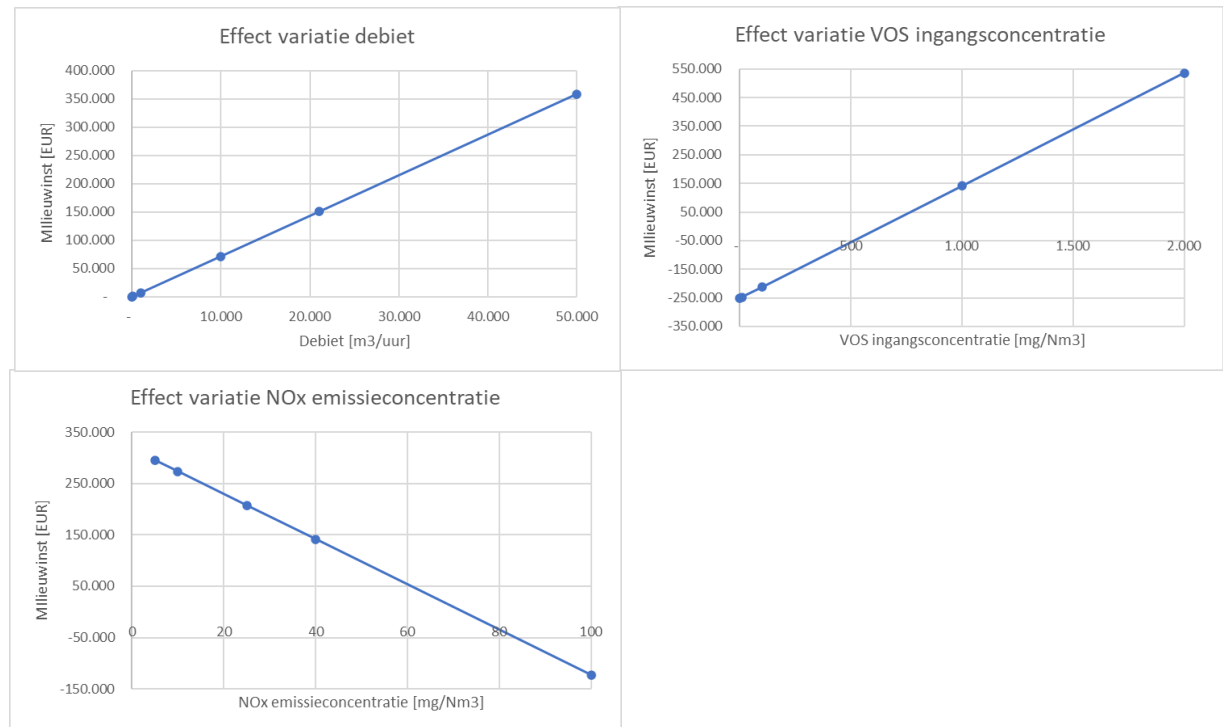
Tabel 4.7 RTO, variëren met NO<sub>x</sub> emissieconcentratie

NO <sub>x</sub> emissieconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieukosten emissies direct [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
100	8.868	498.382	393.733	<b>-113.516</b>
40 (basis)	8.868	234.362	393.733	<b>150.503</b>
25	8.868	168.358	393.733	<b>216.508</b>
10	8.868	102.353	393.733	<b>282.513</b>
5	8.868	80.351	393.733	<b>304.515</b>

Samenvattend kan gesteld worden dat een thermische naverbrander in veel situaties een netto positief milieueffect heeft. Daarbij is het wel van belang om de NO<sub>x</sub> emissies zoveel mogelijk te beperken, dat is de maatgevend factor bij het berekenen van de milieukosten.

De onderstaande figuren geven grafisch de effecten weer die in de tabellen 4.5 tot en met 4.7 worden gegeven. De achterliggende uitgangspunten zijn dan ook hetzelfde.

<sup>9</sup> De onderliggende aanname aangaande VOS verbranding en steunbrandstof is gebaseerd op een rekenvoorbeeld met pentaan als VOS, waarbij minimaal 1 gram pentaan per m<sup>3</sup> debiet nodig is voor de RTO om te blijven branden. Stoichiometrische verbranding van pentaan geeft 5 mol CO<sub>2</sub> per mol pentaan. 5 x 44,0095 = 220,0475 gram CO<sub>2</sub> per mol pentaan. 220,0475 / 72,15 = 3,05 gram CO<sub>2</sub> per gram verbrand pentaan



### 4.3 VOS (actief koolfilter)

Voor de casus van het gebruik van een actief koolfilter<sup>10</sup> worden aannames gemaakt over de typische toepassing. Al deze factoren kunnen variëren in de concrete situatie. Daarom worden ook diverse scenario's behandeld, zodat een beeld ontstaat van de gevoeligheid van de variabelen. Bijlage 3 geeft deze scenario's weer. Als basisuitgangspunten zijn gekozen:

- Een rookgasdebiet van 1.000 Nm<sup>3</sup>/uur, 50-percentiel voor een adsorptiefilter
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Een elektriciteitsverbruik van 1 kWh / 1.000 m<sup>3</sup> afgas. Dit is een schatting, op basis van de 1 kWh / 1.000 m<sup>3</sup> afgas die genoemd wordt in tabel 3.282 van de BREF CWW (2016). Die waarde past bij stoffilters, maar kan ook representatief zijn voor adsorptiefilters aangezien de drukval over het filter in dezelfde orde grootte valt
- Een emissieconcentratie zonder filter van 500 mg/Nm<sup>3</sup>. Uitgaande van een rendement van 90 % ligt de restemissie op 50 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit komt overeen met de onderkant van de prestatierange zoals gegeven in de Factsheets emissiebeperkende technieken<sup>5</sup>

Gebaseerd op deze uitgangspunten kunnen de volgende effecten worden berekend:

- Een totaal elektriciteitsverbruik van 7.008 kWh per jaar. Bij een CO<sub>2</sub> emissie van 290 gram per kWh en een NO<sub>x</sub> emissie van 0,0826 gram per kWh levert dat een kostenpost van 282 euro per jaar
- De vermeden VOS uitstoot bedraagt  $(500 - 50) \times 1.000 \times 7.008 / 1.000.000 = 3.154$  kg. Bij een prijs van EUR 2,73 per kg is dat een milieuwinst van EUR 8.609 per jaar

<sup>10</sup> Een actief koolfilter is een uitvoering van de bredere groep adsorptiefilters, en is onder die benaming te vinden in de Factsheets (referentie 5)

Netto levert de toepassing van een filter in deze typische situatie een milieuwinst van EUR 8.609 - EUR 282 = EUR 8.328,00 euro per jaar.

Variant: ingangconcentratie

Bij de variatie van de ingangconcentratie zullen de baten meebewegen, de kosten ook doordat er minder actief kool geregenereerd wordt. Tabel 4.8 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 3.

Tabel 4.8 Actief koolfilter, variëren met de ingangconcentratie

Ingangconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
500 (basis)	282	8.609	<b>8.328</b>
100	282	1.722	<b>1.440</b>
50	282	861	<b>579</b>
25	282	430	<b>149</b>
5	282	86	<b>-195</b>

Variant: debiet

Tabel 4.9 geeft de resultaten weer bij variatie van het ingangsdebiet, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 3.

Tabel 4.9 Actief koolfilter, variëren met het ingangsdebiet

ingangsdebiet [Nm <sup>3</sup> /uur]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
25.000	7.038	215.233	<b>208.195</b>
10.000	2.815	86.093	<b>83.278</b>
1.000 (basis)	282	8.609	<b>8.328</b>
100	28	861	<b>833</b>
10	3	86	<b>83</b>

Variant: elektriciteitsverbruik

Tabel 4.10 geeft de resultaten weer bij variatie van het energieverbruik, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 3.

Tabel 4.10 Actief koolfilter, variëren met het energieverbruik

Elektriciteitsverbruik [kWh/1.000 Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten VOS [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
4	1.126	8.609	<b>7.483</b>
2	563	8.609	<b>8.046</b>
1 (basis)	282	8.609	<b>8.328</b>
0,5	141	8.609	<b>8.469</b>
0,2	56	8.609	<b>8.553</b>

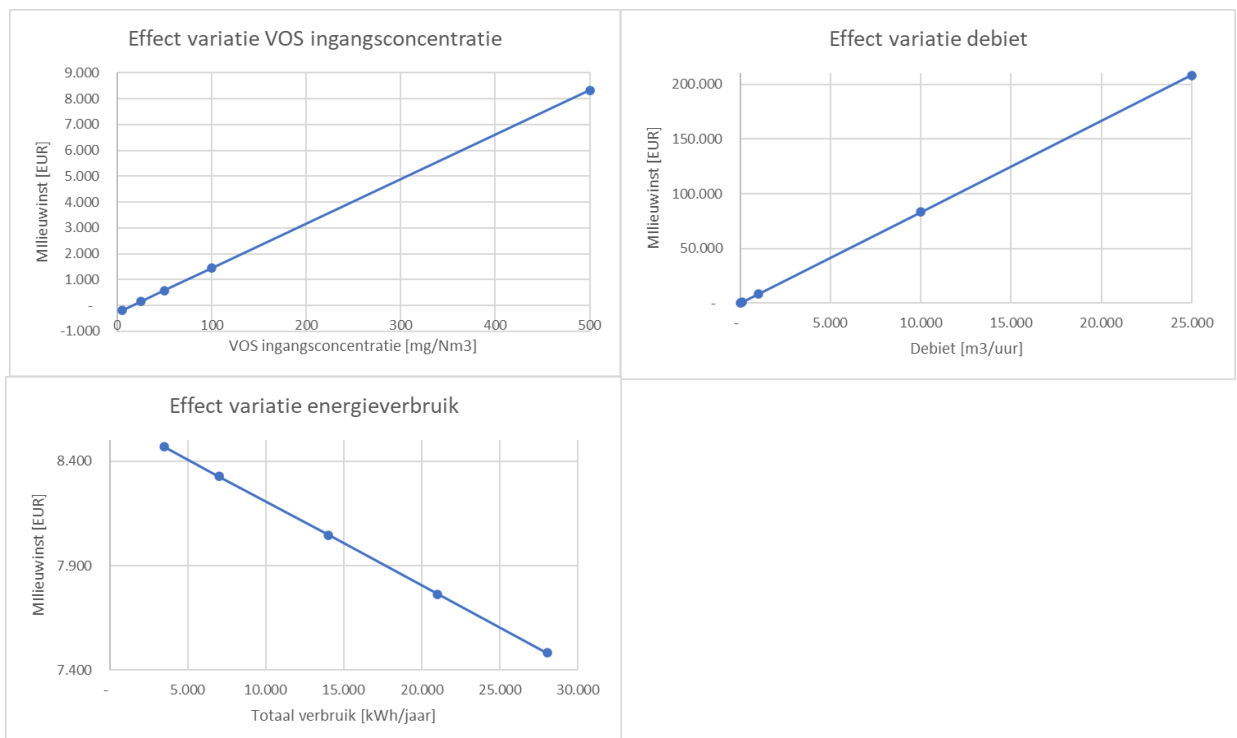
Worst-case variant

Uit de voorgaande varianten volgt dat een actief koolfilter doorgaans een positief milieurendement geeft. Dat maakt het interessant om te onderzoeken of er reële omstandigheden zijn waarbij een koolfilter een negatief milieurendement geeft. De uitgangspunten zijn daarbij:

- Een rookgasdebiet van 1.000 Nm<sup>3</sup>/uur, 50-percentiel voor een adsorptiefilter
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Een elektriciteitsverbruik van 4 kWh / 1.000 m<sup>3</sup> afgas
- Een emissieconcentratie zonder filter van 50 mg/Nm<sup>3</sup>, ofwel een emissiepunt dat reeds voldoet aan de emissiegrenswaarde voor stofklasse gO.2 uit artikel 5.30 Bal

Met deze uitgangspunten (zie ook bijlage 3) komt het milieurendement uit op een netto verlies van EUR 265 per jaar. Bepalend daarvoor is de relatief lage ingangconcentratie. Daarbij wordt opgemerkt dat dit enkel speelt bij het gebruik van grijze stroom: als groene stroom wordt gebruikt is er überhaupt geen sprake van milieukosten voor de elektra, en zal het milieurendement dus altijd positief zijn.

De onderstaande figuren geven grafisch de effecten weer die in de tabellen 4.8 tot en met 4.10 worden gegeven. De achterliggende uitgangspunten zijn dan ook hetzelfde.





#### 4.4 Stof (doekenfilter)

Voor de casus van het gebruik van een doekenfilter worden aannames gemaakt over de typische toepassing. Al deze factoren kunnen variëren in de concrete situatie. Daarom worden ook diverse scenario's behandeld, zodat een beeld ontstaat van de gevoeligheid van de variabelen. Bijlage 4 geeft deze scenario's weer. Als basisuitgangspunten zijn gekozen:

- Een rookgasdebiet van 2.000 Nm<sup>3</sup>/uur, 50-percentiel voor een doekenfilter
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Een elektriciteitsverbruik van 1 kWh per 1.000 m<sup>3</sup> afgas (halverwege de bandbreedte uit de Factsheets<sup>3</sup> die loopt van 0,2 - 2 kWh / 1.000 m<sup>3</sup>)
- Een emissieconcentratie zonder filter van 500 mg/Nm<sup>3</sup>. Uitgaande van een rendement van 99 % ligt de restemissie op 5 mg/Nm<sup>3</sup>, overeenkomend met de emissiegrenswaarde uit tabel 5.30 Bal

Gebaseerd op deze uitgangspunten kunnen de volgende effecten worden berekend:

- Een totaal elektriciteitsverbruik van 14.016 kWh per jaar. Bij een CO<sub>2</sub> emissie van 290 gram per kWh en een NO<sub>x</sub> emissie van 0,0826 gram per kWh levert dat een kostenpost van EUR 563,00 per jaar
- De vermeden stof uitstoot bedraagt  $(500 - 5) \times 2.000 \times 7.008 / 1.000.000 = 6.938$  kg. Bij een prijs van 69,3 euro per kg (gerekend als PM10) is dat een milieuwinst van EUR 480.798,00 per jaar

Netto levert de toepassing van een filter in deze typische situatie een milieuwinst van EUR 480.798 - EUR 563 = EUR 480.235,00 per jaar.

##### Variant: ingangconcentratie

Bij de variatie van de ingangconcentratie zullen de baten meebewegen. Tabel 4.11 geeft de resultaten weer, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 4.

Tabel 4.11 Doekenfilter, variëren met de ingangconcentratie

Ingangconcentratie [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten stof [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
5.000	563	4.807.979	<b>4.807.416</b>
1.000	563	961.596	<b>961.033</b>
500 (basis)	563	480.798	<b>480.235</b>
100	563	96.160	<b>95.597</b>
10	563	9.616	<b>9.053</b>

##### Variant: debiet

Tabel 4.12 geeft de resultaten weer bij variatie van het ingangsdebiet, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 4.

*Tabel 4.12 Doekenfilter, variëren met het ingangsdebiet.*

ingangsdebiet [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten stof [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
500.000	140.755	120.199.464	<b>120.058.709</b>
100.000	28.151	24.039.893	<b>24.011.742</b>
20.000	5.630	4.807.979	<b>4.802.348</b>
2.000 (basis)	563	480.798	<b>480.235</b>
500	141	120.199	<b>120.059</b>

Variant: elektriciteitsverbruik

Tabel 4.13 geeft de resultaten weer bij variatie van het energieverbruik, de achterliggende berekening is bijgevoegd in bijlage 4.

*Tabel 4.13 Doekenfilter, variëren met het energieverbruik.*

Electriciteitsverbruik [kWh/1.000 Nm <sup>3</sup> ]	Milieukosten elektra [euro/jaar]	Milieubaten stof [euro/jaar]	Netto milieuwinst [euro/jaar]
10	5.630	480.798	<b>475.168</b>
5	2.815	480.798	<b>477.983</b>
1 (basis)	563	480.798	<b>480.235</b>
0,5	282	480.798	<b>480.516</b>
0,1	56	480.798	<b>480.742</b>

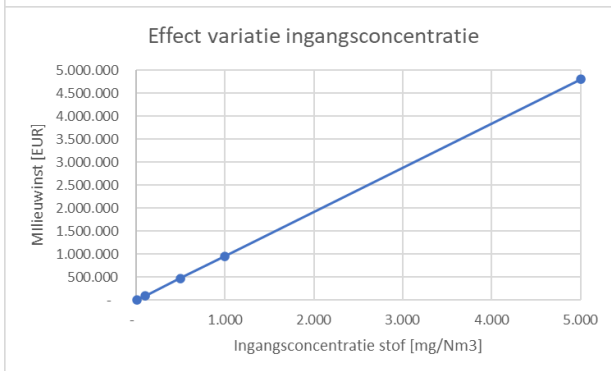
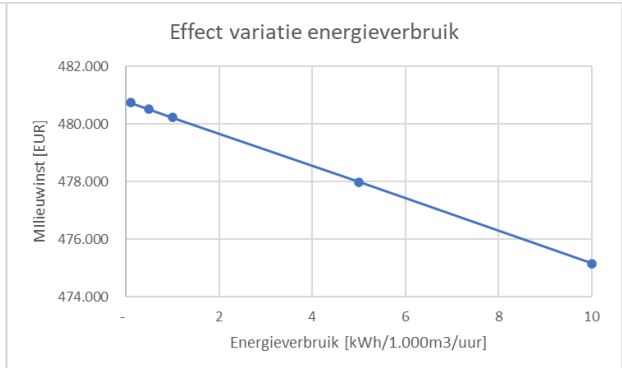
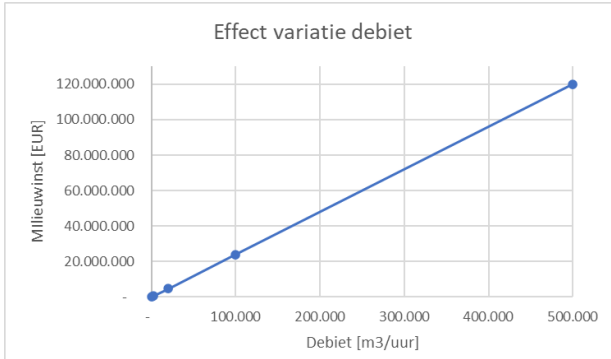
Worst-case variant

Uit de voorgaande varianten volgt dat een doekenfilter doorgaans een positief milieurendement geeft. Dat maakt het interessant om te onderzoeken of er reële omstandigheden zijn waarbij een doekenfilter een negatief milieurendement geeft. De uitgangspunten zijn daarbij:

- Een rookgasdebiet van 20.000 Nm<sup>3</sup>/uur
- Een bedrijfsduur van 7.008 uur/jaar, ofwel 80 % inzetbaarheid
- Een elektriciteitsverbruik van 2 kWh per 1.000 m<sup>3</sup> afgas (bovenkant bandbreedte uit de Factsheets<sup>5</sup> die loopt van 0,2 - 2 kWh / 1.000 m<sup>3</sup>)
- Een emissieconcentratie zonder filter van 1 mg/Nm<sup>3</sup>, rendement 99 % dus een restemissie van 0,01 mg/Nm<sup>3</sup>

Met deze uitgangspunten (zie ook bijlage 4) komt het milieurendement uit op een netto milieuverlies van EUR 1.644 per jaar: er wordt voor EUR 11.260 milieukosten gemaakt vanwege het gebruik van grijze stroom, tegenover EUR 9.616 milieubaten door het afvangen van PM10. Ook hier wordt opgemerkt dat het milieurendement altijd positief zal zijn in situaties waar groene stroom wordt gebruikt, omdat er dan geen milieukosten zijn vanuit CO<sub>2</sub> en/of NO<sub>x</sub> emissies.

De onderstaande figuren geven grafisch de effecten weer die in de tabellen 4.11 tot en met 4.13 worden gegeven. De achterliggende uitgangspunten zijn dan ook hetzelfde.



## 5 Handvatten voor vergunningverlening

Het doel van het voorliggende hoofdstuk is het samenvatten van de informatie uit de voorgaande analyses tot concrete aanwijzingen voor de vergunningverlening. Centraal hierbij is het scheppen van duidelijkheid over de vraag wanneer een nageschakelde techniek leidt tot een - netto - positief milieurendement. Alle nageschakelde technieken hebben zowel positieve als negatieve effecten op het milieu. Enerzijds wordt de uitstoot van verontreinigende stoffen naar de atmosfeer voorkomen, maar anderzijds leidt toepassing van een techniek tot diverse andere milieueffecten.

In het tweede hoofdstuk van dit rapport is op kwalitatieve wijze inzage gegeven in de breedte van mogelijke milieueffecten, in latere hoofdstukken is de kwantitatieve uitwerking gemaakt voor de milieueffecten op de domeinen Klimaat en Natuur. De afbakening van de voorliggende handreiking ligt daarmee op:

- Direct: emissies van ammoniak en stikstofoxiden naar de atmosfeer (natuur, stikstofdepositie). Emissies van ammoniak zijn te verwachten bij toepassing van S(N)CR-technologie, emissies van stikstofoxiden worden verwacht bij thermische naverbranding
- Direct: emissies van kooldioxide (CO<sub>2</sub>) naar de atmosfeer (klimaat). Deze emissies zijn met name te verwachten bij toepassing van thermische naverbranding
- Indirect: energieverbruik (in kWh) en de daaraan verbonden indirecte emissies van stikstofoxiden en kooldioxide bij energieopwekking (natuur en klimaat). Enige mate van energieverbruik is bij alle nageschakelde technieken van toepassing

Uit deze afbakening op effect volgt dat drie situaties nader beschouwd zullen worden:

1. Toepassing van S(N)CR → energieverbruik en ammoniakemissies
2. Thermische naverbranding; → energieverbruik en NO<sub>x</sub> emissies
3. Alle overige technieken. → energieverbruik<sup>11</sup>

### 5.1 Toepassing van S(N)CR

Toepassing van een SCR blijkt in de meeste situaties een netto positief effect op het milieu te geven. Het blijkt dat een hoger ingangsdebiet dan wel hogere ingangconcentratie ook tot een hogere netto milieuwinst leidt: de extra milieukosten van elektra en ammoniakslip die dan ontstaan, wegen in geen van de onderzochte scenario's op tegen de extra milieuwinst van een lagere NO<sub>x</sub> uitstoot. Zelfs in situaties met een zeer veel hogere ammoniakslip (zie tabel 4.3) blijft toepassing van een SCR een netto winst voor het milieu opleveren. De CO<sub>2</sub> uitstoot die gepaard gaat met het voorverwarmen van rookgassen blijkt ook maar weinig relevant, hoewel dit kan leiden tot extra milieukosten wordt het milieurendement er niet snel negatief van.

---

<sup>11</sup> In de hoofdstukken 4 en 5 wordt worst-case uitgegaan van de milieueffecten van de huidige stroommix op het Nederlandse stroomnet. Als een gebruiker groene stroom toepast kan de casus milieupositiever uitvallen. Sterker nog, als de stroomvoorziening volledig groen is, en elektriciteitsverbruik is het enige negatieve milieu-effect, dan wordt de milieunegatieve impact van de nageschakelde techniek nul

Pas in extreme situaties leidt een combinatie van ongunstige factoren tot een negatieve kosten/baten analyse: als de ingangconcentratie van NO<sub>x</sub> relatief laag is, het debiet hoog én er een sterke behoefte is aan opwarming van de rookgassen, dan is het mogelijk dat de kosten/baten analyse negatief uitvalt. Dat is echter niet reëel: bij het opwarmen van de rookgassen moet verwacht worden dat een (groot) deel van die warmte teruggewonnen wordt; percentages van 90 % warmteterugwinning zijn daarbij gebruikelijk. Bovendien is toepassing van SCR bij zeer lage ingangconcentraties voor NO<sub>x</sub> ongebruikelijk. Zo beschouwd, is plaatsing van een S(N)CR vrijwel altijd milieupositief.

Opgemerkt wordt dat deze beschouwing ziet op het geheel van milieueffecten door emissies naar lucht, zoals gekwantificeerd met milieuprijzen. Het is voorstelbaar dat er, ook bij een netto positief milieueffect, op specifieke milieuthema's wel degelijk negatieve milieueffecten optreden. Voorbeelden zijn lokale toenames in stikstofdepositie (door ammoniakslip) of klimaateffecten (door opwarmen rookgassen). Het is dus mogelijk dat een casus milieupositief uitpakt volgens de milieuprijs-methodiek, maar dat in bijvoorbeeld vergunningverlening de lokale NH<sub>3</sub> depositie zo maatgevend is dat dit tot knelpunten in de uitvoering kan leiden. De analyse of een S(N)CR in een specifieke situatie een passende oplossing is, blijft daarom altijd maatwerk.

## 5.2 Toepassing van thermische oxidatie

Uit de analyses in paragraaf 4.2 blijkt dat de belangrijkste factoren voor het milieurendement van een thermische naverbrander bestaan uit enerzijds de hoeveelheid emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> (in kilogrammen op jaarbasis) en anderzijds de hoeveelheid vermeden uitstoot van een component en de milieuprijs daarvan. Daarbovenop speelt de milieuprijs van elektriciteit (vanwege indirecte emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>) een rol. Als deze factoren voldoende beheerst worden, dan heeft een thermische naverbrander doorgaans een positief milieurendement.

Het milieurendement van een thermische naverbrander kan kwetsbaar zijn voor deze twee factoren. Als de NO<sub>x</sub> emissie niet afdoende wordt beheerst dan kan het milieurendement snel omslaan naar negatief. Dit geldt ook voor de ingaande stof: als de ingangconcentratie laag is bij een component met een lage milieuprijs, dan kunnen de milieubaten te laag worden om op te wegen tegen de milieukosten. Het is dus niet vanzelfsprekend dat toepassing van een thermische naverbrander een positief milieurendement kent, dit is afhankelijk van de specifieke toepassing en implementatie. Uit dit samenspel is de volgende formule te destilleren om het milieurendement van een thermische naverbrander te bepalen:

$$\text{Rendement} = A * B - (C * 0,040 + D * 29,9)$$

Waarbij:

A = jaarlijkse vermeden emissie van een te vermijden stof, in kilogrammen

B = milieuprijs van stof C, EUR 2,73 per kilogram voor NMVOS

C = jaarlijks elektriciteitsverbruik, in kWh. Is nul bij groene stroom

D = jaarlijkse emissie van stikstofoxiden, in kilogrammen

Als er meer dan 1 af te vangen stof is, kunnen de variabelen A en B meermalen voorkomen en deze waarden moeten dan gesommeerd worden. De prijs van EUR 0,040 voor elektriciteit is gebaseerd op de cijfers in de eerste paragraaf van paragraaf 4.2 en geldt voor 'grijze' stroom, ofwel de stroommix op het Nederlandse net in 2020. De prijs van EUR 29,9 betreft de milieuprijs (centrale waarde) voor NO<sub>x</sub>.

### 5.3 Alle overige technieken

Toepassing van een nageschakelde techniek blijkt in de meeste typische situaties een positief milieurendement op te leveren. Enige variatie in factoren zoals het debiet, verwijderingsrendement, bedrijfsuren en het energieverbruik blijkt over het algemeen niet tot andere inzichten te leiden. Deze factoren hebben wel invloed op hoe groot het positieve rendement is, maar variatie hierin leidt niet tot negatief milieurendement.

Een negatief milieurendement is wel mogelijk, waarbij de maatgevende factor doorgaans de ingangconcentratie betreft. Als deze zeer laag is, kunnen de milieubaten zo laag worden dat ze niet meer opwegen tegen de milieukosten van het energieverbruik. Wat gezien moet worden als 'zeer laag' verschilt per techniek en af te vangen stof. Dit kan afgeleid worden met de formules en cijfers zoals gepresenteerd in de bijlagen. Voor NMVOS en actief koolfilters ligt dit in de ordegrootte van 10 mg/Nm<sup>3</sup>, voor fijnstof (als PM10) en doekfilters rond 1 mg/Nm<sup>3</sup> (uitgaande van 'grijze' stroom). Als een nageschakelde techniek ingezet wordt voor concentraties die lager liggen dan deze ingangswaarden, dan is de kans op een negatief milieurendement aanwezig. Inzet van een techniek is dan enkel zinvol vanuit milieuoogpunt als de som van alle af te vangen stoffen een (significant) hogere milieuprijs heeft dan de verzameltermen NMVOS en PM10, óf als gebruik wordt gemaakt van groene stroom.



**Kenmerk**

R001-1287766BWH-V04-Ios-NL

**Bijlage 1**

**Berekeningen milieukosten SCR**

Bijlage 1: berekeningen SCR

Roed = in te vullen variabele Zwart = rekenresultaat	m3/uur debiet	uur/jaar duur	Milieukosten elektra						Opwarmen rookgassen			Milieukosten NH3				Milieuwinst NOx					Netto EUR/jaar Winst in milleuk	
			kWh/1000 m3 elektriciteitsverbruik	kWh/jaar elektriciteitsverbruik	g CO2/kWh Emissiefactor	g NO2/kWh Emissiefactor	EUR/kg CO2 Milieuprijs	EUR/kg NOx Milieuprijs	EUR/jaar Milieuprijs	Temperatuur Celcius	m3/jaar m3 aardgas	euro/jaar Kosten opwar	mg NH3/m3 Emissiefactor	kg NH3/jaar Emissie	EUR/kg NH3 kostenkental	EUR/jaar kosten NH3	mg/m3 conc voor	% rendement	mg/m3 conc na	kg reductie		EUR/kg stof kostenkental
SCR	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	500	80	100	56.064	29,9	1.676.314	1.666.077
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	200	80	40	22.426	29,9	670.525	660.289
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	325.026
Ingangconcentratie variabel	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	50	80	10	5.606,4	29,9	167.631	157.394
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	25	80	5	2.803,20	29,9	83.816	73.579
SCR	100.000	7.008	0,1	70.080	290	0,0826	0,13	29,9	2.815			1,4	981,1	49,3	48.369	100	80	20	56.064	29,9	1.676.314	1.625.129
	50.000	7.008	0,1	35.040	290	0,0826	0,13	29,9	1.408			1,4	490,6	49,3	24.185	100	80	20	28.032	29,9	838.157	812.565
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	325.026
debit variabel	1.000	7.008	0,1	701	290	0,0826	0,13	29,9	28			1,4	9,8	49,3	484	100	80	20	560,6	29,9	16.763	16.251
	100	7.008	0,1	70	290	0,0826	0,13	29,9	3			1,4	1,0	49,3	48	100	80	20	56,06	29,9	1.676	1.625
SCR	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			10	1.401,6	49,3	69.099	100	80	20	11.213	29,9	335.263	265.601
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			5	700,8	49,3	34.549	100	80	20	11.213	29,9	335.263	300.150
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	325.026
NH3 uitstoot variabel	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			0,5	70,1	49,3	3.455	100	80	20	11.213	29,9	335.263	331.245
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563			0,1	14,0	49,3	691	100	80	20	11.213	29,9	335.263	334.009
SCR	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	350	-	1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	325.026
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	250	406.544	1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	229.895
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	200	609.816	1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	182.329
Opwarmen rookgassen	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	100	1.016.359	1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	87.198
	20.000	7.008	0,1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	50	1.219.631	1,4	196,2	49,3	9.674	100	80	20	11.213	29,9	335.263	39.632
SCR worst case casus	50.000	8.000	0,1	40.000	290	0,0826	0,13	29,9	1.607	50	3.480.682	1,4	2.000,0	49,3	98.600	50	50	25	10.000	29,9	299.000	-615.686



**Bijlage 2****Berekeningen milieukosten thermische  
naverbrander**

Bijlage 2: berekeningen thermische naverbranding

	m3/uur debiet	uur/jaar duur	Kosten elektriciteit						Kosten emissies direct						Baten VOS						Netto winst EUR/jaar		
			kWh/1000 m3 elektriciteitsverbruik	kWh/jaar elektriciteitsverbruik	g CO2/kWh Emissiefactor	g NO2/kWh Emissiefactor	EUR/kg CO2 kostenkental	EUR/kg NOx kostenkental	euro/jaar Kosten elektr	g CO2 / gram j Emissiefactor	mg NOx/m3 Emissiefactor	kg CO2/jaar Emissie direct	kg NOx/jaar Emissie direct	Kosten CO2 euro/jaar	Kosten NOx euro/jaar	Kosten direct EUR/jaar	mg/m3 conc voor	% rendement	mg/m3 conc na	kg reductie		EUR/kg stof kostenkental	EUR/jaar Winst
VOS	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	2.000	98	40	288.449	2,73	787.467	544.237
TNV	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	150.503
Ingangconcentratie variabel, t	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	100	98	2	14.422	2,73	39.373	-203.857
	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	10	98	0,2	1.442,2	2,73	3.937	-239.293
	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1	98	0,02	144,22	2,73	394	-242.836
VOS	50.000	7.008	1,5	525.600	290	0,0826	0,13	29,9	21.113	3,049861	40	1.068.671	14.016	138.927	419.078	558.006	1.000	98	20	343.392	2,73	937.460	358.341
TNV	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	150.503
debiet variabel	10.000	7.008	1,5	105.120	290	0,0826	0,13	29,9	4.223	3,049861	40	213.734	2.803	27.785	83.816	111.601	1.000	98	20	68.678	2,73	187.492	71.668
	1.000	7.008	1,5	10.512	290	0,0826	0,13	29,9	422	3,049861	40	21.373	280	2.779	8.382	11.160	1.000	98	20	6.868	2,73	18.749	7.167
	100	7.008	1,5	1.051	290	0,0826	0,13	29,9	42	3,049861	40	2.137	28	278	838	1.116	1.000	98	20	686,8	2,73	1.875	717
	10	7.008	1,5	105	290	0,0826	0,13	29,9	4	3,049861	40	214	3	28	84	112	1.000	98	20	68,7	2,73	187	72
VOS	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	100	448.842	14.717	58.349	440.032	498.382	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	-113.516
TNV	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	150.503
NOx emissie variabel	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	25	448.842	3.679	58.349	110.008	168.358	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	216.508
	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	10	448.842	1.472	58.349	44.003	102.353	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	282.513
	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	5	448.842	736	58.349	22.002	80.351	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	304.515
VOS	21.000	7.008	2,25	331.128	290	0,0826	0,13	29,9	13.301	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	146.070
TNV	21.000	7.008	1,5	220.752	290	0,0826	0,13	29,9	8.868	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	150.503
Elektra variabel	21.000	7.008	1	147.168	290	0,0826	0,13	29,9	5.912	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	153.459
	21.000	7.008	0,1	14.717	290	0,0826	0,13	29,9	591	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	158.780
	21.000	7.008	0,01	1.472	290	0,0826	0,13	29,9	59	3,049861	40	448.842	5.887	58.349	176.013	234.362	1.000	98	20	144.225	2,73	393.733	159.312

**Bijlage 3****Berekeningen milieukosten actief  
koolfilter**

Bijlage 3: berekeningen actief koelfilter

	m3/uur debiet	uur/jaar duur	Milieukosten elektra							Milieuwinst VOS						Netto EUR/jaar Winst in milieuk
			kWh/1000 m3 elektriciteitsverbruik	kWh/jaar elektriciteitsverbruik	g CO2/kWh Emissiefactor	g NO2/kWh Emissiefactor	EUR/kg CO2 kostenkental	EUR/kg NOx kostenkental	euro/jaar Kosten elektra	mg/m3 conc voor	% rendement	mg/m3 conc na	kg reductie	EUR/kg st kostenker	EUR/jaar Winst	
Actief koelfilter	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.328
	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	100	90	10	631	2,73	1.722	1.440
Ingangconcentratie variabel	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	50	90	5	315	2,73	861	579
	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	25	90	2,5	157,7	2,73	430	149
	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	5	90	0,5	31,54	2,73	86	-195
Actief koelfilter	25.000	7.008	1	175.200	290	0,0826	0,13	29,9	7.038	500	90	50	78.840	2,73	215.233	208.195
	10.000	7.008	1	70.080	290	0,0826	0,13	29,9	2.815	500	90	50	31.536	2,73	86.093	83.278
debiet variabel	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.328
	100	7.008	1	701	290	0,0826	0,13	29,9	28	500	90	50	315,4	2,73	861	833
	10	7.008	1	70	290	0,0826	0,13	29,9	3	500	90	50	31,54	2,73	86	83
Actief koelfilter	1.000	7.008	4	28.032	290	0,0826	0,13	29,9	1.126	500	90	50	3.154	2,73	8.609	7.483
	1.000	7.008	2	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.046
elektra variabel	1.000	7.008	1	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.328
	1.000	7.008	0,5	3.504	290	0,0826	0,13	29,9	141	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.469
	1.000	7.008	0,2	1.402	290	0,0826	0,13	29,9	56	500	90	50	3.154	2,73	8.609	8.553
Worst case casus	1.000	7.008	4	28.032	290	0,0826	0,13	29,9	1.126	50	90	5	315	2,73	861	-265

**Bijlage 4****Berekeningen milieukosten  
doekenfilter**

Bijlage 4: berekeningen doekfilter

	m3/uur debiet	uur/jaar duur	Milieukosten elektra							Milieuwinst stof						Netto EUR/jaar Winst in milieuk
			kWh/1000 m3 elektriciteitsverbruik	kWh/jaar elektriciteitsverbruik	g CO2/kWh Emissiefactor	g NO2/kWh Emissiefactor	EUR/kg CO2 kostenkental	EUR/kg NOx kostenkental	euro/jaar Kosten elektra	mg/m3 conc voor	% rendement	mg/m3 conc na	kg reductie	EUR/kg stof kostenkental	EUR/jaar Winst	
Doekfilter	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	5.000	99	50	69.379	69,3	4.807.979	4.807.416
	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	1.000	99	10	13.876	69,3	961.596	961.033
	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	500	99	5	6.938	69,3	480.798	480.235
Ingangconcentratie variabel	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	100	99	1	1.387,6	69,3	96.160	95.597
	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	10	99	0,1	138,76	69,3	9.616	9.053
Doekfilter	500.000	7.008	1	3.504.000	290	0,0826	0,13	29,9	140.755	500	99	5	1.734.480	69,3	120.199.464	120.058.709
	100.000	7.008	1	700.800	290	0,0826	0,13	29,9	28.151	500	99	5	346.896	69,3	24.039.893	24.011.742
	20.000	7.008	1	140.160	290	0,0826	0,13	29,9	5.630	500	99	5	69.379	69,3	4.807.979	4.802.348
debiet variabel	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	500	99	5	6.937,9	69,3	480.798	480.235
	500	7.008	1	3.504	290	0,0826	0,13	29,9	141	500	99	5	1.734,48	69,3	120.199	120.059
Doekfilter	2.000	7.008	10	140.160	290	0,0826	0,13	29,9	5.630	500	99	5	6.938	69,3	480.798	475.168
	2.000	7.008	5	70.080	290	0,0826	0,13	29,9	2.815	500	99	5	6.938	69,3	480.798	477.983
	2.000	7.008	1	14.016	290	0,0826	0,13	29,9	563	500	99	5	6.938	69,3	480.798	480.235
elektra variabel	2.000	7.008	0,5	7.008	290	0,0826	0,13	29,9	282	500	99	5	6.938	69,3	480.798	480.516
	2.000	7.008	0,1	1.402	290	0,0826	0,13	29,9	56	500	99	5	6.938	69,3	480.798	480.742
worstcase	20.000	7.008	2	280.320	290	0,0826	0,13	29,9	11.260	1	99	0,01	139	69,3	9.616	-1.644