



## Investeren in energie- zuinige beluchting Dokhaven?

Integrale afweging kosten,  
milieuwinst en overige effecten



**CE Delft**

Committed to the Environment

# Investeren in energiezuinige beluchting Dokhaven?

Integrale afweging kosten, milieuwinst en overige effecten

Delft, CE Delft, augustus 2017

Dit rapport is geschreven door:

Geert Warringa  
Thomas Huigen  
Ingrid Odegard  
Diederik Jaspers

Publicatienummer: 17.2M35.114

Waterzuiveringsinstallatie / Energiebesparing / Technologie / Innovatie / Investering / Kosten / Baten / Milieu / Effecten / VT: Bellenbeluchting

Opdrachtgever: Waterschap Hollandse Delta

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Warringa (CE Delft).

© copyright, CE Delft, Delft

**CE Delft**  
**Committed to the Environment**

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van het project	6
1.3	Aanpak in vogelvlucht	6
1.4	Vergelijking met voortzetten bestaande systeem	7
1.5	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Maatschappelijke businesscase</b>	<b>9</b>
2.1	Inleiding	9
2.2	Overzicht kosten en effecten in oorspronkelijke eenheid	9
2.3	Resultaat maatschappelijke businesscase	11
2.4	Gevoeligheidsanalyse	13
2.5	Conclusie	14
<b>3</b>	<b>Kosteneffectiviteitsanalyse</b>	<b>15</b>
3.1	Inleiding	15
3.2	Methode	15
3.3	Resultaten	15
3.4	Conclusie	17
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>20</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Voorbeeldberekening effecten</b>	<b>21</b>
A.1	Financieel effecten	21
A.2	Milieueffecten	22
<b>Bijlage B</b>	<b>Maatschappelijke businesscase</b>	<b>24</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Berekening kosteneffectiviteit</b>	<b>25</b>



# Samenvatting

## Aanleiding

Binnen het Beheergebied van Waterschap Hollandse Delta (WSHD) ligt de ondergrondse rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Dokhaven. Uit onderzoek is gebleken dat het waterschap een energiebesparing van 3 mln kWh per jaar in de installatie kan realiseren door bellenbeluchting toe te passen. Tegenover de milieuwinst staat een relatief grote investering voor de installatie. Het Waterschap wil daarom graag een integrale afweging maken voor de investeringskeuze. Dit betekent dat naast bedrijfseconomische aspecten, ook maatschappelijke en milieuaspecten een rol kunnen spelen in de besluitvorming. In deze rapportage is deze afweging gemaakt.

## Aanpak

Voor de afweging hebben we twee methoden toegepast, een Maatschappelijke Businesscase-analyse en een Kosteneffectiviteitsanalyse (KEA). Een maatschappelijke businesscase is een afwegingsmethode, waarin alle effecten van een investeringsmaatregel systematisch in kaart worden gebracht. Het gaat hierbij om een breed perspectief. Dit betekent dat niet alleen de bedrijfseconomische effecten in beeld worden gebracht, maar ook de bredere maatschappelijke effecten zoals milieuwinst. Deze effecten worden zoveel mogelijk vergelijkbaar gemaakt door ze onder één noemer te brengen (euro's).

Naast de maatschappelijke businesscase is ook een kosteneffectiviteitsanalyse uitgevoerd van de bellenbeluchting. Met deze methode brengen we in kaart wat de kosten zijn per uitgespaarde eenheid elektriciteitsopwekking (kWh). Door deze kosten te vergelijken met andere klimaatmaatregelen die worden genomen in de maatschappij, kunnen de kosten van bellenbeluchting in perspectief worden geplaatst.

In beide methoden zijn de effecten van bellenbeluchting afgezet tegen voortzetting van het bestaande systeem (nulalternatief). Het gaat om groot onderhoud van de huidige puntbeluchters. Hiermee wordt inzichtelijk hoe de kosten en effecten zich verhouden ten opzichte van voortzetting van het huidige systeem.

## Resultaat Maatschappelijke Businesscase

Het resultaat van de maatschappelijke businesscase is weergegeven in Tabel 1. De kosten en baten zijn afgezet ten opzichte van de kosten en baten van groot onderhoud van de bestaande puntbeluchtingsinstallatie.



Tabel 1 Resultaat maatschappelijke businesscase (NCW, € mln)

	Resultaat (NCW, € mln)
<b>Kosten</b>	
Investeringskosten bellenbeluchting	3,7
Te vermijden investeringen groot onderhoud puntbeluchting	-0,5
Onderhoudskosten	0,7
<b>Totale financiële kosten</b>	<b>3,9</b>
<b>Baten</b>	
Lagere energiekosten	2,7
Financiële besparing restvervuiling	0,6
<b>Totale financiële baten</b>	<b>3,3</b>
<b>Financieel saldo (baten - kosten)</b>	<b>-0,6</b>
<b>Milieuwinst</b>	
CO <sub>2</sub> -reductie	1,2
NO <sub>x</sub> -reductie	0,9
SO <sub>2</sub> -reductie	0,3
VOC-reductie	0,05
Fijnstofreductie	0,05
<b>Totaal milieubaten</b>	<b>2,5</b>
<b>Maatschappelijk saldo (baten-kosten)</b>	<b>1,9</b>
<b>Overige baten</b>	
Imagowinst (MJA3, energieneutraliteit)	+
Vermindering energie-afhankelijkheid	+

Tabel 1 laat zien dat het maatschappelijke resultaat positief is (€ 1,9 mln). Met andere woorden: de maatschappelijke baten van de maatregel zijn groter dan de kosten. Alhoewel het financiële saldo negatief is (het is vanuit bedrijfs-economische perspectief rendabeler om te investeren in groot onderhoud van puntbeluchting), is de (in geld uitgedrukte) milieuwinst van plus € 2,5 mln groot genoeg om het negatieve financiële saldo te compenseren. In deze studie is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd die laat zien dat het resultaat vrij robuust is. Pas als de energiewinst 37% of lager is of als verschillende factoren negatief uitpakken, klapt het positieve resultaat om.

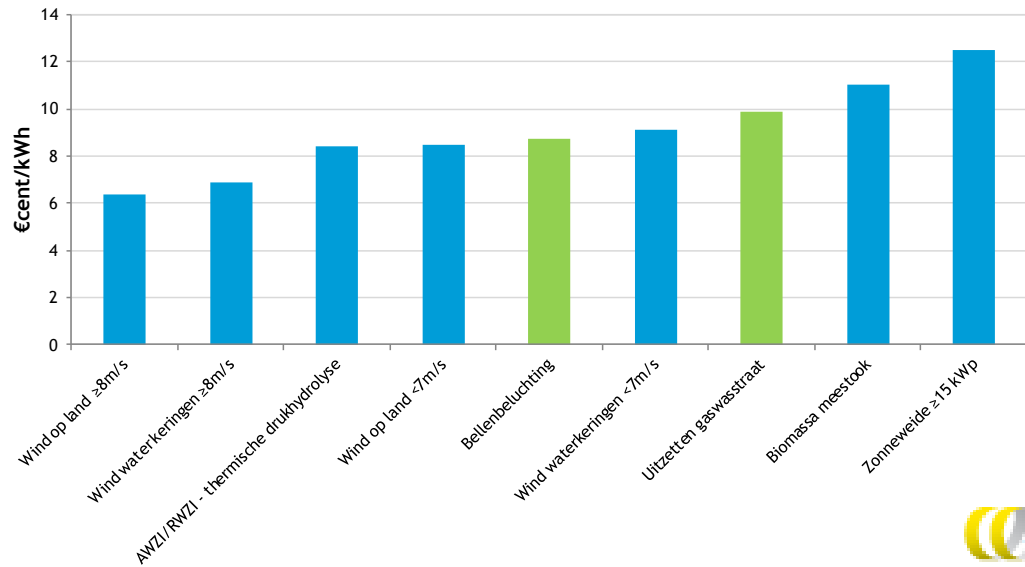
Naast de in geld uitgedrukte baten levert bellenbeluchting ook baten op in de vorm van imagowinst en vermindering van de energie-afhankelijkheid. Bellenbeluchting Dokhaven is namelijk veruit de grootste besparingsmaatregel die WSHD op dit moment kosteneffectief kan treffen. Het niet toepassen ervan zal ertoe leiden dat de MJA3-doelstelling voor procesefficiency niet wordt gerealiseerd. Ook wordt niet de eerste stap gezet in de richting van de lange termijn-doelstelling die WSHD in haar Kadernota 2018 heeft aangegeven (100% energieneutraal in 2030). Deze baten kunnen we niet in geld uitdrukken, maar zijn daarom mogelijk een niet minder belangrijke factor in de afweging

### Resultaat kosteneffectiviteitsanalyse

De kosteneffectiviteit van bellenbeluchting, afgezet tegen andere klimaatmaatregelen, is weergegeven in Figuur 1. De kosten zijn uitgedrukt in €ct per kWh. Zowel de bellenbeluchting als hernieuwbare energiemaatregelen dringen immers het fossiele energiegebruik terug en zorgen daarmee voor milieuwinst.



Figuur 1 Vergelijking kosteneffectiviteit bellenbeluchting met andere maatregelen (€ct per kWh)



De grafiek laat zien dat de kosten van bellenbeluchting tussen de 8 en 9 €ct per kWh bedragen. De kosten per bespaarde kWh zijn daarmee lager dan technieken zoals het bijstoken van biomassa en grootschalige zonne-energie, maar vergelijkbaar of hoger dan windenergie op land. Hiermee liggen de kosten in de range van veel klimaatmaatregelen die in Nederland worden genomen (in de elektriciteitsmarkt). Alhoewel in sommige Nederlandse sectoren (zoals de zware industrie) goedkopere energiebesparingsmaatregelen mogelijk zijn, is bellenbeluchting één van de weinige kosteneffectieve opties die WSHD op dit moment heeft om substantiële besparingen te realiseren binnen het programma 'Zuiveren'. Een investering in de techniek lijkt daarmee vanuit maatschappelijk oogpunt verdedigbaar.

Door bellenbeluchting ontstaat ook de mogelijkheid de ventilatie van de RWZI aan te passen. Als gevolg hiervan zou één van de drie gaswasstraten uit bedrijf kunnen worden genomen, waardoor WSHD een aanvullende energiebesparing kan realiseren. De kosten per bespaarde kWh van deze maatregel zijn hoger dan bellenbeluchting, maar liggen ook binnen de range van andere klimaatmaatregelen die worden genomen. De maatschappelijke businesscase die is doorgerekend in deze rapportage laat zien dat het maatschappelijke resultaat van het uitzetten van de gaswasstraat ook positief is.

### Tot slot

In deze rapportage hebben we bouwstenen aangeleverd voor de investeringskeuze. Hierbij geven we nadrukkelijk geen advies voor de uiteindelijke keuze, omdat het aan het Waterschap zelf is om de eindafweging te maken tussen bedrijfseconomische, milieukundige en imago-effecten bij haar investeringskeuze. Wel laten de maatschappelijke businesscase en kosteneffectiviteitsberekening zien dat een investering in bellenbeluchting vanuit maatschappelijk perspectief te verantwoorden is.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Binnen het Beheergebied van Waterschap Hollandse Delta (WSHD) ligt de ondergrondse rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Dokhaven. Deze RWZI is halverwege de jaren '80 in Rotterdam gebouwd. In de installatie wordt het afvalwater gezuiverd en na zuivering op de Nieuwe Maas geloosd. Een deel van het slib wordt omgezet in biogas en gebruikt om energie mee op te wekken.

Uit onderzoek is gebleken dat het Waterschap een energiebesparing van 3 mln kWh per jaar in de installatie kan realiseren door bellenbeluchting<sup>1</sup> toe te passen. Dit is veruit de grootste energiebesparingsmaatregel die WSHD op dit moment kan realiseren binnen het programma 'Zuiveren'. Zonder de maatregel zal zij dan ook niet kunnen voldoen aan de doelstelling van het MJA3-convenant. Ook is de maatregel een eerste stap in de richting van de lange termijndoelstelling die WSHD in haar Kadernota 2018 heeft aangegeven (100% energieneutraal in 2030). De besparingsmaatregel vergt echter aanzienlijke investeringskosten. Hier staan voordelen tegenover, zoals een besparing op de elektriciteitskosten en milieuwinst.

Het Waterschap wil graag een integrale afweging maken voor de investeringskeuze. Dit betekent dat naast bedrijfseconomische aspecten, ook maatschappelijke en milieuaspecten een rol kunnen spelen in de besluitvorming. Ze zoekt daarom een methode/instrument en afwegingskader om alle relevante aspecten in beeld te brengen, onderling te vergelijken en te wegen en waar mogelijk te kapitaliseren. In voorliggend rapport is deze afweging gemaakt.

## 1.2 Doel van het project

Het maken van een integrale afweging van het vervangen van het huidige beluchtingssysteem door bellenbeluchting. Met hulp van deze afweging kan het Waterschap haar keuze maken voor een eventuele investering.

## 1.3 Aanpak in vogelvlucht

Voor de afweging hebben we twee methoden toegepast, een Maatschappelijke Businesscase-analyse en een Kosteneffectiviteitsanalyse (KEA). Hiermee kunnen we vanuit twee invalshoeken bepalen in hoeverre bellenbeluchting een rendabele maatregel is vanuit maatschappelijk perspectief. Een nadere omschrijving van de maatschappelijke businesscase is weergegeven in Bijlage B. Voor de analyse hebben we gebruik gemaakt van de data zoals deze ons zijn aangeleverd door WSHD. Deze zijn niet separaat gereviewd.

---

<sup>1</sup> Dit is een systeem waarbij een gordijn van fijne belletjes wordt gecreëerd om zuurstof in het afvalwater in te brengen voor het zuiveringsproces.





Een maatschappelijke businesscase is een afwegingsmethode, waarin alle effecten van een investeringsmaatregel systematisch in kaart worden gebracht. Het gaat hierbij om een breed perspectief. Dit betekent dat niet alleen de bedrijfseconomische effecten in beeld worden gebracht, maar ook de bredere maatschappelijke effecten zoals milieuwinst. Deze effecten worden zoveel mogelijk vergelijkbaar gemaakt door ze onder één noemer te brengen (euro's). De milieuwinst van bellenbeluchting wordt bijvoorbeeld in euro's uitgedrukt op basis van de vermeden schade aan de maatschappij.<sup>2</sup>

Door de éénmalige en jaarlijkse in geld uitgedrukte kosten en baten terug te rekenen naar een basisjaar en bij elkaar op te tellen, ontstaat een maatschappelijk saldo. Hiermee kan worden bepaald of de maatschappelijke baten opwegen tegen de maatschappelijke kosten. Omdat het maatschappelijke saldo afhankelijk is van verschillende aannames, is in een gevoeligheidsanalyse bepaald wat de robuustheid van het resultaat is. Met andere woorden: in hoeverre verandert het resultaat als de belangrijkste parameters worden gevarieerd?<sup>3</sup>

Naast de maatschappelijke businesscase is ook een kosteneffectiviteitsanalyse uitgevoerd van de bellenbeluchting. Met deze methode brengen we in kaart wat de kosten zijn per uitgespaarde eenheid elektriciteitsopwekking (kWh). Door deze kosten te vergelijken met andere klimaatmaatregelen die worden genomen in de maatschappij, kunnen de kosten van bellenbeluchting in perspectief worden geplaatst. Hiermee geven we inzicht of het om een relatief dure maatregel gaat in vergelijking met andere maatregelen of dat de maatregel juist goedkoop is.

#### 1.4 Vergelijking met voortzetten bestaande systeem

In deze studie vergelijken we de maatschappelijke kosten en baten van bellenbeluchting met een voortzetting van het bestaande systeem (nul-alternatief). Hiermee wordt inzichtelijk hoe de maatschappelijke kosten en baten van bellenbeluchting zich verhouden tot de investeringen die moeten worden gemaakt als bellenbeluchting niet wordt toegepast. In het nul-alternatief gaat het om groot onderhoud (revisie) van de aandrijvingen van 10 van de 16 bestaande puntbeluchters<sup>4</sup>. Van de overige 6 puntbeluchters zijn de aandrijvingen al gereviseerd.

---

<sup>2</sup> CE Delft heeft recentelijk voor een groot aantal stoffen de Milieuprijzen gepubliceerd in het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017). Deze prijzen zijn gehanteerd in dit project.

<sup>3</sup> Hierbij speelt mee dat er door de Rijksoverheid niet één maatschappelijke waarde is toegekend voor de reductie van CO<sub>2</sub> (de belangrijkste milieuwinst van de bellenbeluchting). De milieuprijs is toegekend voor meerdere scenario's, waarbij de waarde die wordt toegekend sterk afhankelijk is van het gehanteerde scenario. In een scenario waarin de Nederlandse overheid vasthoudt aan de 2-gradendoelstelling, worden hogere baten toegekend aan energiebesparing dan in een scenario waarin het klimaatakkoord van Parijs niet wordt nageleefd.

<sup>4</sup> Een puntbeluchter is het best te vergelijken met een grote slagroomklopper die half in het water is ondergedompeld. Door de klopper met relatief hoog toerental te roteren wordt lucht en daarmee zuurstof in het water gebracht.





Door bellenbeluchting ontstaat ook de mogelijkheid de ventilatie van de RWZI aan te passen. Als gevolg hiervan zou één van de drie gaswasstraten uit bedrijf kunnen worden genomen, waardoor WSHD een aanvullende energiebesparing kan realiseren. De aanpassing van de ventilatie vergt echter ook een aanvullende investering. Het uit bedrijf nemen van de gaswasstraten nemen we mee als aanvullende variant in de maatschappelijke businesscase en kosteneffectiviteitsanalyse.

## 1.5 Leeswijzer

De opzet van het rapport is als volgt:

- Hoofdstuk 2 presenteert de resultaten van de maatschappelijke businesscase, inclusief de gevoeligheidsanalyse;
- Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van de kosteneffectiviteitsanalyse;
- In Hoofdstuk 4 presenteren we de conclusie.



# 2 Maatschappelijke businesscase

## 2.1 Inleiding

In de maatschappelijke businesscase maken we een integrale afweging van de effecten van bellenbeluchting. Voordat we de resultaten van de maatschappelijke businesscase presenteren, geven we eerst een overzicht van bedrijfseconomische, milieueffecten en overige effecten van de maatregel, uitgedrukt in hun oorspronkelijke eenheden (euro's, kWh uitgespaarde energie, kton milieuwinst). Vervolgens maken we alle effecten vergelijkbaar door deze in euro's uit te drukken en presenteren we het resultaat. Hierbij laten we zowel het bedrijfseconomische saldo zien als het maatschappelijke saldo. In Paragraaf 2.4 laten we zien wat de invloed is van onzekerheden op het resultaat (gevoeligheidsanalyse). In Bijlage A zijn de achterliggende berekeningen en aannames gepresenteerd.

## 2.2 Overzicht kosten en effecten in oorspronkelijke eenheid

Toepassing van bellenbeluchting heeft verschillende kosten en effecten tot gevolg. Deze zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Overzicht financiële effecten en milieueffecten bellenbeluchting

Type effect	Waarde
<b>Financiële effecten</b>	
Investing bellenbeluchting (€ mln)	€ 3,7 mln
Te vermijden investering groot onderhoud puntbeluchters (€ mln)	- € 0,5 mln
Toename onderhoudskosten (jaarlijks, €)	€ 0,05 mln <sup>5</sup>
Besparing elektriciteitsverbruik (jaarlijks, €)	€ 0,2 mln
Financiële besparing restvervuiling door ammonium reductie (jaarlijks, €)	€ 0,03 mln tot € 0,06 mln
<b>Milieu-effecten</b>	
Reductie CO <sub>2</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	1578
Reductie NO <sub>x</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	2,1
Reductie SO <sub>2</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	1,2
Reductie VOS-uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	1,7
Reductie uitstoot fijnstof (ton/ jaar)	0,09
Reductie uitstoot ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , ton/jaar)	18-36
<b>Toename</b> uitstoot nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ton/jaar)	62-124
<b>Maatschappelijke effecten</b>	
Imagowinst WSHD (bijdrage doelstelling MJA3 en energieneutraliteit 2030)	+
Reductie afhankelijkheid energie (mln kWh per jaar)	6 mln kWh (bellenbeluchting) minus 9 mln kWh (groot onderhoud puntbeluchting) = 3 mln kWh besparing

<sup>5</sup> Tijdens de levensduur van 15 jaar is ook rekening gehouden met het vervangen van beluchtingsplaten (15%) door veroudering of defecten.



Type effect	Waarde
<b>Effecten bij uitzetten één van de drie gaswasstraten</b>	
Additionele investering voor uitzetten gaswasstraat (éénmalig, €)	€ 0,5 mln
Reductie elektriciteitsverbruik uitzetten gaswasstraat (jaarlijks, €)	€ 0,02 mln
Reductie elektriciteitsverbruik uitzetten gaswasstraat (kWh/jaar)	400.000
Reductie CO <sub>2</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	210
Reductie NO <sub>x</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	0,3
Reductie SO <sub>2</sub> -uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	0,2
Reductie VOS-uitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	0,2
Reductie fijnstofuitstoot door energiebesparing (ton/jaar)	0,012

De tabel laat zien dat bellenbeluchting een investering vergt van € 3,7 mln. Hiermee wordt groot onderhoud aan de puntbeluchters uitgespaard van € 0,5 mln. In totaal bedragen de extra investeringskosten van bellenbeluchting ten opzichte van groot onderhoud daarmee € 3,2 mln.

Daar komt bij dat de onderhoudskosten toenemen met € 0,05 mln per jaar. Hier staan besparingen tegenover van jaarlijkse elektriciteitsopbrengsten (€ 0,2 mln) en reductie van heffingen voor restvervuiling (jaarlijks € 0,03 tot 0,06 mln).

Naast de financiële effecten zijn er ook milieueffecten. De uitstoot van het Nederlandse elektriciteitspark zal namelijk dalen door de verminderde vraag naar elektriciteit. Het gaat om jaarlijks meer dan 1,5 kton CO<sub>2</sub>. Ook de overige verbrandingsemissies zullen dalen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS, fijnstof). Daarnaast zal bellenbeluchting een invloed hebben op de samenstelling van het effluent. De ammoniumuitstoot daalt, terwijl de uitstoot van nitraten toeneemt. De totale hoeveelheid stikstof blijft echter gelijk.<sup>6</sup>

Ook zal bellenbeluchting de afhankelijkheid van fossiele energiebronnen verminderen. De Nederlandse overheid heeft als doelstelling om zo snel mogelijk onafhankelijk te worden van fossiele energie, onder andere in verband met het opraken van de Nederlandse aardgasvoorraad en vermindering van afhankelijkheid uit landen als Rusland. Om onafhankelijk te worden van fossiele energie, is het van belang dat minder energie wordt gebruikt. Bellenbeluchting is één van de maatregelen die daar een bijdrage aan kan leveren.

De milieuwinst en vermindering van fossiele brandstoffen hangen sterk samen met de imagowinst die optreedt voor WSHD door de maatregel. Zonder de maatregel zal zij immers niet kunnen voldoen aan de doelstelling voor procesefficiency van het MJA3-convenant en de eerste stap zetten richting energieneutraliteit in 2030. In het kader van de MJA3-afspraken heeft het Waterschap zich gecommitteerd, in de periode tot en met 2020, de energieefficiency met gemiddeld 2% per jaar te verbeteren. Uitvoering van dit project levert een besparing van ruim 6% van het verbruik van het programma zuiveren. Zonder de maatregel bellenbeluchting zal WSHD de doelstellingen voor de procesefficiency niet realiseren.

<sup>6</sup> Omdat de milieuprijzen zijn gebaseerd op de totale hoeveelheid stikstof in het effluent, werkt deze omzetting niet door in de in geld uitgedrukte milieuwinst. De omzetting heeft wel een positief effect in de financiële businesscase door een lagere heffing voor de restvervuiling.



Tenslotte treden er additionele effecten op als één van de gaswasstraten wordt uitgezet. Voor een éénmalige investering van € 0,5 mln kan een jaarlijkse besparing van € 0,02 mln worden gerealiseerd. Dit resulteert in een reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot van meer dan 200 ton jaarlijks.

## 2.3 Resultaat maatschappelijke businesscase

In de maatschappelijke businesscase zijn de integrale effecten zoveel mogelijk in euro's uitgedrukt en vervolgens contant gemaakt. Hierbij is een technische levensduur van 15 jaar gehanteerd. Het resultaat is weergegeven in Tabel 3. In Bijlage A is meer gedetailleerd weergegeven hoe de effecten zijn berekend.

Tabel 3 Resultaat maatschappelijke businesscase (NCW, € mln)

	Resultaat (NCW, € mln)
<b>Kosten</b>	
Investeringskosten bellenbeluchting	3,7
Te vermijden investeringen groot onderhoud puntbeluchting	-0,5
Onderhoudskosten	0,7
<b>Totale financiële kosten</b>	<b>3,9</b>
<b>Baten</b>	
Lagere energiekosten	2,7
Financiële besparing restvervuiling	0,6
<b>Totale financiële baten</b>	<b>3,3</b>
<b>Financieel saldo (baten - kosten)</b>	<b>-0,6</b>
<b>Milieuwinst</b>	
CO <sub>2</sub> -reductie	1,2
NO <sub>x</sub> -reductie	0,9
SO <sub>2</sub> -reductie	0,3
VOC-reductie	0,05
Fijnstofreductie	0,05
<b>Totaal milieubaten</b>	<b>2,5</b>
<b>Maatschappelijk saldo (baten-kosten)</b>	<b>1,9</b>
<b>Overige baten</b>	
Imagowinst (MJA3, energieneutraliteit)	+
Vermindering energie-afhankelijkheid	+

Tabel 3 laat zien dat het maatschappelijke resultaat positief is (€ 1,9 mln). Met andere woorden: de maatschappelijke baten van de maatregel zijn groter dan de kosten. Alhoewel het financiële saldo negatief is (het is daarom vanuit bedrijfseconomisch perspectief rendabeler om te investeren in groot onderhoud van puntbeluchting), is de (in geld uitgedrukte) milieuwinst van plus € 2,5 mln groot genoeg om het negatieve financiële saldo te compenseren.

Hierbij zijn (door de Rijksoverheid voorgeschreven) milieuprijzen gehanteerd voor CO<sub>2</sub> van € 48 per ton in 2017, oplopend naar € 80 per ton in 2030. Voor NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijnstof bedragen de milieuprijzen respectievelijk



€ 35/kg, € 24/kg, € 2,30/kg en € 43,5/kg. Deze prijzen lopen (in reële termen) niet verder op in de toekomst (zie CE Delft, 2017). Dit zijn prijzen die de maatschappelijke marginale waarde uitdrukken voor het voorkomen van milieuvervuiling in euro's per kilogram vervuilende stof.

Het geeft daarmee de welvaartswinst weer die optreedt omdat er minder van de stoffen in het milieu terecht komt. Voorbeelden van welvaartswinst zijn een verbeterde gezondheid, lagere schade aan gebouwen en gewassen, lagere kosten voor het ophogen van dijken, etc. Hierbij hebben we gerekend met gemiddelde waarden voor Nederland.

Naast de in geld uitgedrukte baten levert bellenbeluchting ook baten op in de vorm van imagowinst en vermindering van de energie-afhankelijkheid. Zoals vermeld in Paragraaf 2.2 levert de maatregel een belangrijke bijdrage aan het realiseren van de MJA3-doelstelling; zonder de maatregel zal de doelstelling niet worden gerealiseerd. Hierdoor zal WSHD waarschijnlijk minder presteren dan andere waterschappen in haar gezamenlijke doelstelling voor het MJA3-convenant. Ook wordt met bellenbeluchting de eerste stap gezet richting energieneutraliteit in 2030. Deze baten kunnen we niet in geld uitdrukken, maar zijn daarom mogelijk een niet minder belangrijke factor in de afweging.

### Uitzetten gaswasstraat

Het uitzetten van één van de drie gaswasstraten vergt een additionele investering. Hier staan lagere energiekosten en milieuwinst tegenover. Het resultaat voor de additionele investering is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Resultaat uitzetten gaswasstraat

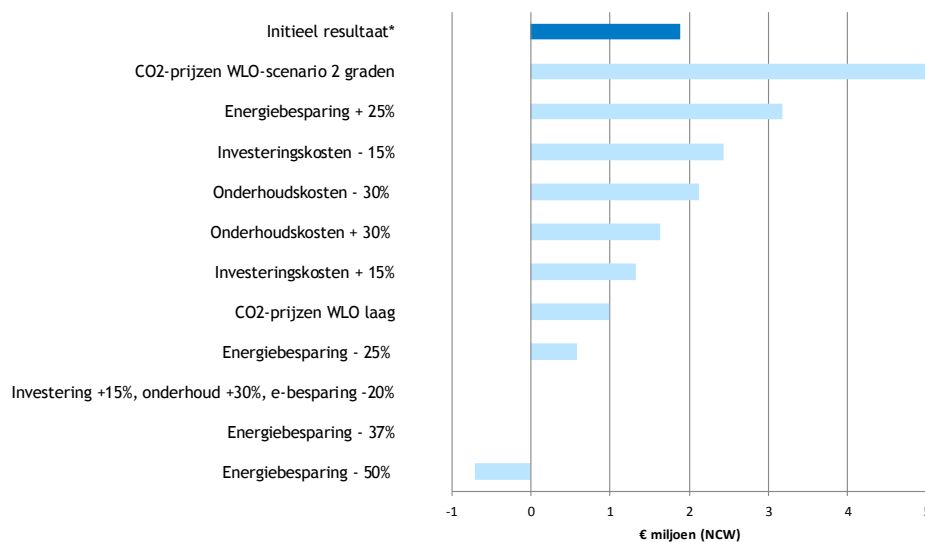
	Resultaat(NCW, € mln)
<b>Financiële kosten en baten</b>	
Investing (kosten)	0,5
Lagere energiekosten (baten)	0,4
<b>Financieel saldo (baten minus kosten)</b>	<b>-0,1</b>
<b>Milieubaten</b>	
CO <sub>2</sub> -reductie	0,16
NO <sub>x</sub> -reductie	0,12
SO <sub>2</sub> -reductie	0,06
VOC-reductie	0,01
Fijnstofreductie	0,01
<b>Totaal milieubaten</b>	<b>0,3</b>
<b>Maatschappelijk saldo (financiële en milieubaten minus kosten)</b>	<b>0,2</b>
<b>Overige baten</b>	
Imagowinst	+
Vermindering energie-afhankelijkheid	+

Ook voor het uitzetten van de gaswasstraat geldt dat de investering vanuit maatschappelijk perspectief rendabel is; vanuit financieel perspectief echter niet. De in geld uitgedrukte milieuwinst is groot genoeg om (opgeteld bij de energiekosten) de investeringskosten te compenseren. Ook hier geldt dat nog geen rekening is gehouden met de baten van imagowinst en vermindering van de energie-afhankelijkheid.

## 2.4 Gevoeligheidsanalyse

Het resultaat van de maatschappelijke businesscase is van verschillende factoren afhankelijk. In Figuur 2 presenteren we de uitkomsten voor de bellenbeluchting als gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd.

Figuur 2 Resultaat gevoeligheidsanalyse (NWC, € mln)



\* Initieel resultaat is de investeringsssom gebaseerd op een SKK-raming inclusief een risicoreservering van 17%.

De figuur laat zien dat het positieve resultaat vrij robuust is. Pas als verschillende factoren negatief uitpakken klappt het positieve resultaat om. Het gaat om een combinatie van 15% hogere investeringskosten, 30% hogere onderhoudskosten en een lagere energiewinst van 20%. Hierbij merken we op dat de investeringskosten in de praktijk nog hoger moeten uitpakken om het resultaat te doen omslaan. Bij de bepaling van investeringskosten in het initiële resultaat is namelijk al een risicoreservering van 17% is opgenomen. Dit betekent dat de investeringskosten eigenlijk 32% hoger moeten uitpakken dan voorzien (in combinatie met 30% hogere onderhoudskosten en een lagere energiewinst van 20%).

Ook de energiewinst is een belangrijke variabele, omdat deze zowel van invloed is op de energierekening van WSHD als de milieuwinst. Het resultaat klappt om als de energiewinst met 37% of meer lager uitpakt. Bij alle andere gevoeligheidsanalyses blijft het in geld uitgedrukte resultaat positief.

## 2.5 Conclusie

We kunnen samengevat concluderen dat het vanuit bedrijfseconomisch perspectief niet verstandig is om te investeren in bellenbeluchting. Het is goedkoper om groot onderhoud te plegen aan de overige tien puntbeluchters. Vanuit maatschappelijk perspectief en imagowinstoverwegingen is het wel gerechtvaardigd om te investeren in bellenbeluchting en het uitzetten van de gaswasstraten. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat de resultaten vrij robuust zijn. Pas bij een combinatie van verschillende factoren, of een energiewinst die meer dan 37% lager uitpakt dan voorzien, klapt het positieve resultaat om naar negatief.





# 3 Kosteneffectiviteitsanalyse

## 3.1 Inleiding

In de maatschappelijke businesscase is de afweging gemaakt door de milieuwinst in euro's uit te drukken en te vergelijken met de financiële kosten en baten. Hiermee is aangetoond dat het maatschappelijke saldo positief is. In dit hoofdstuk drukken we de kosten uit per bespaarde eenheid elektriciteitsopwekking (kWh). Door deze kosten te vergelijken met overige klimaatmaatregelen die worden genomen in de maatschappij, bepalen we of bellenbeluchting een relatief dure of goedkope maatregel is.

## 3.2 Methode

De kosteneffectiviteit van bellenbeluchting bepalen we aan de hand van de zogenaamde Levelised Costs of Electricity-methode (LCOE). Dit is een methode die vaak wordt toegepast om de kosten van energieopwekking (of besparing) over de gehele levensduur van een maatregel te bepalen. De maximale hoogte van landelijke SDE+-subsidies worden bijvoorbeeld op basis van deze methode bepaald.

Bij de LCOE-methode brengen we de kosten per bespaarde kWh elektriciteit in beeld over de gehele levensduur van de maatregel. Hiermee vergelijken we de kosten van bellenbeluchting<sup>7</sup> met de kosten per kWh voor hernieuwbare energiemaatregelen.<sup>8</sup> Zowel de bellenbeluchting als hernieuwbare energiemaatregelen dringen immers het fossiele energiegebruik terug. In Bijlage C is beschreven hoe de LCOE is berekend.

## 3.3 Resultaten

De kosteneffectiviteit van bellenbeluchting en overige maatregelen is weergegeven in Figuur 3.

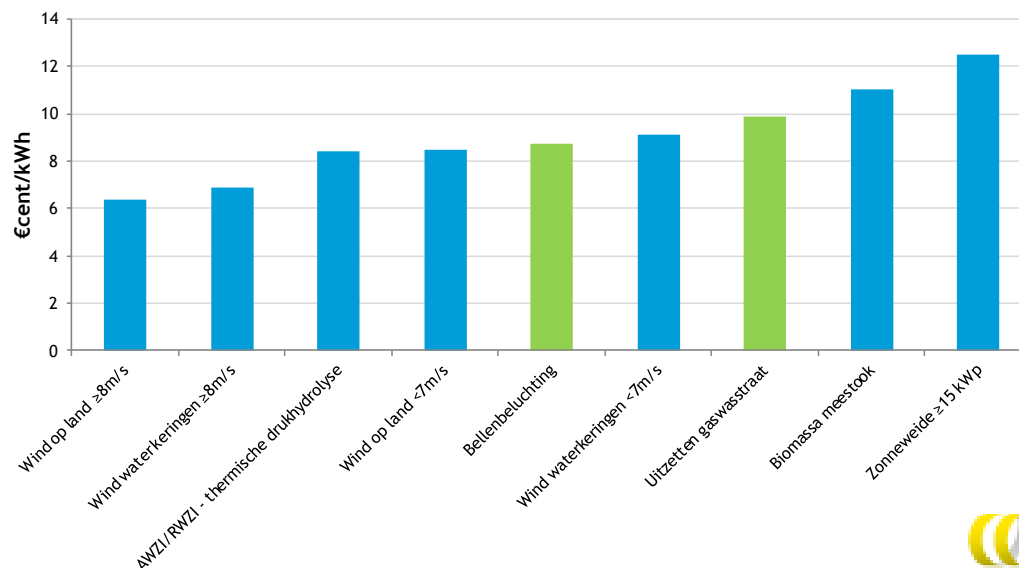
---

<sup>7</sup> Om de vergelijking zo zuiver mogelijk te maken, vergelijken we alleen de kosten van de maatregelen en niet de opbrengsten van elektriciteit. De opbrengsten van elektriciteit voor WSHD zijn namelijk groter dan de opbrengsten die hernieuwbare energieproducten ontvangen, omdat een deel van opbrengsten bestaan uit vermeden belastingen (energiebelasting, BTW) en vermeden netwerk- en transportkosten die ten koste gaan van de inkomsten van de Rijksoverheid en netwerkbedrijven. Vanuit maatschappelijk perspectief valt dit deel van de opbrengsten daarom weg.

<sup>8</sup> Omdat voor hernieuwbare energiemaatregelen de onrendabele top wordt vergoed door de SDE+-subsidies, pakt de kosteneffectiviteit voor de initiatiefnemer van een maatregel gunstiger uit dan voor de maatschappij. Als WSHD bijvoorbeeld zou kiezen om te investeren in een grootschalige zonneweide, zou zij per saldo een rendabele businesscase hebben, omdat de onrendabele top wordt vergoed door de Rijksoverheid. Vanuit het perspectief van de maatschappij is de maatregel financieel echter niet rendabel, omdat de SDE+-vergoedingen worden gefinancierd uit een opslag op de elektriciteitsrekening voor alle elektriciteitsverbruikers in Nederland.



Figuur 3 Vergelijking kosteneffectiviteit bellenbeluchting met andere klimaatmaatregelen<sup>9</sup>,



Bronnen: Eigen berekeningen; ECN (2016).

De grafiek laat zien dat de kosten van bellenbeluchting tussen de 8 en 9 €ct per kWh bedragen; de kosten van het uitzetten van de gaswasstraat bedragen ongeveer 10 €ct per kWh. De kosten per bespaarde kWh van bellenbeluchting zijn daarmee lager dan technieken zoals het bijstoken van biomassa en grootschalige zonne-energie, maar hoger dan windenergie op locaties in Nederland met hogere windsnelheden.<sup>10</sup> De kosten per kWh zijn ongeveer gelijk met windenergie op land bij lagere windsnelheden en thermische drukhydrolyse.<sup>11</sup>

Hiermee liggen de kosten binnen de range van veel hernieuwbare energie-maatregelen die in Nederland worden genomen (in de elektriciteitsmarkt). Een investering in de techniek lijkt daarom vanuit maatschappelijk oogpunt verdedigbaar. Alhoewel in andere sectoren dan waterschappen goedkopere besparingsopties mogelijk zijn (in de industrie zijn bijvoorbeeld nog veel rendabele opties mogelijk, zie CE Delft, 2016), zijn er binnen WSHD nauwelijks goedkopere alternatieven. Zoals eerder vermeld in de rapportage is bellenbeluchting daarbij de maatregel binnen WSHD met op dit moment verreweg het grootste potentieel.

<sup>9</sup> Bij de categorie wind op waterkeringen gaat het om windturbines die geplaatst worden op primaire verbindende waterkeringen of aan de waterkant van primaire zeewaterkeringen. Het plaatsen van een windturbine op een primaire waterkering leidt tot extra kosten omdat in sommige gevallen extra damwanden geplaatst moeten worden om dijkverzakking te voorkomen, de civiele werken duurder zijn en netaansluitingen op grotere afstand aanwezig zijn.

<sup>10</sup> Hierbij merken we op dat de aansluitkosten voor windenergie en kosten voor back-up-capaciteit en profieffecten van windenergie niet zijn opgenomen in bovenstaande grafiek. In de praktijk zullen wind- en zonne-energie daarom wat ongunstiger uitpakken.

<sup>11</sup> In waterzuiveringsinstallaties wordt zuiverings-slib vergist, waarbij in de meeste gevallen de gasopbrengst wordt gebruikt om met een WKK-gasmotor elektriciteit op te wekken. Een nieuwe ontwikkeling bij waterzuiveringsinstallaties is het uitbreiden van de vergistingsinstallatie met een installatie voor thermische drukhydrolyse. Hierdoor wordt een hogere gasopbrengst per ton slib bereikt.

### 3.4 Conclusie

We kunnen concluderen dat de kosteneffectiviteit van bellenbeluchting qua ordegröte vergelijkbaar is met veel andere klimaatmaatregelen die worden genomen in Nederland. Vanuit het perspectief van kosteneffectiviteit zou de investering daarom in lijn liggen met, of goedkoper zijn dan andere klimaatmaatregelen die in Nederland worden genomen om CO<sub>2</sub>-reductie te bewerkstelligen. De maatregel is daarmee vanuit maatschappelijk perspectief goed verdedigbaar.



# 4 Conclusies

In dit onderzoek is een maatschappelijke businesscase en een kosten-effectiviteitsanalyse uitgevoerd voor de maatregel bellenbeluchting (en eventueel het uitzetten van een gaswasstraat). De kosten en effecten zijn afgezet tegen een groot onderhoud aan de huidige puntbeluchters.

De belangrijkste conclusies zijn:

## **Vanuit financieel perspectief is bellenbeluchting niet rendabel**

Vanuit financieel oogpunt is bellenbeluchting geen rendabele maatregel. Het uitvoeren van groot onderhoud aan de huidige puntbeluchters is goedkoper, ook als rekening wordt gehouden met de financiële baten van een lagere energierekening en minder restvervuiling. Met andere woorden: het Waterschap is goedkoper uit als niet wordt gekozen voor bellenbeluchting.

## **Vanuit maatschappelijk perspectief is bellenbeluchting wel rendabel**

Vanuit maatschappelijk perspectief is bellenbeluchting wel een rendabele maatregel. De in geld uitgedrukte milieuwinst is groot genoeg om de negatieve bedrijfseconomische resultaten te compenseren. Anders gezegd, de vermeden schade aan de maatschappij weegt op tegen de extra kosten die WSHD moet maken om bellenbeluchting te realiseren. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat het resultaat vrij robuust is. Pas als de energiewinst 37% of lager is of als verschillende factoren negatief uitpakken, klapt het positieve resultaat om. Het gaat om een combinatie van 15% hogere investeringskosten, 30% hogere onderhoudskosten en een lagere energiewinst van 20%. Daarbij is nog geen rekening gehouden met additionele niet in geld uitgedrukte voordelen van bellenbeluchting: vermindering van de energie-afhankelijkheid, het voldoen aan de doelstelling van het MJA3-convenant voor procesefficiency en het zetten van de eerste stap richting energieneutraliteit in 2030.

## **De kosteneffectiviteit ligt qua orde-grootte in de range van veel hernieuwbare maatregelen**

De kosten per bespaarde kWh van bellenbeluchting bedraagt tussen de 8 en 9 €ct per kWh; voor het uitzetten van de gaswasstraat bedragen de kosten ongeveer 10 €ct per bespaarde kWh. Hiermee is bellenbeluchting duurder dan windenergie op gunstige locaties, maar bijvoorbeeld goedkoper dan bijstoken van biomassa en grootschalige zonne-energie. De kosten van de maatregel liggen daarmee in de orde-grootte van veel andere klimaatmaatregelen die in Nederland worden genomen in de elektriciteitsmarkt. Alhoewel in sommige Nederlandse sectoren (zoals de zware industrie) goedkopere energie-besparingsmaatregelen mogelijk zijn, is bellenbeluchting Dokhaven op dit moment één van de weinige kosteneffectieve opties die WSHD op dit moment heeft om substantiële besparingen te realiseren binnen het programma 'Zuiveren'.



### **Tot slot**

In deze rapportage hebben we bouwstenen aangeleverd voor de investeringskeuze. Hierbij geven we nadrukkelijk geen advies voor de uiteindelijke keuze, omdat het aan het Waterschap zelf is om de eindafweging te maken tussen bedrijfseconomische, milieukundige en imago-effecten bij haar investeringskeuze. Wel laten de maatschappelijke businesscase en kosteneffectiviteitsberekening zien dat een investering in bellenbeluchting vanuit maatschappelijk perspectief goed verdedigbaar is.



# 5 Bibliografie

CE Delft, 2017. Handboek Milieuprijzen 2017 : Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts, Delft: CE Delft.

ECN, 2016. Voorlopige correctiebedragen 2017 (SDE+), Amsterdam: ECN.

ECN, 2017. Berekening basisbedragen SDE+ 2017 : Excel spreadsheet, C.M. Kraan. Petten: ECN.

Gergin, E., 2008. Rijksheffing op directe lozingen : voortzetting heffing in deze vorm nog gerechtvaardigd?, Enschede: Universiteit Twente.

Harmelink, M. et al., 2012. Berekening van de CO<sub>2</sub>-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland, Den Haag: Agenschap NL, e.a.



# Bijlage A Voorbeeldberekening effecten

## A.1 Financiële effecten

De berekeningen van de financiële effecten zijn in Tabel 5 weergegeven. Aan de linkerzijde zijn de niet-gedisconteerde bedragen weergegeven. Deze bedragen lopen jaarlijks op, omdat rekening is gehouden met een inflatie van 2%. De financiële besparingen voor de restemissies zijn verondersteld jaarlijks toe te nemen met 1,5% (op basis van de gemiddelde historische verhogingen van de heffing sinds 1995).<sup>12</sup>

Om tot een netto contante waarde (NCW) te komen moeten de jaarlijkse bedragen worden gediscoteerd. Omdat WSHD rente moet betalen over haar leningen, zijn bedragen op dit moment meer waard dan in de toekomst. Bij een gemiddelde discontovoet van 2,27% is een bedrag één jaar later een factor 0,98 minder waard ( $1/1+2,27\%$ ). Deze discontofactor is weergegeven in de middelste kolom van Tabel 5. De gediscoteerde bedragen zijn berekend door de niet-gedisconteerde bedragen te vermenigvuldigen met de discontofactor.

Voor technische levensduur van zowel de puntbeluchting als de bellenbeluchting is 15 jaar als uitgangspunt gehanteerd. De NCW voor 15 jaar is dan de som van de jaarlijkse gediscoteerde bedragen. In wiskundige termen is de berekening van de onderhoudskosten bijvoorbeeld:

$$NCW = \sum_{t=0}^{15} \frac{(Onderhoudskosten_{bellen,jaar\ t} - Onderhoudskosten_{punt,jaar\ t}) * (1 + inflatie)}{(1 + discontovoet)}$$

Tabel 5 Berekening financieel saldo

	Niet-gedisconteerde bedragen					Gedisconteerde bedragen					
	Investeringskosten	Uitgespaarde investering groot onderhoud puntbeluchting	Onderhoudskosten	Energie-opbrengsten	Financiële besparing restvervuiling	Discontofactor (2,27%)	Investeringskosten	Uitgespaarde investering groot onderhoud puntbeluchting	Onderhoudskosten	Energie-opbrengsten	Financiële besparing restvervuiling
0	3,7	-0,5				1,00	3,7	-0,5			
1			0,05	0,19	0,04	0,98			0,05	0,182	0,041
2			0,05	0,19	0,04	0,96			0,05	0,181	0,041
3			0,05	0,19	0,04	0,93			0,05	0,181	0,040
4			0,05	0,20	0,04	0,91			0,05	0,180	0,040
5			0,05	0,20	0,04	0,89			0,04	0,180	0,040
6			0,05	0,21	0,05	0,87			0,04	0,179	0,040
7			0,05	0,21	0,05	0,85			0,04	0,179	0,039
8			0,05	0,21	0,05	0,84			0,04	0,178	0,039
9			0,05	0,22	0,05	0,82			0,04	0,178	0,039
10			0,06	0,22	0,05	0,80			0,04	0,177	0,038
11			0,06	0,23	0,05	0,78			0,04	0,177	0,038

<sup>12</sup> Bronnen: [www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/handboek-water/wetgeving/waterwet/financiele/item-112721/opbouw/](http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/handboek-water/wetgeving/waterwet/financiele/item-112721/opbouw/) (Gergin, 2008).





	Niet-gedisconteerde bedragen					Gedisconteerde bedragen					
	Investeringskosten	Uitgespaarde investering groot onderhoud puntbeluchting	Onderhoudskosten	Energie-opbrengsten	Financiële besparing restvervuiling	Discontofactor (2,27%)	Investeringskosten	Uitgespaarde investering groot onderhoud puntbeluchting	Onderhoudskosten	Energie-opbrengsten	Financiële besparing restvervuiling
12			0,06	0,23	0,05	0,76			0,04	0,177	0,038
13			0,06	0,24	0,05	0,75			0,04	0,176	0,038
14			0,06	0,24	0,05	0,73			0,04	0,176	0,037
15			0,06	0,25	0,05	0,71			0,04	0,175	0,037
						<b>Totaal</b>	<b>3,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>2,7</b>	<b>0,6</b>

De gesommeerde bedragen in de onderste rij geven de waarden aan zoals weergegeven in Tabel 3 in Hoofdstuk 2.

## A.2 Milieueffecten

Een lager elektriciteitsverbruik betekent minder uitstoot van het elektriciteitspark in Nederland. De milieuwinst van bellenbeluchting t.o.v. puntbeluchting hangt daarom af van het vermeden elektriciteitsverbruik, de emissiefactor van het Nederlandse elektriciteitspark voor de betreffende stof en de milieuprijs van de stof.

Voor de emissiefactoren zijn de kengetallen uit het rapport “Emissiekentallen elektriciteit” (CE Delft, 2014) gebruikt voor grijze stroom. Dit omdat een extra kWh aan stroomverbruik door een fossiele centrale zal worden geproduceerd, en niet een windmolen of zonnepaneel.<sup>13</sup> Een vermeden kWh aan stroom betekent dan dat er minder fossiele stroom wordt opgewekt. Voor vermeden emissies naar lucht is het Handboek Milieuprijzen (CE Delft, 2017) gebruikt om de milieuwinst voor CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijnstof te berekenen. Dit handboek is opgesteld door CE Delft in opdracht van het ministerie van I&M (CE Delft, 2017), waarbij onder andere het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de Leefomgeving in de begeleidingscommissie hebben gezeten. Het gebruik van de milieuprijzen in het Handboek wordt aanbevolen door het ministerie van I&M.

In Tabel 6 zijn de niet gedisconteerde bedragen aan de linkerkant weergegeven, en aan de rechterkant de gedisconteerde bedragen. Voor CO<sub>2</sub> is de huidige milieuprijs € 0,048 per kg, en de emissiefactor 0,526 kg per kWh, dus 1 kWh vermeden stroom levert € 0,025 milieuwinst (0,048\*0,526). Met bellenbeluchting wordt er (zonder additionele investering) 3 mln kWh minder stroom verbruikt per jaar. Dit betekent een in geld uitgedrukte milieuwinst van € 0,08 mln per jaar voor CO<sub>2</sub>. Voor milieuprijzen op het gebied van klimaat dient met een prijsstijging van 3,5% per jaar gewerkt worden. De milieuwinst van CO<sub>2</sub> stijgt daarom elk jaar, wat te zien is in de linkerkant van de onderstaande tabel. Voor de andere stoffen geldt dit niet en blijven de prijzen in reële termen constant.

<sup>13</sup> Dit wordt ook wel de referentieparkmethode genoemd, zie (Harmelink, et al., 2012).



Tabel 6 Milieubaten van emissiereducties

	Emissiefactoren elektriciteit (gram/kWh)	Milieuprijs** (€ <sub>2015</sub> /kg emissie)	Milieubaten per kWh (eurocent)	Milieubaten per 3 mln kWh (miljoen euro)
CO <sub>2</sub> *	526	0,048	2,5	0,08
NO <sub>x</sub> *	0,71	35	2,5	0,08
SO <sub>2</sub> *	0,39	24,4	1	0,03
VOC*	0,56	2,29	0,1	0,004
Fijnstof	0,03	43,5	0,1	0,004

Om tot een netto contante waarde te komen voor de milieuwinst van elke stof moet de jaarlijkse milieuwinst gediscoteerd worden met een discontovoet van 3% (voorgeschreven door het Ministerie van Financiën in de Werkgroep Discontovoet). De NCW van de milieuwinst kan met de volgende vergelijking worden bepaald:

$$NCW = \sum_{t=0}^{15} \frac{Milieuwinst_{stof,jaar} * (1 + groeivoet (indien CO_2))}{(1 + discontovoet)}$$

Dit komt erop neer dat de jaarlijkse gediscoteerde milieuwinst wordt gesommeerd om de netto contante waarde in jaar 0 te berekenen.

Tabel 7 Berekening milieuwinst

	Niet-gediscoteerde bedragen (€ miljoen)					Disconto- factor (3%)	Gediscoteerde bedragen (€ miljoen)				
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS	Fijnstof		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS	Fijnstof
0						1,00					
1	0,08	0,08	0,03	0,004	0,004	0,97	0,076	0,07	0,03	0,004	0,004
2	0,08	0,08	0,03	0,004	0,004	0,94	0,076	0,07	0,03	0,004	0,004
3	0,08	0,08	0,03	0,004	0,004	0,92	0,077	0,07	0,03	0,004	0,004
4	0,09	0,08	0,03	0,004	0,004	0,89	0,077	0,07	0,03	0,003	0,003
5	0,09	0,08	0,03	0,004	0,004	0,86	0,078	0,06	0,02	0,003	0,003
6	0,09	0,08	0,03	0,004	0,004	0,84	0,078	0,06	0,02	0,003	0,003
7	0,10	0,08	0,03	0,004	0,004	0,81	0,078	0,06	0,02	0,003	0,003
8	0,10	0,08	0,03	0,004	0,004	0,79	0,079	0,06	0,02	0,003	0,003
9	0,10	0,08	0,03	0,004	0,004	0,77	0,079	0,06	0,02	0,003	0,003
10	0,11	0,08	0,03	0,004	0,004	0,74	0,080	0,06	0,02	0,003	0,003
11	0,11	0,08	0,03	0,004	0,004	0,72	0,080	0,05	0,02	0,003	0,003
12	0,11	0,08	0,03	0,004	0,004	0,70	0,080	0,05	0,02	0,003	0,003
13	0,12	0,08	0,03	0,004	0,004	0,68	0,081	0,05	0,02	0,003	0,003
14	0,12	0,08	0,03	0,004	0,004	0,66	0,081	0,05	0,02	0,003	0,003
15	0,13	0,08	0,03	0,004	0,004	0,64	0,081	0,05	0,02	0,002	0,003
	<b>Totaal (NCW)</b>						<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>

De gesommeerde bedragen in de onderste rij geven de waarden aan zoals weergegeven in Tabel 3 in Hoofdstuk 2.



## Bijlage B Maatschappelijke businesscase

In dit rapport hebben we een maatschappelijke businesscase uitgevoerd om een integrale afweging te maken van de effecten van bellenbeluchting. De maatschappelijke businesscase wordt voor investeringsbeslissingen ook aanbevolen in het Handboek Schaduwrijzen (CE Delft, 2017) dat is opgesteld in opdracht van het ministerie van I&M. Alhoewel deze methode lijkt op de zogenaamde Maatschappelijke Kosten-BatenAnalyse (MKBA), zijn er een aantal verschillen. Het grote voordeel van een maatschappelijke businesscase is dat deze beter aansluit op de praktijk van WSHD dan een MKBA.

In de MKBA wordt een reële discontovoet voorgeschreven van 3% voor alle effecten, dus zowel de financiële effecten als de milieukundige effecten. Daarbij dient de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs in lijn te zijn met de zogenaamde WLO-scenario's. Dit zijn integrale toekomstbeelden die de ontwikkeling van een aantal belangrijke parameters weergeven.

Alhoewel deze voorschriften als belangrijk voordeel hebben dat MKBA's onderling vergelijkbaar zijn, is het nadeel dat de analyse minder goed aansluit op de financiële praktijk van WSHD. Zo is enerzijds de discontovoet van WSHD (2,27%, nominaal) lager dan de maatschappelijk voorgeschreven discontovoet (3%, reel) waardoor de financiële opbrengsten in de praktijk voor WSHD gunstiger uitpakken dan de effecten in een MKBA. Anderzijds is de voorspelling van de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs (2%) die WSHD in haar bedrijfs-economische analyse hanteert weer lager dan de ontwikkeling die is voorgeschreven in de WLO-scenario's. Hierdoor pakken de financiële effecten in de businesscase van WSHD juist ongunstiger uit in een MKBA.

Door een maatschappelijke businesscase toe te passen wordt beter inzichtelijk of het voor WSHD om een financieel rendabele maatregel gaat of niet. De berekening van de in geld uitgedrukte milieuwinst verschilt niet tussen MKBA's en maatschappelijke businesscases.



# Bijlage C Berekening kosteneffectiviteit

Bij de berekening van de kosteneffectiviteit is de LCOE-methode gehanteerd. In de LCOE-methode worden de kosten van elektriciteit over de gehele levensduur van een techniek bepaald. De LCOE geeft alleen de kosten weer. Stel bijvoorbeeld dat de LCOE van een maatregel 10 €ct per kWh bedraagt, dan impliceert dit dat de elektriciteitsopbrengsten minimaal 10 €ct per kWh moeten bedragen voor een financieel rendabel project.

Om de LCOE te berekenen, moeten we eerst de kosten bepalen van bellenbeluchting exclusief de elektriciteitsopbrengsten.<sup>14</sup> De financiële analyse laat zien dat de kosten voor bellenbeluchting in totaal € 3,3 mln bedragen; voor het uitzetten van de gaswasstraat is dit € 0,5 mln.

Tabel 8 Kosten exclusief elektriciteitsopbrengsten (€ mln)

	Bellenbeluchting	Uitzetten gaswasstraat
Investeringskosten	3,7	0,5
Onderhoudskosten	0,7	nvt
Uitgespaarde investeringen groot onderhoud puntbeluchting	-0,5	nvt
Financiële besparing restvervuiling	-0,6	nvt
<b>Kosten exclusief elektriciteitsopbrengsten</b>	<b>3,3</b>	<b>0,5</b>

Om de LCOE te bepalen (in eurocent per kWh), dienen de kosten te worden gedeeld door het aantal bespaarde eenheden elektriciteit over de gehele levensduur. Omdat we met de LCOE-methode bepalen wat de benodigde opbrengsten zouden moeten zijn, zijn de fysieke eenheden elektriciteitsbesparing rekenkundig gedisconteerd. De opbrengsten per kWh (die in geld worden uitgedrukt) worden immers ook gedisconteerd.

Tabel 9 Rekenkundige discontering elektriciteitsopbrengsten

	Energiebesparing bellenbeluchting (mln kWh)	Energiebesparing uitzetten gaswasstraat (mln kWh)	Discontovoet	Gedisconteerd bellenbeluchting (mln kWh)	Gedisconteerd gaswasstraat (mln kWh)
			1		
1	3	0,4	0,98	2,9	0,4
2	3	0,4	0,96	2,9	0,4
3	3	0,4	0,93	2,8	0,4
4	3	0,4	0,91	2,7	0,4
5	3	0,4	0,89	2,7	0,4
6	3	0,4	0,87	2,6	0,3
7	3	0,4	0,85	2,6	0,3
8	3	0,4	0,84	2,5	0,3
9	3	0,4	0,82	2,5	0,3

<sup>14</sup> We nemen de elektriciteitsopbrengsten niet mee, omdat we juist willen weten wat de opbrengsten zouden moeten zijn om de kosten te compenseren.



	Energiebesparing bellenbeluchting (mln kWh)	Energiebesparing uitzetten gaswasstraat (mln kWh)	Discontovoet	Gedisconteerd bellenbeluchting (mln kWh)	Gedisconteerd gaswasstraat (mln kWh)
10	3	0,4	0,80	2,4	0,3
11	3	0,4	0,78	2,3	0,3
12	3	0,4	0,76	2,3	0,3
13	3	0,4	0,75	2,2	0,3
14	3	0,4	0,73	2,2	0,3
15	3	0,4	0,71	2,1	0,3
			<b>Totaal</b>	<b>37,8</b>	<b>5,0</b>

De kosteneffectiviteit (LCOE) is berekend door de kosten te delen door de gediscoteerde elektriciteitsopbrengsten. Dit geeft de kosten weer per kWh over de gehele levensduur van de bellenbeluchting en het uitzetten van de gaswasstraat.

Tabel 10 Berekening LCOE bellenbeluchting en uitzetten gaswasstraat

	Bellenbeluchting	Uitzetten gaswasstraat
Kosten exclusief elektriciteitsopbrengsten (€ mln)	3,3	0,5
Gedisconteerde elektriciteitsopbrengsten (mln kWh)	37,8	5,0
Kosteneffectiviteit (€ct/kWh)	8,7	9,9

