



RVD-102X1-E-SAA002D

6 december 2018


blad 1 van 46

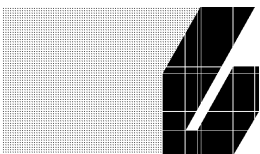
Status: DEFINITIEF

Project : **Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)**

Onderwerp : **De potentie van TEO voor verduurzaming van de gebouwen van het  
Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat (kosten en baten)**

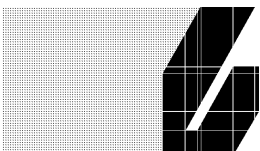
initialen + paraaf

RMO	
-----	---



## Inhoudsopgave

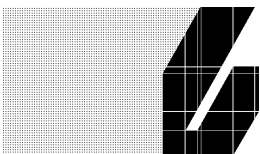
<b>1.</b>	<b>INLEIDING.....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>UITGANGSPUNTEN .....</b>	<b>8</b>
2.1.	Gebruikte startinformatie .....	8
2.2.	Standaardgebouw Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat .....	8
2.3.	Energieconcepten .....	8
2.4.	Overige uitgangspunten.....	11
<b>3.</b>	<b>REFERENTIEPROJECTEN TEO .....</b>	<b>12</b>
3.1.	Maastoren, Rotterdam .....	12
3.2.	Port City, Rotterdam .....	14
3.3.	Gemeentewerf, Capelle aan den IJssel .....	16
3.4.	Voormalig districtskantoor Rijkswaterstaat, Terneuzen.....	18
<b>4.</b>	<b>LABELSTUDIE.....</b>	<b>21</b>
4.1.	Bestaande referentiegebouwen .....	21
4.1.1.	Quick-wins.....	21
4.1.2.	Karspeldreef 16, Amsterdam .....	21
4.1.3.	Groene toren, Den Haag .....	22
4.1.4.	Laan op Zuid 45, Rotterdam .....	23
4.2.	Fictieve standaardgebouwen .....	24
4.2.1.	Basismethode.....	24
4.2.2.	Detailmethode .....	27
4.3.	Resultaten labelstudie .....	28
<b>5.</b>	<b>HAALBAARHEIDSBEREKENING MET WKO-TOOL .....</b>	<b>30</b>
5.1.	Methodiek.....	30
5.2.	Onderhoud en beheer.....	30
5.3.	Temperaturen voor verwarming en koeling .....	31
5.4.	Resultaten .....	33
5.5.	Financiële optimalisatie.....	37
<b>6.</b>	<b>RELATIE TUSSEN TEO EN DE WATERKWALITEIT (DELTAIRES).....</b>	<b>38</b>
6.1.	Effecten van Thermische energie uit oppervlaktewater op de waterkwaliteit .....	38
6.1.1.	Methode .....	38
6.1.2.	Resultaten .....	39
6.1.3.	Conclusies .....	39
6.1.4.	Aanbevelingen .....	40



6.2.	Belemmeringen voor TEO door aangroei van mosselen en door draagalgen .....	41
6.2.1.	Aangroei van mosselen .....	41
6.2.2.	Draadalgen .....	42
<b>7.</b>	<b>ORGANISATIEVORM EN SUBSIDIES .....</b>	<b>43</b>
7.1.	Organisatievorm .....	43
7.2.	Subsidies .....	43
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>44</b>
8.1.	Conclusies.....	44
8.2.	Aanbeveling .....	46

#### Bijlagen

1. Uitgangspunten Standaard gebouw
2. Bijlagen labelstudie
3. Principeschema's
4. Resultatentabel
5. Rapportages Deltares 'Effecten van Thermische Energie uit Oppervlaktewater', te weten:  
Bijlage 5a: Rapportage 'Effecten van Thermische Energie uit Oppervlaktewater' d.d. 12 april 2018, status definitief.  
Bijlage 5b: Memo 'Aanvulling berekeningen effecten van thermische energie uit oppervlaktewater' d.d. 8 november 2018.
6. Memo's Deltares risico aangroei mosselen en draadalgen, te weten:  
Bijlage 6a: Memo 'Kans op aangroei van mosselen in TEO-installaties' d.d. 19 oktober 2018.  
Bijlage 6b: Memo 'Draadalgen als mogelijke belemmering voor TEO-Installaties' d.d. 19 oktober 2018.
7. BEI output bladen
8. Beslisschema TEO installatie (stoplicht model)



## **Samenvatting**

Techniplan Adviseurs heeft voor het gebouwenportfolio van het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) en Rijkswaterstaat (RWS) de haalbaarheid onderzocht van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO).

Aangescherpte label eisen voor kantoorgebouwen in 2023 en 2030 zetten aan tot verduurzaming. Naar verwachting zullen de labeleisen voor kantoorgebouwen label C in 2023 en label A in 2030 zijn. De definitieve wetgeving wordt nu voorbereid. Maar voor het Rijksvastgoedbedrijf zullen hogere eisen gelden, namelijk label B vanaf 2023 en waarschijnlijk A+ in 2030.

Energie in de vorm van warmte en koude uit oppervlaktewater is duurzame energie. Het water kan gebruikt worden om een gebouw te verwarmen of te koelen. Warmtepompen worden toegepast om de energie uit oppervlaktewater geschikt (juiste temperatuur) te maken voor de energievraag van het gebouw. Er kan gekozen worden voor een combinatie van TEO mét of zonder een warmte- en koude opslag installatie (WKO). Een WKO kan de energie uit het oppervlaktewater opslaan in de bodem voor het volgende seizoen, hiermee kan een warmte- of koudetekort worden hersteld. Bij gebouwen van het RVB wordt over het algemeen een warmtetekort in de bodem verwacht. In dat geval wordt oppervlaktewater gebruikt om 's zomers de warmte uit het warme oppervlaktewater in de bodem op te slaan om die vervolgens in de winter weer te kunnen gebruiken voor warmteopwekking.

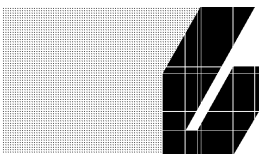
In deze studie zijn de kosten en baten van de volgende energieconcepten onderzocht:

- Luchtwaterwarmtepompen;
- TEO zonder WKO;
- TEO met WKO;
- WKO met droge koelers (dit is een breed toegepaste techniek met ca. 1500 operationele systemen in Nederland).

De haalbaarheid van deze concepten zijn onderzocht voor de gebouwenportfolio's van het RVB en RWS. Hiervoor zijn uitgangspunten vastgesteld die representatief zijn voor een groot deel van de gebouwen die in aanmerking komen voor verduurzaming. Enkele hiervan zijn: bouwjaar 1990; glaspercentage van 40%; verwarming met HR-100 ketel; koeling met een compressiekoelmachine. De (fictieve) referentiegebouwen hebben in basis een energielabel F.

### *Strategie*

Een viertal bestaande TEO systemen (van derden) zijn bestudeerd en hieruit volgden lessen met betrekking tot materiaalgebruik en onderhoud van een TEO-systeem. Een labelstudie is gedaan om erachter te komen hoe TEO zich als verduurzamingsmaatregel verhoudt tot andere mogelijke duurzaamheidsmaatregelen. Voor de te beschouwen concepten zijn globale ontwerpen gemaakt met bijbehorende raming voor de realisatiekosten en een inschatting van de besparing in de exploitatiefase. Deze berekeningen zijn voor vijf gebouwgroottes uitgevoerd (1.000, 5.000, 10.000 20.000 en 50.000 m<sup>2</sup> BVO) die een groot deel van de gebouwenportfolio's van het RVB en RWS omvatten.



### *Conclusie labelstudie*

De labelstudie heeft uitgewezen dat label C of B behaald kan worden met zogenaamde quick-wins. Dit zijn kosten-efficiënte verduurzamingsmaatregelen zoals toepassing van LED-verlichting en toerenregeling in de luchtbehandelingskasten. Alleen bij het vervangen van de traditionele warmte-/koudeopwekking door een duurzame opwekkingsinstallatie (TEO, WKO, luchtwarmtepomp, PV-panels) is Label A goed haalbaar. Label A+ is zeer moeilijk te realiseren bij gebouwen uit jaren '90, hiervoor zullen de afgiftesystemen aangepast of vervangen moeten worden en de gevel gerenoveerd moeten worden. De meest kostenefficiënte aanpak om een kantoorpand naar label A te brengen is de opwekkingsinstallatie te verduurzamen.

De huidige basismethodiek is beperkt bruikbaar als vertrekpunt voor besluitvorming voor het Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat. Eigenschappen van het gebouw en van de gebouwgebonden installaties kunnen niet heel nauwkeurig worden ingevoerd, waardoor het besparingspotentieel niet altijd een juiste representatie geeft van de werkelijkheid.

### *Conclusies financiële haalbaarheid*

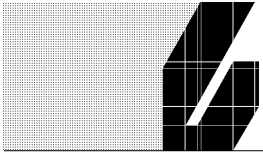
De berekeningen hebben uitgewezen dat hoe groter het gebouw is, hoe beter het toepassen van een duurzame energie-opwekinstallatie zich terugverdient. Bij gebouwen van 50.000 m<sup>2</sup> is 11 jaar de kortste terugverdientijd, en bij gebouwen van 1.000 m<sup>2</sup> is dat 30 jaar. De onderzochte duurzame energieconcepten met een gasketel als pieklastopwekker zijn bij alle onderzochte gebouwgroottes financieel aantrekkelijker dan de all-electric concepten. De all-electric concepten zijn financieel moeilijk haalbaar voor bestaande gebouwen waarbij hoogtemperatuur afgifte systemen niet (kunnen) worden aangepast.

TEO is een goed alternatief voor het toepassen van droge koelers als regeneratievoorziening voor een WKO systeem. De resultaten laten zien dat vanuit financieel oogpunt een TEO installatie vergelijkbaar is met of beter is dan droge koelers. Hiervoor is het uitgangspunt dat er binnen 100 m van het gebouw oppervlaktewater aanwezig is. Daarnaast heeft TEO meer voordelen ten opzichte van droge koelers zoals:

- \* Beter energierendement.
- \* Geen geluidsoverlast.
- \* Geen ruimtebeslag op het dak.
- \* Meestal niet zichtbaar, daarom esthetisch.

### *Conclusie duurzaamheid*

De all-electric concepten (gasloos) hebben de grootste CO<sub>2</sub>-besparing (100 %). Het uitgangspunt is gebruik van groene stroom en daarmee is elektriciteitsverbruik CO<sub>2</sub> neutraal. Het toepassen van de quick-wins levert een grote besparing van het elektriciteitsverbruik op. Indien uitgegaan wordt van inkoop van grijze stroom is de CO<sub>2</sub>-besparing van de quick-wins ordegrrootte hetzelfde als de CO<sub>2</sub>-besparing van de duurzame energieconcepten. Bij inkoop van grijze stroom, hebben de all-electric concepten een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-besparing met de concepten met een gasketel als pieklastopwekker.



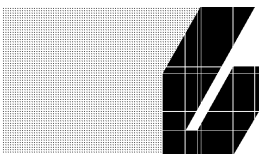
RVD-102X1-E-SAA002D

6 december 2018

blad 6 van 46

*Thermische effecten en waterkwaliteit*

Door Deltares zijn de thermische en ecologische effecten van TEO op het oppervlaktewater onderzocht. TEO blijkt in combinatie met de meeste watertypen en voor de meeste gebouwgroottes mogelijk zonder (nadelige) significante thermische en ecologische effecten op het oppervlaktewater. In extreme gevallen, zoals een groot gebouw van 50.000 m<sup>2</sup> dat energie uitwisselt met een sloot, is locatiespecifiek uitgebreid onderzoek nodig naar effecten van TEO op de waterkwaliteit.



## 1. Inleiding

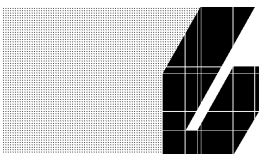
Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) en Rijkswaterstaat (RWS) om de haalbaarheid te onderzoeken van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) voor de kantoorgebouwen van hun portfolio. Aanleiding vormen de aangescherpte label-eisen voor kantoorgebouwen in 2023 en 2030. Naar verwachting zullen de label-eisen voor kantoorgebouwen label C in 2023 en label A in 2030 zijn (de definitieve wetgeving wordt nu voorbereid), maar voor het Rijksvastgoedbedrijf zullen hogere eisen gelden, namelijk label B vanaf 2023 en waarschijnlijk A+ in 2030 en uiteindelijk in 2050 energieneutraal. Onderdeel van deze opgave is gebruik maken van hernieuwbare energie.

Energie in de vorm van warmte en koude uit oppervlaktewater is duurzame energie. De temperatuur van het water kan worden gebruikt om een gebouw te verwarmen of te koelen. Warmtepompen worden daarbij toegepast om de temperatuur van het oppervlaktewater geschikt te maken voor de energievraag van het gebouw. Ook kan er gekozen worden voor een combinatie met een warmte- en koude opslag installatie (WKO). Een WKO kan de energie uit het oppervlaktewater opslaan in de bodem voor het volgende seizoen.

Verduurzaming is echter allerm minst eenduidig. Verschillende verbetermaatregelen hebben invloed op het energielabel van een gebouw en de invloed hangt ook af van het gebouw waarop een maatregel toegepast wordt. Daarom is een onderdeel van deze studie een onderzoek naar de kosten-efficiëntie van verschillende verbetermaatregelen. De toepassing van een TEO installatie is daarin één van de verbetermaatregelen, en kan zo vergeleken worden met de andere mogelijke verbetermaatregelen. De labelberekeningen worden gedaan voor gebouwen die representatief zijn voor het gebouwenportfolio van het RVB en RWS.

Toepassing van TEO voor een gebouw heeft ook effect op de kwaliteit van het oppervlaktewater, dit effect is beschouwd door Deltares.

De studie resulteert in kengetallen waarmee de haalbaarheid van TEO voor de gebouwen van het RVB en RWS in een vroeg stadium indicatief beoordeeld kan worden. Per gebouw hoeft alleen het bruto vloeroppervlak, de afstand tot het water, de keuze voor het type TEO-systeem (met of zonder WKO), het type oppervlaktewater (stromend of stilstaand) en de daarbij behorende stromingssnelheid of wateroppervlak ingevoerd te worden om tot een haalbaarheidsindicatie te komen.



## 2. Uitgangspunten

### 2.1. **Gebruikte startinformatie**

- BEI rekentool ('BEI versie 3.7 - 4 okt. 2017.xls') en handboek ('Definitief Handboek BEI revisiedatum 15 maart 2016.pdf')
- Generieke EPA-maatregelen in BEI doorgerekend met referentiegebouw van 10.000m<sup>2</sup>BVO (bouwjaar 1980-1995) d.d. 1 juli 2017 ('1. Overzicht kosten en baten generieke BEI's-2017-kw3-1.xls')
- PowerPoint presentatie van NIBA van het RWS-kantoor in Terneuzen ('RWS Terneuzen presentatie niba (2).ppt')
- THERMIE demonstration Terneuzen, Final technical report 'Office Building for Rijkswaterstaat with heat pump and natural venting system in Terneuzen, the Netherlands'. Kenmerk BU/247/97/NL-DE d.d. 6 maart 2002

### 2.2. **Standaardgebouw Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat**

Voor het bepalen van de haalbaarheid van een TEO installatie is het nodig een goede referentiesituatie vast te stellen. Om de resultaten bruikbaar te maken voor het RVB en RWS worden uitgangspunten gekozen die representatief zijn voor het grootste deel van de gebouwen van het RVB en RWS. Een lijst met uitgangspunten voor een standaardgebouw is opgenomen in bijlage 1. De uitgangspunten betreffen bouwkundige gebouweigenschappen, installatie-eigenschappen en gebruikerseigenschappen van het gebouw. Bijlage 1 bevat drie kolommen met uitgangspunten. De linker kolom bevat de uitgangspunten voor een standaardgebouw zonder verbetermaatregelen. Deze uitgangspunten leveren label F op in een labelberekening (voor een middelgroot gebouw, 20.000 m<sup>2</sup>). De tweede kolom bevat uitgangspunten van hetzelfde gebouw, waarbij enkele 'eenvoudige' verbetermaatregelen (quick-wins) zijn gedaan. Het energielabel is na toepassing van deze quick-wins label C. Voor het gebouw met een bruto vloeroppervlak van 1.000 m<sup>2</sup> zijn afwijkende gebouweigenschappen vastgesteld die representatief zijn voor dergelijke relatief kleine gebouwen. De derde kolom van de tabel bevat de uitgangspunten voor gebouwen van 1.000 m<sup>2</sup>. In blauw is aangegeven welke uitgangspunten verschillen van de andere gebouwgroottes.

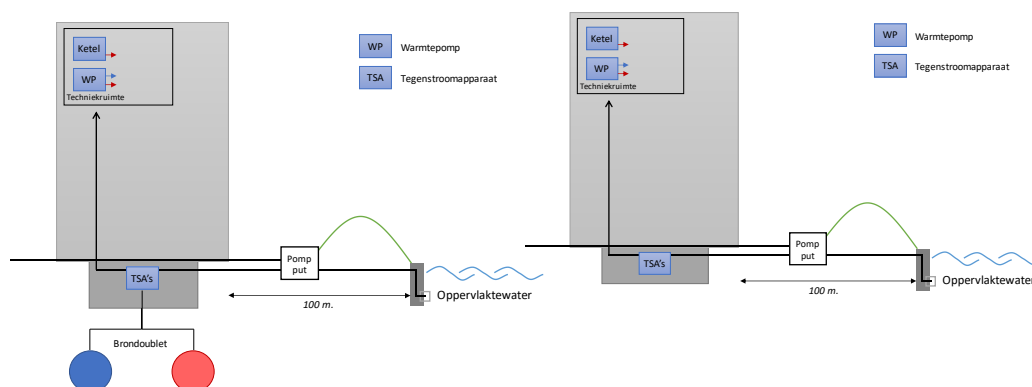
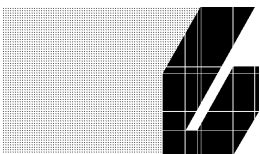
### 2.3. **Energieconcepten**

In deze studie worden in hoofdlijnen twee typen TEO-installaties onderscheiden:

- Type 1 (TEO met WKO): Installatie met warmte-/koudeopslag (WKO) en warmtepomp waarbij oppervlaktewater voor thermisch balansherstel van de bronnen ingezet wordt.
- Type 2 (TEO zonder WKO): Installatie met warmtepomp die oppervlaktewater bij verwarming als energiebron gebruikt en bij koeling als koelwater (voor het lozen van warmte).

Beide typen TEO installaties zijn schematisch weergegeven in **Figuur 1**. Voor beide typen installaties zijn in bijlage 3 principeschema's bijgevoegd voor verwarmings- en koelbedrijf. De doorgerekende energieconcepten zijn variaties van op deze types, waarbij de pieklastopwekkers en of vermogensverhouding zijn gevarieerd.



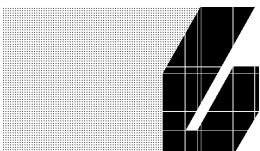


**Figuur 1: Schematisch TEO type 1 (links) en TEO type 2 (rechts) voor middelgrote en grote gebouwen.**

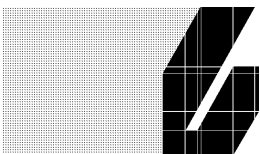
Verder zijn voor de onderzochte gebouwgrootten de volgende energieconcepten beschouwd voor verduurzaming van bestaande gebouwen van RWS en het RVB.

**Tabel 1: Omschrijving energieconcepten.**

0: Ref. zonder quick-wins	Referentie zonder quick-wins; De referentiesituatie bestaat uit traditionele energieopwekking met gasketels voor warmteopwekking en compressiekoelmachines voor koudeopwekking. Dit concept representeert een standaard RVB-gebouw met bouwjaar rond 1990 'as is', de quick-wins worden niet meegenomen. Dit concept wordt als referentie gebruikt voor het bepalen van de CO <sub>2</sub> -besparingen.
1: Ref. met quick-wins	Referentie met quick-wins; Dit concept gaat ook uit van gasketels en compressiekoelmachines. Bij dit concept wordt uitgegaan van toepassen van de quick-wins: relatief eenvoudig toepasbare en effectieve maatregelen om een eerste energielabelsprong te maken, zie bijlage 1. Dit concept wordt gebruikt als basis voor de berekening van de financiële haalbaarheid van de duurzame energieconcepten (concept 2 t/m 8) en voor het bepalen van de CO <sub>2</sub> -besparingen.
2: LWP + E-ketel	Luchtwarmtepomp met E-ketel als pieklastopwekker; Dit is een 'all-electric' concept. Verwarming en koeling wordt opgewekt met een luchtwarmtepomp die energie onttrekt of afgeeft aan de buitenlucht. Als pieklastopwekker wordt een elektrische ketel (E-ketel) gebruikt, hiermee worden de investeringskosten van het systeem beperkt. Dit concept wordt vooral voor de kleinere gebouwen berekend (1.000, 5.000 en 10.000 m <sup>2</sup> ).

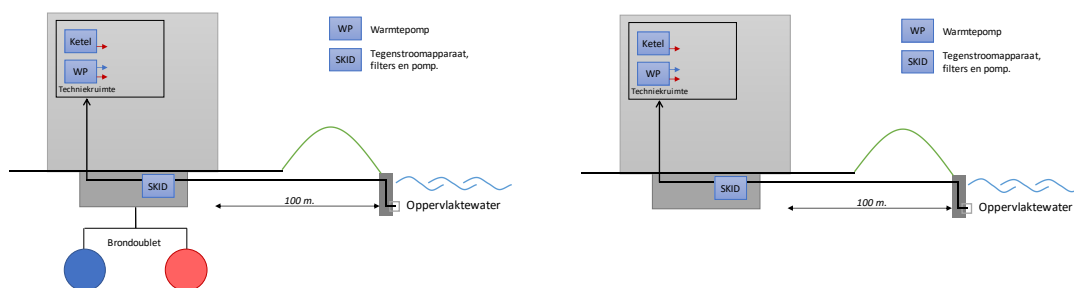


3: WKO + DK + gasketel	WKO in combinatie met warmtepompen en een gasketel als pieklastopwekker, met droge koelers voor regeneratie; Deze installatieopzet is gebruikelijk voor een bodemenergiesysteem. Er wordt in dit concept geen gebruik gemaakt van oppervlaktewater, een eventuele onbalans in de bronnen wordt herstelt met energie uit de buitenlucht, door middel van droge koelers.
3a: BWP + E-ketel	Gesloten bodemenergiesysteem met warmtepomp en E-ketel als pieklastopwekker. Dit concept is alleen berekend voor gebouwen van 1.000 m <sup>2</sup> .
4: WKO + TEO + gasketel	WKO in combinatie met warmtepompen en een gasketel als pieklastopwekker, met TEO voor regeneratie; Dit is een zogenaamde TEO type 1 installatie, zie <b>Figuur 1</b> . Bij dit concept wordt gebruik gemaakt van bodemenergie in combinatie met energie uit oppervlaktewater. De aansluiting op het oppervlaktewater wordt gebruikt om de bronnen te regenereren. In de winter kan koude worden ingevangen uit het water om in de bodem op te slaan, en in de zomer warmte (afhankelijk van de onbalans).
5: WKO + TEO + LWP	WKO in combinatie met warmtepompen en een luchtwarmtepomp met boosterwarmtepomp (in serie) als pieklastopwekker, met TEO voor regeneratie; Dit concept is het 'all-electric' alternatief voor concept 4, met bodemenergie en energie uit oppervlaktewater.
6: WKO + TEO (monovalent)	WKO in combinatie met warmtepompen zonder pieklastopwekker (monovalent), met TEO voor regeneratie; Bij dit concept wordt het volledige vermogen geleverd met de WKO in combinatie met de warmtepompen (met TEO), hierbij is geen sprake (meer) van een pieklastopwekker.
7: TEO + gasketel	TEO in combinatie met warmtepompen en een gasketel als pieklastopwekker; Dit is een zogenaamde TEO type 2 installatie, zie <b>Figuur 1</b> . In de zomer wordt het water middels een warmtepomp direct gebruikt om het gebouw te koelen en in de winter te verwarmen. Voor de pieksituaties is een gasketel gebruikt. Een secundaire opwekker is noodzakelijk bij dit systeem omdat het oppervlaktewater in zeer koude periodes kan bevriezen.
8: TEO + LWP	TEO in combinatie met warmtepompen en een luchtwarmtepomp met boosterwarmtepomp (in serie) als pieklastopwekker. Dit is het 'all-electric' alternatief voor concept 7.

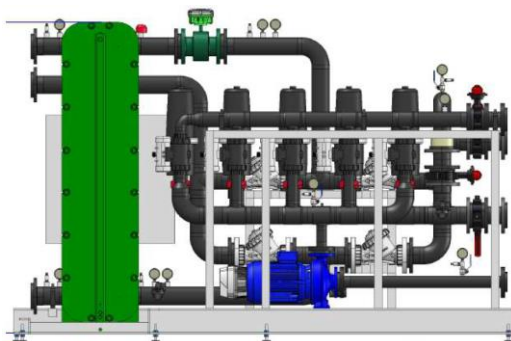


## 2.4. Overige uitgangspunten

- Bij de raming van een TEO systeem voor kleine gebouwen en middelgrote wordt uitgegaan van een SKID met een pomp, oppervlaktewater TSA en filters. Beide typen TEO installaties met SKID zijn weergegeven in **Figuur 2**. Een voorbeeld van een SKID is weergegeven in **Figuur 3**. Bij het toepassen van een SKID is het van belang dat de aanzuigweerstand van de pomp niet boven 0,5 bar is. Dit stelt beperkingen aan de hoogte van het SKID ten opzichte van het innamepunt en de afstand tot het water.

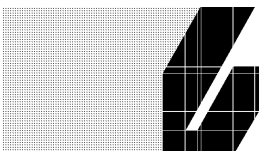


**Figuur 2: Schematisch TEO type 1 (links) en TEO type 2 (rechts) voor kleine gebouwen.**



**Figuur 3: SKID van Xylem: Turn-key TEO oplossing**

- Bij de meeste beschouwde energieconcepten met TEO wordt uitgegaan van een tweede opwekker voor aanvullende warmteproductie in pieklastsituaties. De pieklastopwekker kan per concept verschillen.
- De bedragen die in dit rapport genoemd worden zijn inclusief BTW, tenzij anders aangegeven.
- De terugverdientijden en de CO<sub>2</sub>-besparingen zijn berekend met behulp van het BEI-model van het RVB, hierin zijn uitgangspunten door het RVB vastgelegd die standaard gehanteerd worden door het RVB. Voor indexering van energietarieven wordt in het BEI-model voor elektra en gas een percentage van 4% per jaar gebruikt. De netto contante waarde en de terugverdientijd worden berekend met een disconteringsvoet van 1,5%.



### 3. Referentieprojecten TEO

Om te kunnen inventariseren wat de randvoorwaarden en aandachtspunten zijn bij het gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater is er gekeken naar ontwerp-, realisatie- en beheer-ervaringen van bestaande TEO-projecten. De volgende vier gebouwen zijn onderzocht:

Tabel 2 Overzicht van referentieprojecten TEO

Project	Type	Oppervlak	WKO	Opp. Water*
1 Maastoren te Rotterdam	1 (WKO + TEO)	44.000 m <sup>2</sup>	125 m <sup>3</sup> /h	80 m <sup>3</sup> /h
2 Port City, Rotterdam	1 (WKO + TEO)	30.000 m <sup>2</sup>	145 m <sup>3</sup> /h	120 m <sup>3</sup> /h
3 Gemeentewerf Capelle aan de IJssel	2 (TEO)	17.000 m <sup>2</sup>	n.v.t.	40 m <sup>3</sup> /h
4 Districtskantoor RWS, Terneuzen	2 (TEO)	1.750 m <sup>2</sup>	n.v.t.	20 m <sup>3</sup> /h

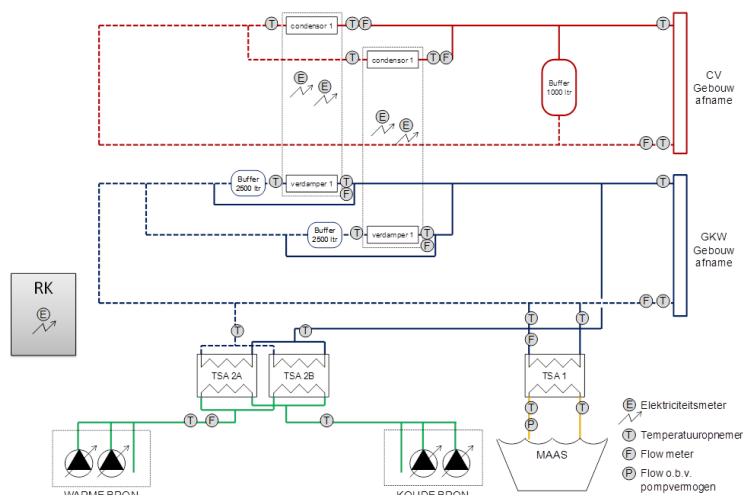
\*Debiet inname oppervlaktewater door TEO-systeem.

Van deze gebouwen zijn de volgende zaken onderzocht:

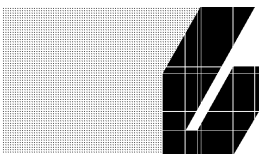
- Technische aspecten van de gebouw-installaties en het TEO-systeem, onder andere gericht op het ontwerp, het beoogd functioneren en de verwachte prestaties.
- Financiële aspecten van het TEO-systeem, onder andere gericht op de installatie- en exploitatiekosten.
- Contractuele/organisatorische aspecten van het TEO-systeem, onder andere gericht op verantwoordelijkheden en afspraken.

#### 3.1. Maastoren, Rotterdam

Bouwjaar: 2010  
Installatietype: Type 1 WKO met TEO



Figuur 4: De Maastoren en een schematische installatie-opzet van de WKO met aansluiting op de Maas en de gebouwfame voor warmte en koude.



#### Technische aspecten:

De Maastoren is een 165 meter hoog kantoorgebouw in Rotterdam en is gebouwd aan de Nieuwe Maas op de Kop van Zuid. De Maastoren wordt verwarmd en gekoeld met een monovalent WKO-systeem met twee warmtepompen en een brondoublet met een maximaal debiet van 150 m<sup>3</sup>/h. Het Maaswaterinnamepunt wordt gebruikt voor regeneratie (energiebalansherstel) van de bronnen en heeft een maximale capaciteit 80 m<sup>3</sup>/h. Voor het ontwerp van dit systeem heeft Techniplan Adviseurs in 2007 de prestigieuze ingenieursprijs De Vernufteling gewonnen. In 2009 is het systeem gerealiseerd door Roodenburg Installatiebedrijf in opdracht van Vaanster Energie, die voor 25 jaar eigenaar is. In 2011 is Rik Molenaar van Techniplan Adviseurs afgestudeerd aan de TU/e door de prestaties van dit WKO-systeem te simuleren en te optimaliseren o.b.v. monitoringsdata van de eerste 1,5 jaar.

Het onderzoek concludeert dat de belangrijkste voordelen van het gebruik van Maaswater zijn:

1. Beschikbaarheid voor regeneratie (herstel energiebalans bronnen):  
3.270 uur per jaar warmte-Invang mogelijk (Maaswatertemperatuur  $\geq 17$  °C)  
1.900 uur per jaar koude-Invang mogelijk ( $T_m \leq 6$  °C)
2. Verhoging temperatuurverschil warme-/koudebron Maastoren:  
Jaargemiddeld bij verwarming 8,1 °C (landelijk gemiddelde dT: 4,1 °C)  
Jaargemiddeld bij koeling 7,5 °C (landelijk gemiddelde dT: 4,6 °C)  
Dit geeft ten opzichte van het landelijk gemiddelde 40% verlaging van jaarlijkse grondwaterverplaatsing.
3. Energiebesparing door TEO als regeneratievoorziening (in plaats van droge koelers):  
Rendementsverbetering door gebruik van oppervlaktewater als regeneratiemethode is gemiddeld circa 4%, tot maximaal 10% (ten opzichte van gebruik van droge koelers).

#### Financiële aspecten:

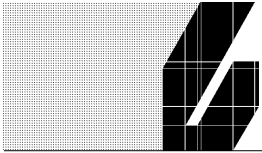
- De investeringskosten van de TEO installatie bedroegen ca. € 100.000, prijspeil 2010.
- De vermeden investeringskosten van de droge koeler installatie zijn ongeveer gelijk aan de investeringskosten van de TEO installatie, (mede) vanwege de gebouwhoogte. In de exploitatieperiode is de TEO installatie financieel voordeliger dan de droge koeler installatie.

#### Contractuele en organisatorische aspecten:

- De installatie van het project is eigendom van energie exploitant Vaanster en wordt onderhouden door Roodenburg Installatiebedrijven.

#### Ervaringen TEO:

- In de winter van 2010 (direct na de start van het project) is 950 MWh aan koude ingevangen vanuit de Maas. Hiermee is de warme natuurlijke grondwatertemperatuur in de koude bron afgekoeld van 15 °C naar circa 6 á 7 °C. Daarna heeft het systeem een aantal jaar in balans gedraaid zonder TEO, vanaf 2014 is weer ieder jaar circa 300 – 500 MWh koude ingevangen met de TEO installatie.
- Het Maaswaterinnamepunt (pomp, filter, TSA) wordt na gebruik schoongespoeld met leidingwater en geconserveerd, de RVS platenwisselaar functioneert nog prima.



RVD-102X1-E-SAA002D

6 december 2018

blad 14 van 46

- Het inname- en retourpunt zijn beide in de kelderwand van het gebouw gerealiseerd. Mede hierdoor waren de kosten voor dit Maaswatersysteem vergelijkbaar met een droge koeler.

#### Lessons learned TEO

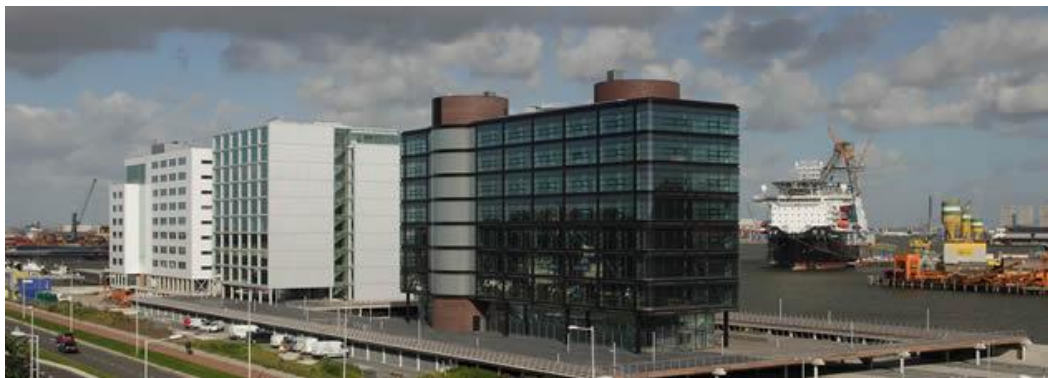
- De warmtepompen (2 x 50%) zijn te groot om in het voor- en najaar met een goed rendement warmte te kunnen leveren, want deze moeten vaak in deellast draaien. Een warmtepomp heeft het beste rendement bij vollast. Beter was een capaciteit-verhouding geweest van 30%/70% of 20%/40%/40%.

3.2.

### **Port City, Rotterdam**

Bouwjaar: 2010

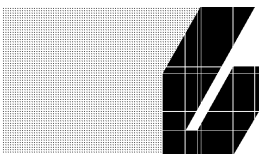
Installatietype: Type 1 WKO met TEO



**Figuur 5: Port City I,II en III (drie gebouwen op de voorgrond, van achter naar voren).**



**Figuur 6: Innamepunt TEO Port City.**



#### Technische aspecten:

Het programma Port City betreft vier kantoorgebouwen (ca. 10.000 m<sup>2</sup> per gebouw) op een stuk aangewonnen land in de Waalhaven van Rotterdam. Drie van de vier beoogde aan te sluiten gebouwen zijn inmiddels gerealiseerd (zie Figuur 5). Het laatst gerealiseerde kantoorgebouw (Port City III) stamt uit 2011.

De WKO-installatie met TEO is in 2010 in eigendom gerealiseerd door Eteck (destijds Forteck) en wordt tot op heden ook door Eteck beheerd. Wat installatie-opzet betreft is de installatie als bij de Maastoren (zie Figuur 4). Het betreft een monovalente WKO-installatie, waarbij twee warmtepompen in combinatie met een WKO-doublet het volledige verwarmingsvermogen kunnen leveren. Koude wordt zoveel mogelijk direct vanuit de koude bron van de WKO geleverd, eventueel aangevuld met 'vrije koeling' met het Waalhavenwater (indien de watertemperatuur laag genoeg is). In pieksituaties kunnen de warmtepompen als koelmachine worden ingezet voor extra koelvermogen. De condensorwarmte kan hierbij op de warme bron van de WKO of in noodsituaties op het oppervlaktewater worden geloosd.

TEO vervult in combinatie met WKO de functie van balansherstel. De WKO van Port City heeft een koudetekort. Dit komt doordat de gebouwen relatief veel glas in de gevel hebben (zie Figuur 5) en daardoor is de koelvraag in de zomer hoog. Voor het herstellen van het koudetekort in de bodem wordt de TEO-installatie ingezet om koude in te vangen bij lage oppervlaktewatertemperaturen (in de winter). Hiervoor is een innamepunt gemaakt in de Waalhaven. In Figuur 6 is met de rode pijlen de leiding aangegeven van het innamepunt, onder een ponton naar de oppervlaktewater-TSA.

#### Financiële aspecten:

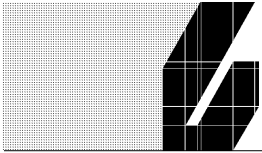
- Financiële gegevens zijn niet bekend (worden niet verstrekt door derden).

#### Contractuele en organisatorische aspecten:

- De realisatie, het eigendom en de exploitatie van de energiecentrale (inclusief de TEO-installatie) is uitbesteed aan energie exploitant Eteck.

#### Ervaringen en knelpunten TEO:

- Het WKO-systeem is ondanks de rivierwateraansluiting in onbalans (koudetekort). Dit komt omdat het ponton, met het rivierwaterinnamepunt, pas drie jaar na oplevering werd gerealiseerd, waardoor er pas nadien kon worden gestart met regenereren.
- Er wordt geen registratie van de energielevering met het TEO systeem bijgehouden (geen energiemeter).
- Het RVS leidingwerk van het innamepunt tot en met de RVS warmtewisselaar moest twee jaar na oplevering worden vervangen in verband met corrosie.
- Het innamepunt bevindt zich onder een ponton, waardoor er geen sprake is van vervuiling door aanzuigen van slib of kroos.
- Eteck maakt momenteel gebruik van zelfreinigende Bernoulli filters, maar deze houden zichzelf toch niet volledig schoon. Eteck is nog zoekende naar een beter type filter.



#### Lessons learned TEO:

- Roestvrijstaal is geen geschikt materiaal voor het leidingwerk voor het rivierwater, en ook niet voor het rivierwater-TSA. Geschikte materialen voor installatiedelen die in contact komen met rivierwater zijn: titanium voor de warmtewisselaar en HDPE voor het leidingwerk.
- Een innamepunt onder een ponton is een goed concept, want daardoor is er geen sprake van vervuiling door slib of kroos in het inname punt.

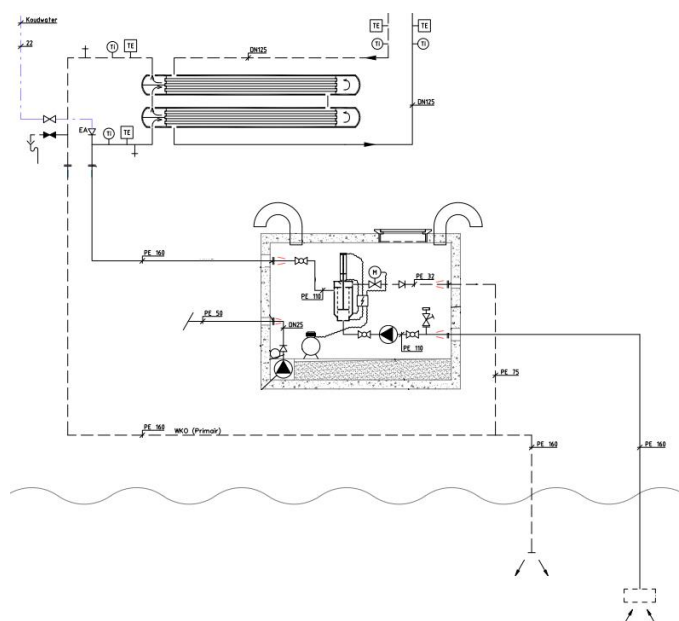
### 3.3. Gemeentewerf, Capelle aan den IJssel

Bouwjaar: 2011

Installatietype: Type 2 TEO zonder WKO

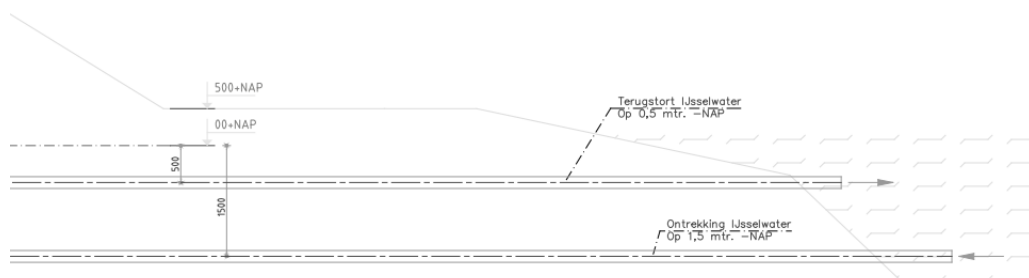
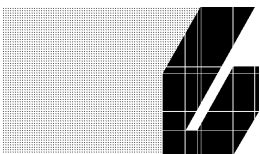


**Figuur 7: Gemeentewerf Capelle aan de IJssel.**



**Figuur 8: Schema van de koppeling van rivierwaterleiding, pomphuis en TSA's in het gebouw.**





**Figuur 9: Schematisch de oppervlaktewater leidingen in de oever van de Hollandse IJssel.**

Technische aspecten:

Het kantoor van het gemeentewerf wordt verwarmd met warmtepompen, die verdamperzijdig zijn aangesloten op een water/glycolsysteem. Het water/glycolsysteem is middels een pijpenwarmtewisselaar aangesloten op het oppervlaktewatersysteem dat naar de Hollandse IJssel loopt (zie Figuur 8). Naast de warmtepompen (2x 73 kW) zijn ketels opgesteld voor pieklastverwarming en back-up (3x 70 kW). 's Zomers kan het pand met de warmtepompen worden gekoeld, waarbij de condensatorwarmte wordt geloosd op het IJsselwatersysteem. Het deel van de Hollandse IJssel waaruit het oppervlaktewater wordt onttrokken is een vaarweg met flauw aflopende oevers (zie Figuur 7 en Figuur 9). Het systeem is in 2011 in gebruik genomen.

Financiële aspecten:

- De investeringskosten van dit project zijn niet bekend. Uit een offerte van 24 oktober blijkt dat is overwogen om remmingswerk aan te brengen, de IJsselwaterpomp te vervangen en de regeltechniek aan te passen. Deze werkzaamheden werden aangeboden voor ca. € 50.000,-.

Contractuele/organisatorische aspecten:

- De TEO installatie is in eigendom van de gemeente en wordt in opdracht van de gemeente beheerd en onderhouden door een installateur.

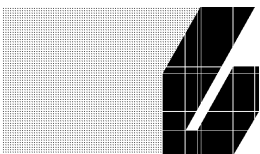
Ervaringen en knelpunten TEO:

Het systeem heeft de eerste jaren niet correct gefunctioneerd:

- Regelmatig (wekelijks) waren er storingen omdat het zelfreinigende filter vervuild was (wiervervuiling).
- Daarnaast is er ook een aantal keer (slib-)vervuiling van de pijpenwarmtewisselaar geconstateerd. De oorzaak was dat de aanzuigkorf op de rivierbodem lag en een te hoge aanzuigsnelheid had. Gevolg hiervan was dat de warmtepompen in de wintersituatie onvoldoende warmte konden onttrekken aan het rivierwater, waardoor verwarmd moest worden met ketels.

Lessons learned TEO:

- Bij grote kans op vervuiling met bijvoorbeeld wier, is het aan te raden om een gesloten systeem toe te passen (dit kan bijvoorbeeld door een kunststof buis in het water te leggen). Hierdoor kan warmte worden uitgewisseld zonder dat het oppervlaktewater aangezogen hoeft te worden.



Deze aanbeveling geldt alleen voor gebouwen van maximaal 5.000 m<sup>2</sup> BVO, omdat anders de lus die opgerold in het water komt te liggen veel te groot wordt.

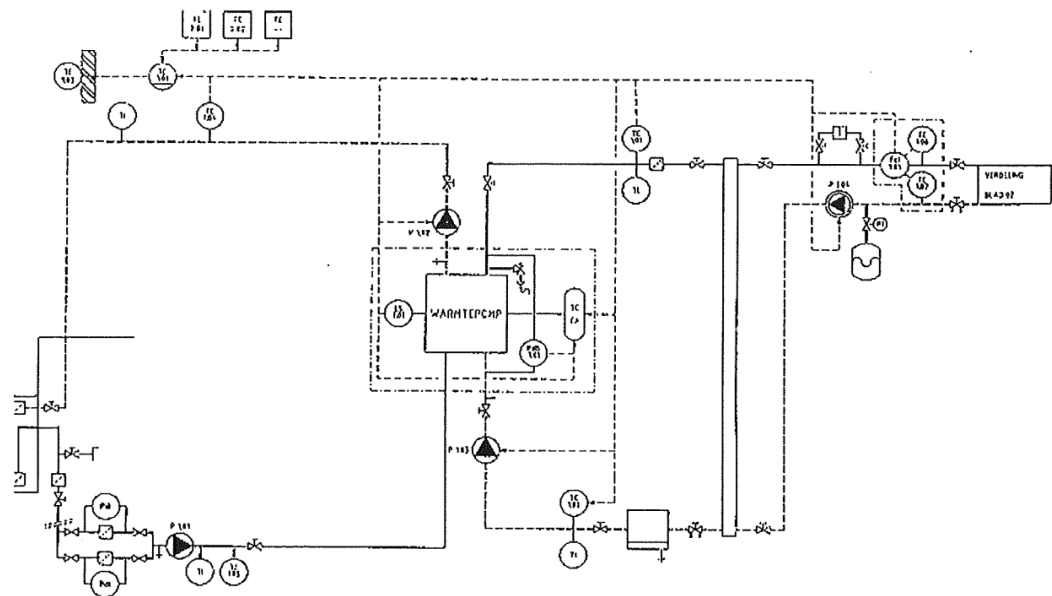
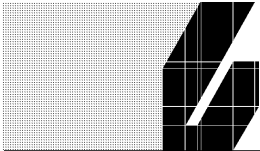
- Bij het aanzuigen van water uit een rivier dient de aanzuigkorf op voldoende hoogte (minimaal een halve meter) boven de bodem te worden gepositioneerd, om te voorkomen dat slib wordt aangezogen. Met oog op waterstanden moet de inlaatleiding onder de laagste waterstand geplaatst worden. Daardoor kan het innamepunt op een aanzienlijke afstand van de rivieroever komen te liggen. Meerpalen dienen te worden toegepast zodat het uiteinde van de inlaatleiding kan worden opgetrokken voor inspectie/onderhoud. De positie van de aanzuigleiding dient te worden afgestemd met Rijkswaterstaat.
- Toepassing van een grof- en fijnfilter om vervuiling in de oppervlaktewater leiding te voorkomen.
- Ter plaatse van filteropeningen zou de aanzuigwatersnelheid bij voorkeur lager moeten zijn dan de stroomsnelheid in het rivierwater. Daardoor blijven vuildeeltjes minder goed aan het filter zitten en vervuult het filter minder snel.
- Om bezinking van het oppervlaktewatervuil in de leiding te voorkomen dient de watersnelheid minimaal 1 m/s en bij voorkeur groter dan 2 m/s te zijn.
- Bij voorkeur dient een zelfaanzuigende pomp te worden toegepast, waardoor het risico van het aanzuigen van lucht na stilstand en/of laagwater wordt gereduceerd. Consequentie hiervan is dat de pomp dichtbij het oppervlaktewater moet zijn geplaatst, soms buiten het gebouw.

#### 3.4. Voormalig districtskantoor Rijkswaterstaat, Terneuzen

Bouwjaar:            Onbekend  
Installatietype:    Type 2 zonder TEO



**Figuur 10:** Foto voormalig districtskantoor Rijkswaterstaat, Terneuzen.



**Figuur 11: Schematische installatie-opzet van de TEO installatie met warmtepomp. De warmtepomp is aangegeven in het midden van de afbeelding. Inname van oppervlaktewater is aangegeven aan de linkerzijde en de gebouwfafname van warmte aan de rechterzijde (verdeling).**

Technische aspecten:

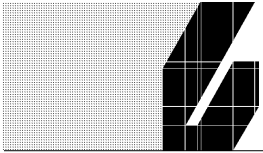
Het districtskantoor in Terneuzen van Rijkswaterstaat is onlangs gesloopt. Dit gebouw had een TEO systeem met een warmtepomp, die verdamerzijdig was aangesloten op een water/glycolsysteem. De warmtepomp fungeerde alleen voor ruimteverwarming, niet als koelmachine. Vóór 2008 was de warmtepomp direct aangesloten op de oppervlaktewaterleiding (zie Figuur 11). Dit was door verrotting geen succes. De warmtepomp was niet geschikt voor het oppervlaktewater. In 2008 is er een TSA geplaatst tussen het oppervlaktewater en het medium dat naar de warmtepomp stroomt. Het is belangrijk om geschikte materialen te gebruiken die in contact komen met het oppervlaktewater. Om het systeem goed werkend te krijgen is een proces geweest waarbij veel lessen geleerd zijn.

Financiële en contractuele/organisatorische aspecten:

- Financiële en contractuele gegevens zijn niet meer beschikbaar, het pand is inmiddels gesloopt.

Ervaringen en knelpunten TEO:

- Er waren in de winter problemen bij lage watertemperaturen, want door de lage watertemperatuur moest het koudemiddel in de verdamer bij een zeer lage temperatuur verdampen en daardoor sloeg de warmtepomp uit. Een oplossing was om maar één van de twee compressoren van de warmtepomp aan te zetten, daardoor was de verdampertemperatuur hoger en kon de warmtepomp toch door blijven draaien, maar dus wel met een lager vermogen.
- Het kwam wel eens voor dat een schip in de sluis de bodem in het water loswoelde en er slib naar het gebouw toestroomde. Daardoor blokkeerde de installatie en moest de installatie



RVD-102X1-E-SAA002D

6 december 2018

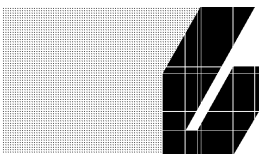
blad 20 van 46

handmatig worden gespoeld. De oplossing was om de installatie drie keer per uur automatisch te spoelen om blokkering te voorkomen.

- Aangroei was een probleem voor de levensduur van de TSA's. Een van de TSA's van RVS moest na circa 8 jaar vervangen worden. Een oplossing is hierbij ook om de installatie drie keer per uur automatisch te spoelen om aangroei te voorkomen. Dit dient ook in de zomer te geschieden.

Lessons learned TEO:

- Lage watertemperaturen in de winter stellen beperkingen aan het warmtevermogen van de warmtepomp. Om te allen tijde voldoende verwarmingsvermogen te garanderen is een noodketelhuis wenselijk.
- Bij een TEO installatie mag de warmtepomp niet direct aangesloten zijn op de oppervlaktewater leiding, want het is belangrijk dat alleen geschikte materialen in contact komen met het oppervlaktewater. Er moet een TSA geplaatst worden die het oppervlaktewater scheidt van het medium dat door de warmtepomp stroomt.
- Automatisch doorspoelen van de installatie kan blokkering en aangroei voorkomen.



#### 4. Labelstudie

In dit hoofdstuk wordt de invloed gepresenteerd van verduurzamingsmaatregelen op het energielabel van drie bestaande referentiegebouwen en van vijf “standaard”-gebouwen (fictieve gebouwen die representatief zijn voor de gebouwvoorraad van RVB en RWS). Hierdoor kan het toepassen van een TEO installatie in perspectief worden geplaatst met andere verduurzamingsmaatregelen. Er zijn 15 maatregelen onderzocht die zijn gekozen aan de hand van de toepasbaarheid en beschikbaarheid.

##### 4.1. Bestaande referentiegebouwen

###### 4.1.1. Quick-wins

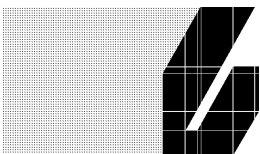
De drie bestaande referentiegebouwen zijn kantoren gebouwd in de periode van 1985-1995 en hebben verschillende bruto vloeroppervlaktes. Voor elk referentiegebouw zijn verduurzamingsmaatregelen geïdentificeerd waarmee het energielabel verbeterd zou kunnen worden. Per maatregel zijn de EI-verbetering (energielabel), investeringskosten en kosteneffectiviteit (€/0,01 EI verbetering) onderzocht, hiervoor wordt verwezen naar bijlage 2.

Aan de hand van de kosteneffectiviteit zijn de maatregelen gerangschikt en gecombineerd tot een pakket met quick-wins. Quick-wins zijn maatregelen die voor het referentiegebouw kosteneffectiever blijken te zijn dan het verduurzamen van de energieopwekkingsinstallatie. Voor elk referentiegebouw is een ander pakket met aanbevolen quick-wins samengesteld, omdat de eigenschappen van de gebouwen anders zijn (en soms zijn bepaalde verbetermaatregelen al toegepast). Het pakket met quick-wins is vervolgens als basis aangehouden om te onderzoeken wat de aanvullende maatregelen zijn om het energielabel van de referentiegebouwen te verbeteren naar label A en B. Dit wordt gedaan door verduurzaming van de energieopwekkingsinstallatie, waarbij de volgende (hoofd)oplossingen zijn onderzocht:

- Luchtwarmtepomp (hierna LWP).
- PV-panelen.
- TEO met WKO (Type 1) met pieklust gasketel.
- TEO zonder WKO (Type 2) met pieklust gasketel.

###### 4.1.2. Karspeldreef 16, Amsterdam

Het eerste bestaande referentiegebouw is een kantoorgebouw van de brandweer Amsterdam – Amstelland, gebouwd in 1990 en gerenoveerd in 2005. Het gebouw heeft een totale bruto vloeroppervlakte van 4.461 m<sup>2</sup>. Ongeveer 38% van de totale geveloppervlak is glas. Het huidige energielabel van het gebouw is D, met een energie-index van 1,37. Een aantal verduurzamingsmaatregelen is al toegepast in het gebouw, zoals warmteterugwinning (twincoil), aanwezigheidsdetectie en een toerenregeling van de ventilatie. Hierdoor heeft het gebouw in basis (al) een relatief goed energielabel. De invloed van alle 15 verduurzamingsmaatregelen op het gebouw is gegeven in bijlage 2.



Het pakket met voor dit gebouw aanbevolen quick-wins bestaat uit LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en daglichtschakeling in combinatie met een veegpulsschakelaar. Tabel 3 geeft een weergave van de aanvullende maatregelen om energielabel A of B te behalen. Daarnaast worden de investeringskosten en kosteneffectiviteit per pakket gepresenteerd. Ter verduidelijking is in Figuur 12 te zien wat het energielabel is bij een gegeven energie-index.

Indeling labels:

	A	B	C	D	E	F	G
Label							
Energie-Index	0,71 - 1,05	1,06 - 1,15	1,16 - 1,30	1,31 - 1,45	1,46 - 1,60	1,61 - 1,75	>1,75

Figuur 12: Energietabel schaal basismethode.

Tabel 3: Resultaten labelberekeningen Karspeldreef, Rotterdam (kleuren komen niet overeen met energielabelschaal).

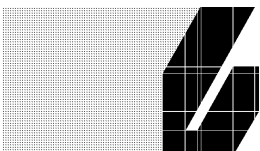
Concept	Energie Index	Energie Label	ΔEI	Investing	Kosteneffectiviteit
Basis	1,37	D	-	-	-
Quick-wins*	1,18	C	0,19	€ 76.000	4.000 € / 0,01 EI
Quick-wins + PV	1,10	B	0,27	€ 156.000	5.780 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP	1,08	B	0,29	€ 149.000	5.140 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP + PV	1,00	A	0,37	€ 229.000	6.190 € / 0,01 EI
Quick-wins + TEO + HR107	1,01	A	0,36	€ 220.000	6.110 € / 0,01 EI
Quick-wins + WKO + TEO + HR107	0,94	A	0,43	€ 274.000	6.370 € / 0,01 EI

\* LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en daglichtschakeling in combinatie met een veegpulsschakelaar.

Door uitsluitend de quick-wins toe te passen is het niet mogelijk om label B te behalen. Indien de quick-wins worden gecombineerd met een luchtwarmtepomp of PV-panelen, is wel een label B te behalen maar is het label A nog steeds niet haalbaar. Dit kan wel als de quick-wins worden gecombineerd met een TEO systeem met of zonder WKO. Indien er een energielabel A behaald moet worden, dan is het pakket quick-wins + TEO de meest kosteneffectieve optie. Met het pakket quick-wins + WKO + TEO kan de grootste verbetering van de energie-index worden behaald.

#### 4.1.3. Groene toren, Den Haag

Het tweede bestaande referentiegebouw is de Groene Toren te Den Haag, gebouwd in 1985 en gerenoveerd in 1994. Het gebouw wordt gebruikt als kantoor door PostNL en heeft een totale bruto vloeroppervlakte van 26.220 m<sup>2</sup>. Ongeveer 27% van de totale geveloppervlak is glas. Het huidige energielabel van het gebouw is G, met een energie-index van 1,95. Een verklaring voor het relatief minder goede energielabel is dat er ketels zijn toegepast voor verwarming met een relatief laag rendement (VR-ketel in combinatie met een CR-ketel). Ook zijn er relatief weinig verduurzamingsmaatregelen toegepast, alleen maar aanwezigheidsdetectie. De invloed van alle 15 verduurzamingsmaatregelen op het gebouw is gegeven in bijlage 2.



Het pakket met aanbevolen quick-wins bestaat uit toerenregeling, warmteterugwinning (warmtewiel), LED verlichting ( $6 \text{ W/m}^2$ ) en een veegpulsschakelaar. Tabel 4 geeft een weergave van de aanvullende maatregelen om energielabel A of B te behalen. Daarnaast worden de investeringskosten en kosteneffectiviteit per pakket gepresenteerd.

**Tabel 4: Resultaten labelberekeningen Groene Toren, Den Haag.**

Concept	Energie Index	Enerige Label	$\Delta EI$	Investing	Kosteneffectiviteit
Basis	1,95	G	-	-	-
Quick-wins*	1,15	B	0,80	€ 435.000	5.440 € / 0,01 EI
Quick-wins + PV	1,10	B	0,85	€ 680.000	8.000 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP	0,94	A	1,01	€ 948.000	9.390 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP + PV	0,89	A	1,06	€ 1.200.000	11.260 € / 0,01 EI
Quick-wins + TEO + HR107	0,88	A	1,07	€ 914.000	8.550 € / 0,01 EI
Quick-wins + WKO + TEO + HR107	0,81	A	1,14	€ 1.195.000	10.490 € / 0,01 EI

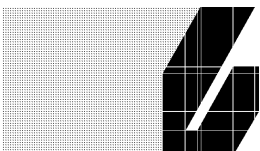
\* Toerenregeling, WTW (warmtewiel), LED verlichting ( $6 \text{ W/m}^2$ ) en een veegpulsschakelaar.

Door uitsluitend de quick-wins toe te passen is het al mogelijk om energielabel B te behalen. Het combineren van de quick-wins met het verduurzamen van de energieopwekkingsinstallatie biedt de mogelijkheid om energielabel A te behalen. Hierbij is de combinatie van quick-wins met TEO de meest kosteneffectieve optie. Het pakket met quick-wins en WKO + TEO behaalt de grootste energie-index verbetering.

#### 4.1.4. Laan op Zuid 45, Rotterdam

Het derde bestaande referentiegebouw is Laan op Zuid 45 te Rotterdam, gebouwd in 1995. Het gebouw wordt gebruikt als kantoor en heeft een totale bruto vloeroppervlakte van  $36.437 \text{ m}^2$ . Ongeveer 29% van de totale geveloppervlak is glas. Het huidige energielabel van het gebouw is F, met een energie-index van 1,62. Het ventilatiesysteem van het gebouw beschikt (al) over een toerenregeling. De invloed van alle 15 verduurzamingsmaatregelen op het gebouw is gegeven in bijlage 2.

Het pakket met aanbevolen quick-wins bestaat uit warmteterugwinning (warmtewiel), LED verlichting ( $6 \text{ W/m}^2$ ) en een daglichtregeling in combinatie met een veegpulsschakelaar. Tabel 5 geeft een weergave van de aanvullende maatregelen om energielabel A of B te behalen. Daarnaast worden de investeringskosten en kosteneffectiviteit per pakket gepresenteerd.



**Tabel 5: Resultaten labelberekeningen Laan op Zuid 45, Rotterdam.**

Concept	Energie Index	Energie Label	$\Delta EI$	Investing	Kosteneffectiviteit
Basis	1,62	F	-	-	-
Quick-wins*	1,11	B	0,51	€ 1.036.000	20.320 € / 0,01 EI
Quick-wins + PV	1,07	B	0,55	€ 1.307.000	23.760 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP	1,07	B	0,55	€ 1.850.000	33.640 € / 0,01 EI
Quick-wins + LWP + PV	1,04	A	0,58	€ 1.121.000	36.570 € / 0,01 EI
Quick-wins + TEO + stadsverwarming	1,02	A	0,60	€ 1.714.000	28.570 € / 0,01 EI
Quick-wins + WKO + TEO + stadsverwarming	0,94	A	0,68	€ 2.256.000	33.180 € / 0,01 EI

\* WTW (warmtewiel), LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en daglichtschakeling in combinatie met een veegpulsschakelaar.

Door uitsluitend de quick-wins toe te passen is het mogelijk om label B te behalen. Indien de quick-wins worden gecombineerd met een luchtwarmtepomp of PV-panelen, dan is het nog steeds niet mogelijk om een label A te behalen voor dit gebouw. Bij toepassing van een TEO systeem met of zonder WKO of een luchtwarmtepomp en PV-panelen is het mogelijk om label A te behalen. Hierbij is de combinatie van quick-wins met TEO zonder WKO de meest kosteneffectieve optie. Het pakket met WKO + TEO behaalt de grootste energie-index verbetering.

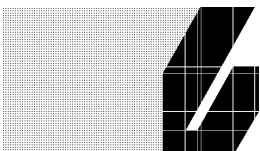
## 4.2. Fictieve standaardgebouwen

### 4.2.1. Basismethode

Met behulp van de resultaten van de bestaande referentiegebouwen zijn er labelberekeningen uitgevoerd voor diverse "standaard" RVB- en RWS-gebouwen (bouwperiode tussen 1985 en 1995). Dit zijn fictieve gebouwen met gebouweigenschappen die representatief zijn voor de kenmerken van de bestaande gebouwvoorraad van het RVB en RWS. Er zijn vijf gebouwgroottes beschouwd: 1.000 m<sup>2</sup>, 5.000 m<sup>2</sup>, 10.000 m<sup>2</sup>, 20.000 m<sup>2</sup> en 50.000 m<sup>2</sup> BVO. In bijlage 1 zijn de bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten van de standaardgebouwen weergegeven.

De meest kosteneffectieve verduurzamingsmaatregelen die naar voren zijn gekomen uit de labelberekeningen voor de drie bestaande referentiegebouwen, zijn gecombineerd tot een generiek pakket met quick-wins voor de standaardgebouwen. Het quick-wins pakket voor de standaardgebouwen van 5.000 m<sup>2</sup> tot en met 50.000 m<sup>2</sup> bestaat uit de volgende maatregelen: toerenregeling, veegpuls in combinatie met daglichtregeling, LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en aanwezigheidsdetectie. Warmteterugwinning (WTW) wordt meegenomen in de referentieberekening, omdat ervan uit is gegaan dat de luchtbehandelingskasten van de gebouwen rond 1990 vaak (a) voorzien zijn van een warmtewiel. Tevens wordt ervan uitgegaan dat de warmtelast ten gevolge van apparatuur de komende jaren door technologische vooruitgang zal afnemen van 15 naar 10 W/m<sup>2</sup> NVO.





Het quick-wins pakket voor het standaardgebouw van 1.000m<sup>2</sup> wijkt af van het pakket voor de grotere gebouwen. Het pakket voor kleine gebouwen bestaat uit de toepassing van veegpuls schakeling, LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en aanwezigheidsdetectie. Een overzicht van de quick-wins voor de standaardgebouwen is terug te vinden in bijlage 1.

Voor de verhouding van het verliesoppervlak van de gebouwen (gevels en dak) ten opzichte van het totale bruto vloeroppervlak, is uitgegaan van waarden die overeenkomen met de bestaande referentiegebouwen. Deze verhouding is circa 0,7 verliesoppervlak/bruto vloeroppervlak.

In Tabel 6 zijn de resultaten van de labelstudie weergegeven om alleen door middel van een duurzaam energie-opweksysteem het huidige energielabel te verbeteren.

In Tabel 7 zijn de resultaten weergegeven om middels quick-wins aangevuld met een duurzaam energie-opweksysteem het huidige energielabel te verbeteren.

**Tabel 6: Resultaten labelberekeningen standaard gebouw exclusief quick-wins**

Concept	1.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	5.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	10.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	20.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	50.000 m <sup>2</sup>	ΔEI
Referentie	1.42 (D)	-	1.55 (E)	-	1.56 (E)	-	1.61 (F)	-	1.66 (F)	-
2: LWP + E-ketel	1.49 (E)	-0.07	1.60 (E)	-0.05	1.60 (E)	-0.04	<i>(niet berekend)</i>			
2a: LWP + gasketel	1.25 (C)	0.17	1.43 (D)	0.12	1.44 (D)	0.12	<i>(niet berekend)</i>			
3/4: WKO + TEO/DK*** + gasketel	1.49 (E) **	-0.07	1.32 (D)	0.23	1.33 (D)	0.23	1.37 (F)	0.24	1.40 (D)	0.26
5: WKO + TEO + LWP	<i>(niet berekend)</i>		1.30 (C)	0.25	1.31 (D)	0.25	1.34 (F)	0.27	1.38 (D)	0.28
6: WKO + TEO (monovalent)	<i>(niet berekend)</i>		1.27 (C)	0.28	1.29 (C)	0.27	1.32 (F)	0.29	1.35 (D)	0.31
7: TEO + gasketel	1.17 (C)	0.25	1.38 (D)	0.17	1.39 (D)	0.17	1.43 (F)	0.18	1.47 (E)	0.19
8: TEO + LWP	1.14 (B)	0.28	1.35 (D)	0.20	1.37 (D)	0.19	1.41 (F)	0.20	1.44 (D)	0.22

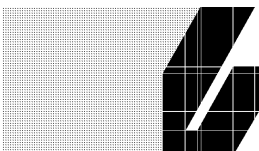
\* Toerenregeling, LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>), aanwezigheidsdetectie en veegpuls+daglichtregeling (geldt niet voor 1.000m<sup>2</sup>).

\*\* Gesloten bodemenergiesysteem bij 1.000 m<sup>2</sup>, met elektrische pieklastketel.

\*\*\* Zowel TEO als droge koeler variant in verband met limitaties in de labelmethodiek.

**Tabel 7: Resultaten labelberekeningen standaard gebouw inclusief quick-wins**

Concept	1.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	5.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	10.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	20.000 m <sup>2</sup>	ΔEI	50.000 m <sup>2</sup>	ΔEI
0: Ref. zonder quick-wins	1.42 (D)	-	1.55 (E)	-	1.56 (E)	-	1.61 (F)	-	1.66 (F)	-
1: Ref. met quick-wins*	1.22 (C)	0.20	1.14 (B)	0.41	1.13 (B)	0.43	1.17 (C)	0.44	1.22 (C)	0.44
2: LWP + E-ketel	1.29 (C)	0.13	1.19 (C)	0.36	1.18 (C)	0.38	<i>(niet berekend)</i>			
2a: LWP + gasketel	1.05 (A)	0.37	1.03 (A)	0.52	1.01 (A)	0.55	<i>(niet berekend)</i>			
3/4: WKO + TEO/DK*** + gasketel	1.29 (C) **	0.13	0.91 (A)	0.64	0.91 (A)	0.65	0.94 (A)	0.67	0.97 (A)	0.69



5: WKO + TEO + LWP	-	-	0.89 (A)	0.66	0.89 (A)	0.67	0.91 (A)	0.70	0.94 (A)	0.72
6: WKO + TEO (monovalent)	-	-	0.87 (A)	0.68	0.86 (A)	0.70	0.89 (A)	0.72	0.92 (A)	0.74
7: TEO + gasketel	0.97 (A)	0.46	0.96 (A)	0.59	0.95 (A)	0.61	0.99 (A)	0.62	1.02 (A)	0.64
8: TEO + LWP	0.92 (A)	0.50	0.94 (A)	0.61	0.93 (A)	0.63	0.96 (A)	0.65	1.00 (A)	0.66

\* Toerenregeling, LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>), aanwezigheidsdetectie en veegpuls+daglichtregeling (geldt niet voor 1.000m<sup>2</sup>).

\*\* Gesloten bodemenergiesysteem bij 1.000 m<sup>2</sup>, met elektrische pieklastketel (met pieklast gasketel resulteert label A).

\*\*\* Zowel TEO als droge koeler variant in verband met limitaties in de labelmethodiek.

Uit de tabellen hierboven blijkt dat het niet mogelijk is een energielabel A (en zelfs niet B) te halen door alleen de energieopwekkingsinstallatie te verduurzamen. Een combinatie met quick-wins is altijd nodig om energielabel A te behalen voor de vijf standaardgebouwen. Deze bevinding sluit aan op de Trias Energetica strategie: probeer eerst waar mogelijk het energieverbruik te verminderen en vervolgens duurzame bronnen te gebruiken voor energieopwekking.

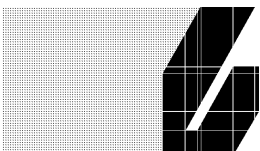
Verder blijkt het volgende uit de tabel:

- Voor de gebouwen 5.000 tot en met 50.000 m<sup>2</sup> BVO: energielabel A is te behalen door een toepassing van quick-wins in combinatie met TEO of WKO + TEO, onafhankelijk van de gekozen pieklastopwekker (met gas of elektriciteit).
- Voor gebouw grootte 1.000 m<sup>2</sup> BVO: energielabel A is haalbaar door de quick-wins met TEO (met pieklast gasketel) of quick-wins met TEO + LWP. Verder is een label A te behalen door bij concepten 2 en 3 de pieklast E-ketel te vervangen door een gasketel (zie concept 2a).
- Voor gebouw grootte 1.000m<sup>2</sup>: concept 8 met een pieklast E-ketel in plaats van een lucht-warmtepomp zou leiden tot een energielabel C, omdat een E-ketel in de huidige methodiek significant minder goed wordt gewaardeerd (zie volgende alinea). De toepassing van een lucht-waterwarmtepomp is significant duurder dan een E-ketel als pieklast opwekker, met name bij kleinere gebouwen. Derhalve is in het vervolg van de studie (alleen) voor 1.000m<sup>2</sup> uitgegaan van een E-ketel als pieklast opwekker bij concept 8.

### Het nut en de beperkingen van basismethode energielabel

Een opvallend resultaat is dat het energielabel van de standaardgebouwen zou verslechteren bij toepassing van variant 2: luchtwarmtepomp met pieklast elektrische ketel. Ter illustratie: wanneer variant 2a wordt doorgerekend met een gasketel als pieklastopwekker in plaats van een elektrische ketel zijn de resultaten zijn significant beter, zoals is te zien in Tabel 7. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het wel of niet toepassen van een elektrische ketel als pieklastopwekker.

Hetzelfde effect is zichtbaar in de varianten 3/4 en 8 van gebouw grootte 1.000 m<sup>2</sup> BVO. Met oog op de relatief kleine vermogensvraag van dit gebouw is er in deze varianten ook gebruik gemaakt van een elektrische ketel als pieklastopwekker (en niet van een luchtwarmtepomp) en daardoor scoren deze concepten slechter op het energielabel. In de huidige EPA-labelmethodiek wordt een elektrische pieklastopwekker relatief slecht gewaardeerd ondanks het kleine percentage van de warmtevraag dat er in de praktijk met de pieklastopwekker wordt geleverd.



Naar aanleiding van bovenstaande moet worden opgemerkt dat de huidige basismethodiek bedoeld is om op een “globale” manier het energielabel van gebouwen te bepalen, waarmee snel een idee wordt verkregen van het besparingspotentieel van een gebouw. Hoewel dit een goede basis indicatie geeft, heeft de basismethode zijn beperkingen. Eigenschappen van het gebouw en van de gebouwgebonden installaties kunnen niet heel nauwkeurig worden ingevoerd, waardoor het besparingspotentieel niet altijd een juiste representatie geeft van de werkelijkheid. De huidige basismethodiek is derhalve beperkt bruikbaar als vertrekpunt voor besluitvorming voor het Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat. Om de duurzaamheidsprestatie van een energieconcept nauwkeuriger te kunnen bepalen zouden ten minste de volgende aspecten in de wegging van de methodiek moeten kunnen worden meegenomen:

- De verhouding in aandeel energielevering per opwekker in een installatie met meerdere energieopwekkers.
- De invoer van (product)specifieke opwekkingsrendementen.
- Het specificeren van de gehanteerde methode van balansherstel bij WKO.
- Het gebruik van groene stroom.

#### 4.2.2. Detailmethode

Om de invloed van de quick-wins + WKO + TEO (met en zonder ketel) of quick-wins + TEO op het energielabel nauwkeuriger in kaart te brengen, is een berekening gemaakt met de detailmethode. De detailmethode is een EPC-berekening gebaseerd op de NEN 7120. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Tabel 8. Ter verduidelijking is in Figuur 13 te zien wat het energielabel is bij een gegeven  $E_{p,tot}/E_{p,admin}$ .

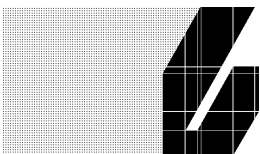
Label	A <sup>++++</sup>	A <sup>+++</sup>	A <sup>++</sup>	A <sup>+</sup>	A	B
$E_{p,tot}/E_{p,admin}$	$X < 0,30$	$0,30 < X < 0,65$	$0,65 < X < 1,00$	$1,00 < X < 1,15$	$1,15 < X < 1,35$	$> 1,35$

**Figuur 13: Energietabel schaal detailmethode.**

**Tabel 8: Labelberekening met detailmethode voor een 20.000 m<sup>2</sup> standaardgebouw.**

Concepten	$E_{p,tot}/E_{p,admin}$	Label
Quick-wins + TEO + gasketel	1,56	B
Quick-wins + WKO + TEO + gasketel	1,46	B
Quick-wins + WKO + TEO (monovalent)	1,44	B

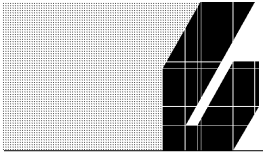
De berekening met de detailmethode resulteert voor de drie beschouwde verduurzamingsconcepten in een energielabel B. Ter vergelijking: uit de berekening van deze concepten volgens de basismethode resulteerde in alle gevallen in een energielabel A.



### 4.3. Resultaten labelstudie

Uit de studie naar verbetermaatregelen voor het energielabel van vijf “standaard” bestaande RVB- en RWS gebouwen (onderbouwd door de drie bestaande referentiegebouwen), zijn de volgende belangrijke punten naar voren gekomen:

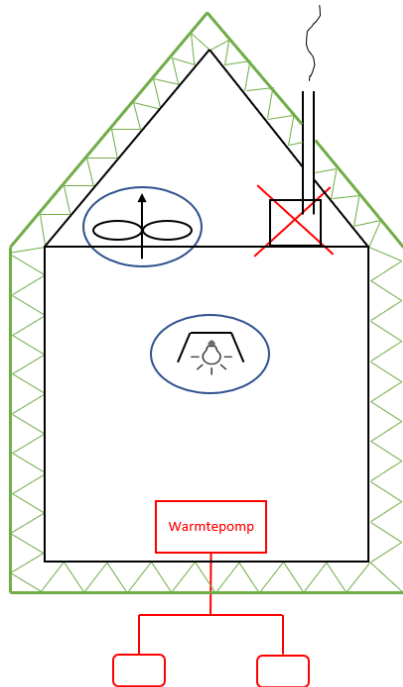
- In het algemeen kunnen de volgende vraagbesparende maatregelen als meest kosteneffectief worden beschouwd voor standaard RVB- en RWS gebouwen: toerenregeling (niet van toepassing voor 1.000 m<sup>2</sup>), veegpuls in combinatie met daglichtregeling (alleen veegpuls bij 1.000m<sup>2</sup>), LED verlichting (6 W/m<sup>2</sup>) en aanwezigheidsdetectie.
- Hoe groter het (standaard)gebouw, hoe hoger de energie-index (dus hoe lager/slechter het energielabel) in de basissituatie is. Daarentegen is te zien dat de impact van de verduurzamingsmaatregelen op de energie-index juist groter is bij een toenemende gebouwgroote.
- Door het toepassen van alleen de meest kosteneffectieve quick-wins, is het voor gebouwgroottes 5.000 m<sup>2</sup> en 10.000 m<sup>2</sup> BVO mogelijk om energielabel B te behalen. Voor de overige gebouwgroottes is hiermee niet beter dan energielabel C te behalen.
- Het is niet mogelijk om energielabel A te halen door alleen de energieopwekkingsinstallatie te verduurzamen. Een combinatie met quick-wins is altijd nodig om energielabel A te behalen. Voor het kleinste standaardgebouw (1.000 m<sup>2</sup> BVO) levert een combinatie van quick-wins met TEO (met pieklast gasketel of LWP) de grootste verbetering van de energie-index op. Voor de overige gebouwen is dit een combinatie van quick-wins met een WKO + TEO (monovalent). In het algemeen geldt voor deze gebouwgroottes dat met alle energieconcepten waarbij gebruik wordt gemaakt van TEO (al dan niet in combinatie met WKO) en de quick-wins, een energielabel A kan worden behaald.
- Zie Figuur 14 voor een indicatie van de energielabelsprongen die met verschillende ingrepen kunnen worden behaald.
- Het toepassen van variant 2: luchtwarmtepomp (in combinatie met een elektrische ketel of met een gasketel) is voor alle gebouwgroottes de minst gunstige variant. In combinatie met een gasketel wordt wel energielabel A behaald.
- De huidige basismethodiek voor energielabels is geschikt om op globale wijze het besparingspotentieel van een (bestaand) gebouw in beeld te krijgen. Omdat bepaalde kenmerken (van gebouw en installatie) niet (nauwkeurig) kunnen worden ingevoerd, geeft het resulterend besparingspotentieel niet altijd een juiste representatie van de werkelijkheid. Derhalve is de basismethode beperkt bruikbaar als vertrekpunt voor besluitvorming voor het Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat.
- Een A+-label kan alleen met de detailmethode berekend worden en is met bestaande bouw zeer moeilijk te behalen. Een verkennende labelberekening met de detailmethode laat zien dat voor drie standaardgebouwen (5.000, 20.000 en 50.000m<sup>2</sup>) ‘slechts’ energielabel B behaald kan worden, terwijl de basismethode in een energielabel A resulteerde. In werkelijkheid zouden deze bestaande gebouwen toch label A krijgen omdat bij een dergelijke uitkomst het resultaat van de basismethode aangehouden mag worden.



RVD-102X1-E-SAA002D

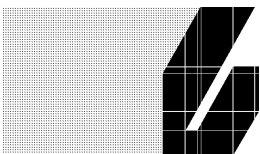
6 december 2018

blad 29 van 46



Referentie + Quick-wins  $\leq$  label B/C  
Opwrekking --> Label A  
Schil isolatie --> Label A+

**Figuur 14: Schematische weergave van de algemene invloed van verschillende ingrepen op het energielabel.**



## 5. Haalbaarheidsberekening met WKO-tool

### 5.1. **Methodiek**

De WKO-tool is een softwareprogramma in MS Excel dat in 2010 door Techniplan en Adviseurs en Tauw ontwikkeld is in opdracht van de (toenmalige) Rijksgebouwendienst, en tegenwoordig door ISSO wordt beheerd en uitgegeven. Het doel van dit programma is om (onder meer) de haalbaarheid van een WKO project op een eenvoudige en eenduidige wijze te berekenen. De invoer van de WKO-tool bestaat uit bouwkundige gebouweigenschappen, installatie-eigenschappen en gebruikerseigenschappen van het gebouw.

Voor deze studie is het standaard gebouw inclusief quick-wins conform de uitgangspunten van bijlage 1 ingevoerd. De haalbaarheid van een TEO installatie wordt beschouwd in de situatie na het toepassen van andere verbetermaatregelen die kosten-efficiënter zijn.

Met behulp van uurlijkse klimaatgegevens van een heel jaar worden onder andere de benodigde energievraag en de op te stellen vermogens van installaties voor warmte en koude berekend. Met behulp van de uurlijkse klimaatgegevens (ook oppervlaktewatertemperatuur) worden de seizoenrendementen van de warmtepompen berekend, waardoor een onderbouwde schatting kan worden gemaakt van het energieverbruik. Deze berekeningen worden voor de vijf gebouwgroottes uitgevoerd. Per gebouwgrootte worden negen concepten doorgerekend voor opwekking van warmte en koude (zie paragraaf 2.3).

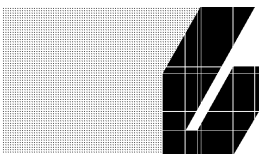
Per situatie worden de benodigde installatieconcepten en de onderhouds- en beheerskosten geraamd. Hieruit volgt de benodigde informatie om het BEI-model van het RVB in te vullen. Het BEI-model berekent met standaard uitgangspunten van het RVB (bijvoorbeeld disconteringsvoet en tarieven) de bijbehorende terugverdientijd en CO<sub>2</sub>-besparing.

Navolgend wordt een aantal belangrijke uitgangspunten voor de haalbaarheidsberekeningen toegelicht, voordat de resultaten worden gepresenteerd.

### 5.2. **Onderhoud en beheer**

De in de haalbaarheidsstudie aangehouden exploitatiekosten van de energiesystemen bestaan uit energiekosten en kosten voor onderhoud en technisch beheer van de installaties. Voor onderhoud van de installaties wordt uitgegaan van preventief, correctief en curatief onderhoud.

- Preventief onderhoud: Het zorgdragen voor een goede werking van de installaties, met als doel: het voorkomen van storingen en achterstallig onderhoud. Tot preventief onderhoud worden gerekend:
  - \* Inspecties;
  - \* Periodiek of dagelijks onderhoud;
  - \* Klein materiaal of verbruiksmateriaal;
  - \* Toestandafhankelijk onderhoud (o.b.v. geconstateerde onvolkomenheden);
  - \* Gebruiksafhankelijk onderhoud (afhankelijk van gebruikswijze);



- \* Groot onderhoud/revisie.
- Correctief onderhoud: Indien tijdens het uitvoeren van onderhoudswerk blijkt dat bepaalde onderdelen niet goed functioneren en reparatie of vervanging van deze onderdelen wenselijk of noodzakelijk is, spreekt men van correctief onderhoud. Tot correctief onderhoud worden gerekend:
  - \* Het opheffen van storingen aan de installatie;
  - \* Het repareren van defecten, lekkages en beschadigingen.
- Curatief onderhoud (storingsonderhoud): Het uitvoeren van niet geplande werkzaamheden met als doel storingen zo snel mogelijk op te heffen teneinde de hinder die de gebruiker ondervindt te verhelpen en verdere gevolgschade te voorkomen. Tot curatief onderhoud worden gerekend:
  - \* Behandelen van storingsmeldingen of technische klachten van de opdrachtgever of gebruiker;
  - \* Het opheffen van storingen aan de installatie;
  - \* Het repareren van defecten, lekkages en beschadigingen.

In de jaarlijkse onderhoudskosten wordt vervangingsonderhoud in deze studie niet meegenomen. Benodigde vervangingsinvesteringen worden meegenomen als eenmalige herinvestering na 20 jaar.

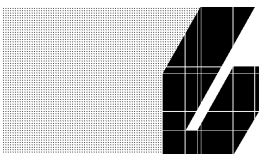
Onder technisch beheer wordt verstaan dat erop wordt toegezien dat de installatie (milieu)technisch, energetisch en economisch optimaal functioneert. Tot technisch beheer wordt gerekend:

- Energiemanagement met bijbehorende rapportages;
- Bronmanagement met bijbehorende rapportages.

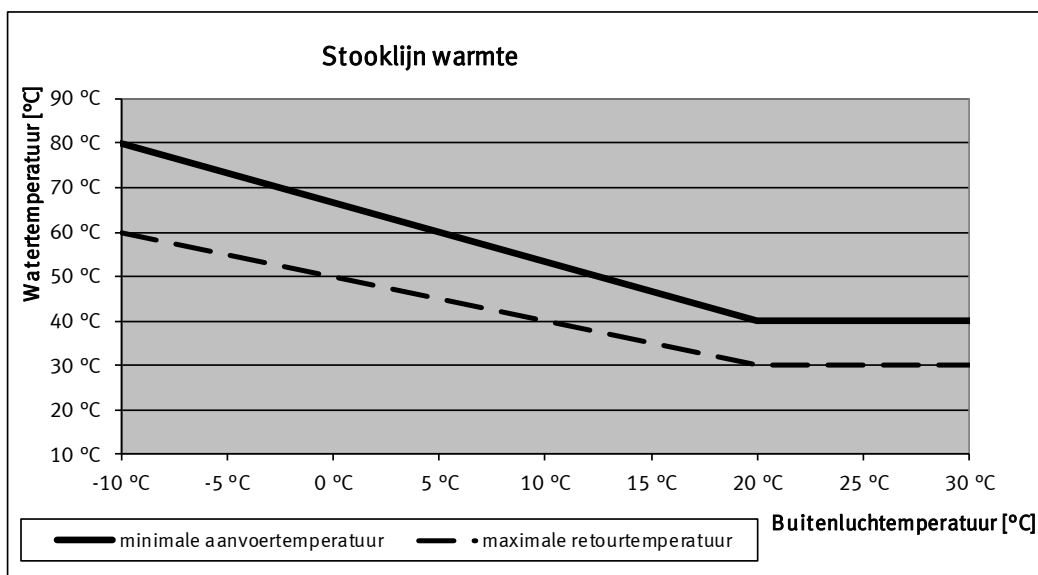
### 5.3. Temperaturen voor verwarming en koeling

De meeste bestaande gebouwen van RWS en het RVB hebben hoge temperatuur afgiftesystemen verwarming en lage temperatuur afgiftesystemen voor koeling. De stooklijnen die daarbij doorgaans gebruikt worden zijn weergegeven in Figuur 15 en Figuur 16.

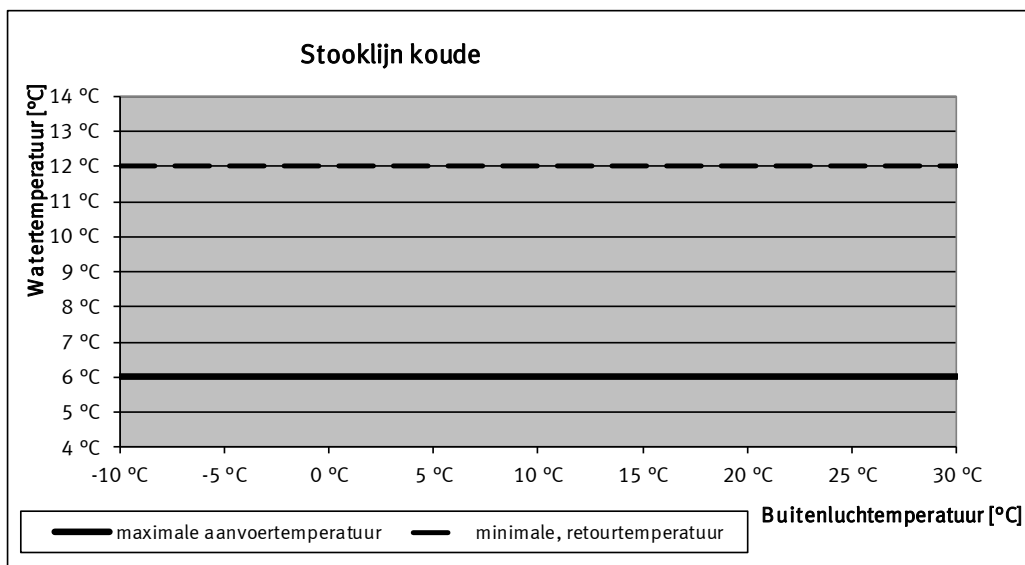
Voor het rendement van warmtepompen is het van belang om de aanvoertemperaturen voor verwarming zo laag mogelijk te kiezen, daarom moet worden gezocht naar optimalisatie van de huidige hoge temperatuurtrajecten. Bij koude geldt dat het voordeliger is om (bij duurzame energie concepten) te werken met hoge temperatuur trajecten. In de energieberekeningen is daarom uitgegaan van aangepaste stooklijnen voor warmte en koude. De aangepaste stooklijnen zijn weergegeven in Figuur 17 en Figuur 18. Het wordt mogelijk geacht om de aangepaste stooklijnen toe te passen in de bestaande afgiftesystemen. Hiervoor zijn beperkte aanpassingen noodzakelijk aan de luchtbehandelingskasten (het koppelen van verwarmings- en koelbatterij tot een change-over batterij) zodat deze kunnen worden gevoed met respectievelijk lage temperatuur warmte en hoge temperatuur koude. Uitgangspunt is dat er alleen wordt gekoeld met de toevoerlucht (geen lokale koeling). Verder wordt ervan uitgegaan dat de lokale warmteafgiftesystemen doorgaans overgedimensioneerd zijn, maar niet (kunnen) worden vervangen. Hierdoor moet de opwekkingsinstallatie in pieklast situaties nog steeds een hoge aanvoertemperatuur van 80°C



kunnen leveren. Voor de grotere vermogens (bij grotere gebouwen) is het mogelijk om met een warmtepomp te verwarmen tot ca. 75 °C en bij de kleinere vermogens is het nodig om met twee trappen deze temperatuur te bereiken. De pieklastopwekker verwarmd verder tot 80 °C. De resultaten in de volgende paragraaf gelden derhalve voor bestaande gebouwen waarbij de afgiftesystemen beperkt (kunnen) worden aangepast naar een laag temperatuurniveau.

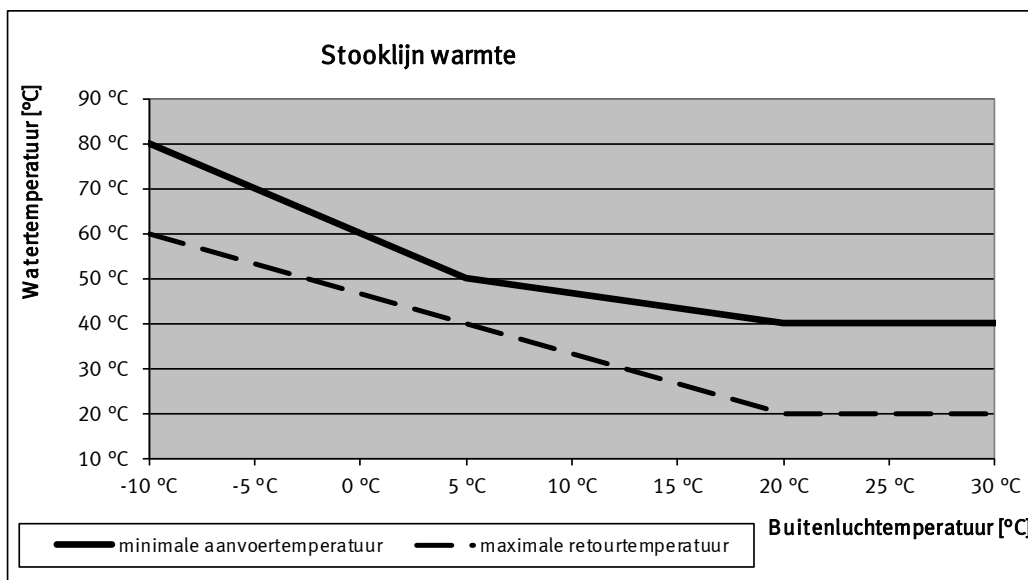
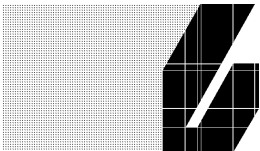


Figuur 15: Stooklijn warmte in standaard gebouw.

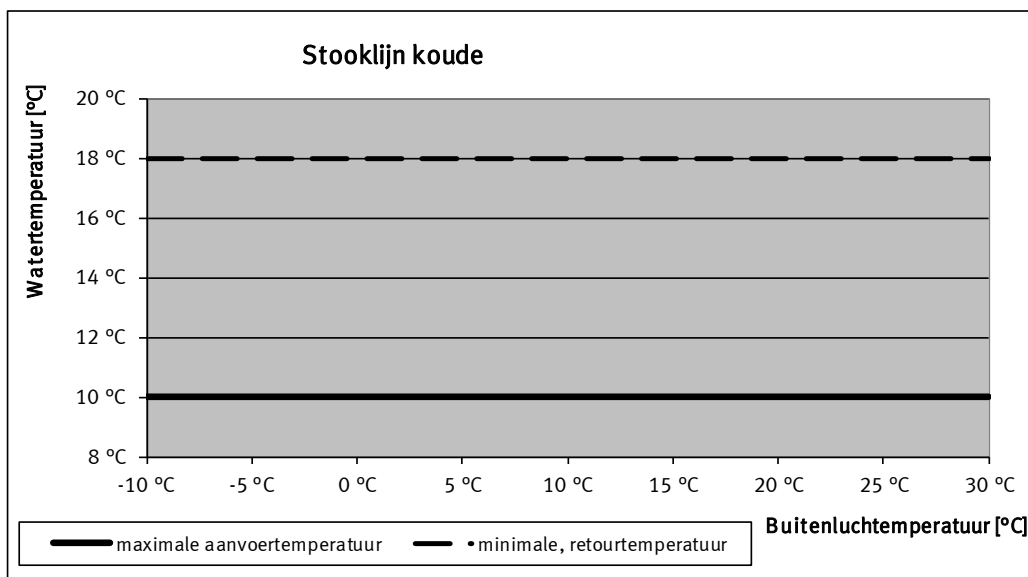


Figuur 16: Stooklijn koude in standaard gebouw.





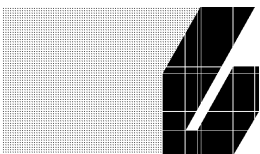
Figuur 17: Aangepaste stooklijn warmte bij toepassing van duurzaam energie concept.



Figuur 18: Aangepaste stooklijn koude bij toepassing van duurzaam energie concept.

#### 5.4. Resultaten

De resultaten van de haalbaarheidsberekeningen zijn samengevat in tabellen. Per gebouwgroote wordt in één tabel weergegeven wat per concept de meer-investering is per m<sup>2</sup> en de daarbij behorende terugverdiëntijd in jaren. Daarnaast wordt ook per concept weergegeven wat de besparing van CO<sub>2</sub>-uitstoot is, vergeleken met het standaard gebouw zonder quick-wins. Dit is de besparing op de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het gebouw, dus voor elektra- én gasverbruik. Alleen door



toepassen van de quick-wins wordt al een significante CO<sub>2</sub>-besparing gerealiseerd (uitgaande van grijze stroom), doordat er minder elektra nodig is voor verlichting en apparatuur e.d. Maar bij het toepassen van de quick-wins is het gasverbruik iets hoger, daardoor is de CO<sub>2</sub>-besparing negatief wanneer uitgegaan wordt van groene stroom. In de middelste kolom met CO<sub>2</sub> besparingen wordt de besparing weergegeven ten opzichte van het concept mét quick-wins. De energieconcepten 2 t/m 8 zijn berekend inclusief quick-wins. Ter verduidelijking is in Figuur 19 te zien wat het energielabel is bij een gegeven energie-index, zodat de energielabel resultaten in de tabellen goed te interpreteren zijn.

Indeling labels:

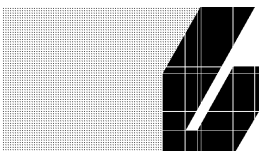
	A	B	C	D	E	F	G
Label							
Energie-Index	0,71 - 1,05	1,06 - 1,15	1,16 - 1,30	1,31 - 1,45	1,46 - 1,60	1,61 - 1,75	>1,75

**Figuur 19: Energietabel schaal**

**Tabel 9: Resultaten haalbaarheid standaard gebouw 1.000 m<sup>2</sup>.**

1.000 m <sup>2</sup>	Energie Label	Meer investering	TVT (BEI)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing incl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (grijze stroom)
0: Ref. zonder quick-wins	1.42 (D)	-	-	referentie		referentie
1: Ref. met quick-wins*	1.22 (C)	referentie		-10 %	referentie	28 %
2: LWP + E-ketel*	1.29 (C)	€ 102 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	11 %
3a: BWP + E-ketel*	1.29 (C)	€ 151 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	100 %	100 %	10 %
4						
5						
6						
7: TEO + gasketel*	0.97 (A)	€ 205 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	91 %	91 %	16 %
8: TEO + LWP*	1.20 (C)	€ 227 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	100 %	100 %	8 %

\* Inclusief quick-wins: LED verlichting, veegpulsschakeling, aanwezigheidsdetectie



**Tabel 10: Resultaten haalbaarheid standaard gebouw 5.000 m<sup>2</sup>.**

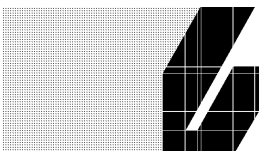
5.000 m <sup>2</sup>	Energie Label	Meer investering	TVT (BEI)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing incl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (grijze stroom)
0: Ref. zonder quick-wins	1.55 (E)	-	-	referentie		referentie
1: Ref. met quick-wins*	1.14 (B)	referentie		-17 %	referentie	28 %
2: LWP + E-ketel*	1.19 (C)	€ 62 / m <sup>2</sup>	19 jaar	100 %	100 %	17 %
3: WKO + DK + gasketel*	0.91 (A)	€ 52 / m <sup>2</sup>	19 jaar	82 %	84 %	30 %
4: WKO + TEO + gasketel*	0.91 (A)	€ 61 / m <sup>2</sup>	20 jaar	82 %	84 %	31 %
5: WKO + TEO + LWP*	0.89 (A)	€ 105 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	26 %
6: WKO + TEO (mono)*	0.87 (A)	€ 125 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	100 %	100 %	28 %
7: TEO + gasketel*	0.96 (A)	€ 46 / m <sup>2</sup>	18 jaar	71 %	75 %	31 %
8: TEO + E-ketel*	0.94 (A)	€ 109 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	100 %	100 %	27 %

\* Inclusief quick-wins: toerenregeling, LED verlichting, veegpulsschakeling en daglichtregeling, aanwezigheidsdetectie

**Tabel 11: Resultaten haalbaarheid standaard gebouw RVB 10.000 m<sup>2</sup>.**

10.000 m <sup>2</sup>	Energie Label	Meer investering	TVT (BEI)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing incl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (grijze stroom)
0: Ref.	1.56 (E)	-	-	referentie		referentie
1: Ref. + quick-wins*	1.13 (B)	referentie		-17 %	referentie	28 %
2: LWP + E-ketel*	1.18 (C)	€ 42 / m <sup>2</sup>	16 jaar	100 %	100 %	18 %
3: WKO + DK + gasketel*	0.91 (A)	€ 47 / m <sup>2</sup>	14 jaar	89 %	90 %	30 %
4: WKO + TEO + gasketel*	0.91 (A)	€ 50 / m <sup>2</sup>	13 jaar	89 %	90 %	31 %
5: WKO + TEO + LWP*	0.89 (A)	€ 96 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	30 %
6: WKO + TEO (mono)*	0.86 (A)	€ 92 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	29 %
7: TEO + gasketel*	0.95 (A)	€ 50 / m <sup>2</sup>	15 jaar	72 %	76 %	31 %
8: TEO + E-ketel*	0.93 (A)	€ 96 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	28 %

\* Inclusief quick-wins: toerenregeling, LED verlichting, veegpulsschakeling en daglichtregeling, aanwezigheidsdetectie



**Tabel 12: Resultaten haalbaarheid standaard gebouw RVB 20.000 m<sup>2</sup>.**

20.000 m <sup>2</sup>	Energie Label	Meer investering	TVT (BEI)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing incl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (grijze stroom)
0: Ref. zonder quick-wins	1.61 (F)	-	-	referentie		referentie
1: Ref. met quick-wins*	1.17 (C)	referentie		-4 %	referentie	28 %
2: LWP + E-ketel*						
3: WKO + DK + gasketel*	0.94 (A)	€ 30 / m <sup>2</sup>	15 jaar	88 %	90 %	30 %
4: WKO + TEO + gasketel*	0.94 (A)	€ 21 / m <sup>2</sup>	14 jaar	88 %	90 %	32 %
5: WKO + TEO + LWP*	0.91 (A)	€ 71 / m <sup>2</sup>	21 jaar	100 %	100 %	31 %
6: WKO + TEO (mono)*	0.89 (A)	€ 67 / m <sup>2</sup>	20 jaar	100 %	100 %	30 %
7: TEO + gasketel*	0.99 (A)	€ 15 / m <sup>2</sup>	14 jaar	71 %	76 %	31 %
8: TEO + E-ketel*	0.96 (A)	€ 77 / m <sup>2</sup>	ca.30 jaar	100 %	100 %	28 %

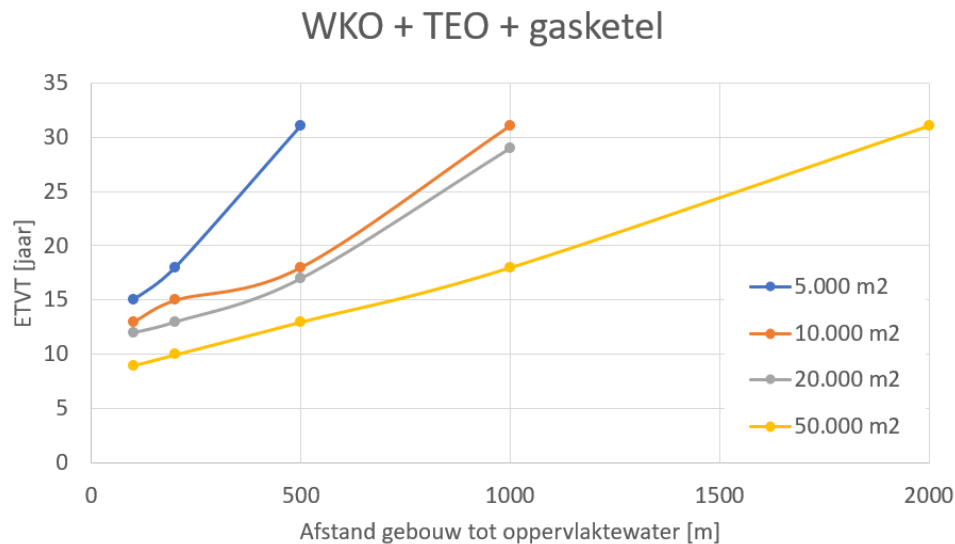
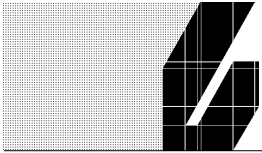
\* Inclusief quick-wins: toerenregeling, LED verlichting, veegpulschakeling en daglichtregeling, aanwezigheidsdetectie

**Tabel 13: Resultaten haalbaarheid standaard gebouw RVB 50.000 m<sup>2</sup>.**

50.000 m <sup>2</sup>	Energie Label	Meer investering	TVT (BEI)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing incl. QW (groene stroom)	CO <sub>2</sub> -besparing excl. QW (grijze stroom)
0: Ref. zonder quick-wins	1.61 (F)	-	-	referentie		referentie
1: Ref. met quick-wins*	1.17 (C)	referentie		-25 %	referentie	28 %
2: LWP + E-ketel*						
3: WKO + DK + gasketel*	0.94 (A)	€ 10 / m <sup>2</sup>	12 jaar	88 %	90 %	31 %
4: WKO + TEO + gasketel*	0.94 (A)	€ 7 / m <sup>2</sup>	11 jaar	88 %	90 %	32 %
5: WKO + TEO + LWP*	0.91 (A)	€ 48 / m <sup>2</sup>	21 jaar	100 %	100 %	31 %
6: WKO + TEO (mono)*	0.89 (A)	€ 46 / m <sup>2</sup>	20 jaar	100 %	100 %	30 %
7: TEO + gasketel*	0.99 (A)	€ 6 / m <sup>2</sup>	12 jaar	71 %	76 %	31 %
8: TEO + E-ketel*	0.96 (A)	€ 56 / m <sup>2</sup>	>30 jaar	100 %	100 %	29 %

\* Inclusief quick-wins: toerenregeling, LED verlichting, veegpulschakeling en daglichtregeling, aanwezigheidsdetectie

Bovenstaande resultaten gelden bij een afstand van 100 meter tussen het gebouw en het oppervlaktewater. In de figuur op de volgende pagina is de afhankelijkheid weergegeven van de (eenvoudige) terugverdientijd voor de afstand van het gebouw tot het oppervlaktewater, voor concept 4 WKO+TEO+gasketel.

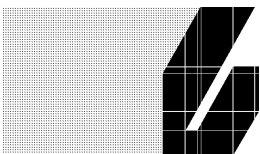


**Figuur 20: Invloed van de afstand tot water op de (eenvoudige) terugverdientijd van WKO+TEO.**

### 5.5. Financiële optimalisatie

Bij de onderzochte 'gasloze' energieconcepten is in de meeste gevallen gekozen voor een luchtwarmtepomp als pieklastopwekker (met uitzondering van het 1.000m<sup>2</sup> gebouw). Op dit moment zijn er geen commerciële luchtwarmtepompen die de benodigde hoge temperatuurniveaus bij pieklast verwarming 80°C) direct kunnen opwekken. In de studie is uitgegaan van luchtwarmtepompen die warmte met relatief hoge temperaturen kunnen maken (ca. 75 °C) of voor een combinatie van een luchtwarmtepomp en een boosterwarmtepomp (step-up); momenteel nog een relatief kostbare oplossing. De investeringskosten voor een luchtwaterwarmtepomp zijn relatief hoog terwijl het aantal draaiuren klein is.

De all-electric systeemconcepten zijn financieel te optimaliseren door (deels aanvullend) een elektrische ketel toe te passen als pieklast opwekker in plaats van een luchtwaterwarmtepomp. Omdat elektrische ketels slecht worden gewaardeerd in de huidige EPA-methodiek, zal dit een negatief effect hebben op de labelsprong.



## 6. Relatie tussen TEO en de waterkwaliteit (Deltares)

Deltares is gevraagd bij te dragen aan deze studie naar de mogelijkheden van Thermische Energieopwekking uit Oppervlaktewater (TEO) als energiebron voor gebouwen van Rijkswaterstaat. Deltares neemt hierin voor haar rekening de thermische effecten in het oppervlaktewater, en mogelijke waterkwaliteits- en ecologische effecten. De bijdrage van Deltares is in twee stappen tot stand gekomen:

- Eerste stap: het onderzoeken van de (thermische en ecologische) effecten van WKO+TEO (Type 1) en TEO (Type 2) voor gebouwgroottes 5.000, 20.000 en 50.000 m<sup>2</sup> BVO. In de rapportage hierover door Deltares is o.m. de werkwijze beschreven (die ook bij de tweede stap is gehanteerd), zie bijlage 5a.
- Tweede stap: het aanvullend onderzoeken van de thermische effecten van WKO+TEO (Type 1) en TEO (Type 2) voor gebouwgroottes 1.000 en 10.000 m<sup>2</sup>. Deltares heeft de resultaten van de aanvullende berekeningen opgenomen in een memo (zie bijlage 5b), waarin onder meer een nieuw overzicht is gegeven dat geldt voor alle gebouwgroottes. Daarnaast heeft Deltares ook een aanzet gegeven voor het bepalen van het risico op belemmeringen voor TEO installaties door aangroei van mosselen of door draadalgren (zie bijlage 6 en paragraaf 6.2).

Dit hoofdstuk is een samenvatting van de belangrijkste bevindingen van Deltares (verder wordt verwezen naar bijlagen 5 en 6).

### 6.1. Effecten van Thermische energie uit oppervlaktewater op de waterkwaliteit

Er bestaat momenteel een beleidskader voor het afwegen van de risico's van warmwaterlozingen (CIW, 2000). Naar aanleiding daarvan is door RWS een rekentool ontwikkeld voor stromende wateren. Voor koudelozingen en voor stilstaande wateren is geen (snelle) rekentool beschikbaar. Deltares heeft daarom voor stilstaande wateren zelf een quick scan-methode ontwikkeld op basis van het evenwichtsprincipe.

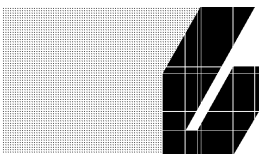
Er zijn zes typische situaties in watersystemen gedefinieerd waarvoor verschillende typen TEO-installaties zijn doorgerekend. Bestaande TEO-installaties en resultaten van gedetailleerde modelberekeningen aan warmte- en koudelozingen worden vergeleken met de uitkomsten van de RWS-rekentool en de quick scan-methode.

#### 6.1.1. Methode

In samenwerking met Techniplan Adviseurs is een schema opgesteld voor het doorrekenen van de effecten. Dit betreft twee typen TEO-installatie (Type 1 en Type 2; zie paragraaf 2.3) met verschillende warmtevraag (op basis van bruto vloeroppervlakte: 5 gebouwgroottes).

Voor stromend water is gebruik gemaakt van de RWS-rekentool voor de effecten van warmte-lozingen volgens de CIW-methodiek. Voor stromend water zijn de volgende watertypen doorgerekend:

- Groot stromend water (rivier);
- Klein stromend water (beek/riviertje);



- Haven aan groot stromend water;
- Haven aan klein stromend water;

Voor stilstaand water is uitgegaan van een evenwichtsbenadering: binnen het systeem dient de inname temperatuur gelijk te zijn aan de referentietemperatuur. Voor stilstaand water zijn de volgende watertypen doorgerekend:

- Kanaal (groot stilstaand water);
- Slootsysteem (klein stilstaand water).

### 6.1.2. Resultaten

In Tabel 14 worden de resultaten over de invloed van TEO op de waterkwaliteit samengevat, voor uitgebreide resultatentabellen wordt verwezen naar bijlage 6b.

**Tabel 14: Samenvatting van effecten van TEO-installaties met verschillende omvang (zowel Type 1 en Type 2) op de waterkwaliteit in zes verschillende type watersystemen.**

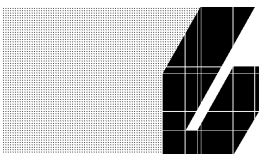
Watertype	Samenvatting
Groot stromend water	TEO-installaties voor kleine en grote gebouwen mogelijk zonder ecologisch risico.
Klein stromend water	TEO-installaties voor kleine en grote gebouwen mogelijk zonder ecologisch risico.
Haven aan groot stromend water	TEO-installaties voor kleine en grote gebouwen mogelijk zonder ecologisch risico.
Haven aan klein stromend water	Zeer beperkt TEO-installaties mogelijk; beperking door grote kans op rondstromen/kortsluiting door geringe menging.
Groot stilstaand water	TEO-installaties voor kleine en middelgrote gebouwen mogelijk zonder ecologisch risico; bij grote TEO-installaties dient nader onderzoek gedaan te worden naar de menging van het watersysteem.
Klein stilstaand water	Zeer beperkt TEO-installaties mogelijk; beperking door grote kans op rondstromen/kortsluiting door de geringe omvang van het watersysteem.

De risico's van biologische effecten als gevolg van het eventueel chemisch reinigen door middel van het toevoegen van hulpstoffen moet apart geëvalueerd worden met daarvoor ontworpen tools zoals de Immissie-Emissietoets ([www.immissietoets.nl](http://www.immissietoets.nl)).

### 6.1.3. Conclusies

Op basis van de in deze studie uitgevoerde analyse kunnen de volgende belangrijkste conclusies worden getrokken:

- Op basis van de RWS-rekentool kunnen kwantitatieve schattingen gemaakt worden van het effect van TEO-installaties op de watertemperatuur van *stromende wateren*.



- De bestudeerde TEO-installaties (combinatie van vloeroppervlak en TEO-type) geven volgens de huidige berekeningsmethoden zeer waarschijnlijk geen significante thermische effecten op (havens aan) grote stromende wateren en bij gebouwen van 20.000m<sup>2</sup> of kleiner aan grote stilstaande wateren. Bij toepassing van TEO installaties in havens van kleine stromende wateren en in kleine stilstaande wateren is nader (uitgebreid) projectspecifiek onderzoek nodig naar de effecten op de waterkwaliteit voordat TEO kan worden toegepast vanwege mogelijk risico op rondstroming/kortsluiting en/of een relatief grote temperatuurverandering.
- De RWS-rekentool rekent met een homogene verdeling van de temperatuur over de waterkolom. De tool is daardoor ongeschikt (en ook niet ontworpen) voor het doorrekenen van de effecten van koudelozingen waarbij thermische gelaagdheid in het oppervlaktewater een belangrijk aspect is. Mogelijk kan deze tool hier wel voor worden aangepast.
- De in deze studie toegepaste evenwichtsbenadering voor *stilstaande wateren* (voor zowel warmte- als koudelozingen) geeft een orde van grootte schatting van de mogelijke toepassing van TEO-installaties op verschillende typen wateren. Volgens deze methode kunnen Type 1 TEO-installaties en Type 2 kleine en middelgrote TEO-installaties mogelijk zonder significante thermische effecten op grote kanalen worden toegepast. Voorwaarde daarbij is voldoende afstand tussen inname- en lozingspunt. Voor slootssystemen volgt uit het toepassen van de evenwichtsbenadering dat er geen ruimte is voor grote en middelgrote TEO-installaties.
- Voor grote stromende wateren zijn de ecologische effecten verwaarloosbaar, vanwege het zeer waarschijnlijk niet optreden van significante thermische effecten. Voor de overige situaties geldt dat op dit moment dat de onzekerheden in de berekeningen van de thermische effecten zo groot zijn, dat ecologische effecten niet op voorhand uitgesloten kunnen worden.

#### 6.1.4. Aanbevelingen

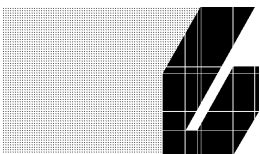
Voor het goed in kaart brengen van de thermische effecten van warmte- en koudelozingen wordt aanbevolen de berekeningsmethodiek te verbeteren, door:

- Het controleren van de RWS-rekentool ontworpen voor warmtelozingen, het verbeteren van de documentatie van de RWS tool en het checken van de berekening van uitwisseling met de lucht en het optreden van recirculatie.
- Een methode te ontwikkelen voor het goed schatten van de effectieve  $\Delta T$  bij koudelozingen voor gebruik in een scanningstool.

Daarnaast wordt aanbevolen om:

- De evenwichtsbenadering voor stilstaande wateren verder uit te werken en een methode te ontwikkelen voor een betere schatting van het effectieve oppervlak waarover uitwisseling met de atmosfeer plaatsvindt voor gebruik in een scanningstool.
- De resultaten van de RWS-rekentool te toetsen aan resultaten van modelberekeningen om het toepassingsgebied (wanneer is het wel en wanneer niet toepasbaar) en de betrouwbaarheid beter in beeld te krijgen.
- Een methodiek te ontwikkelen die de thermische effecten, ecologische effecten en chemische effecten combineert tot één oordeel over het toepasbaar zijn van een TEO-installatie.





## 6.2. Belemmeringen voor TEO door aangroei van mosselen en door draagalgen

Uit praktijkervaringen met installaties die in aanraking komen met oppervlaktewater, blijkt dat (onder meer) de volgende twee fenomenen het gebruik van oppervlaktewater zouden kunnen hinderen:

- Aangroei van mosselen in het leidingwerk en/of de warmtewisselaars.
- Sterke groei van filamenteuze draadalgen (drijvende algenlagen).

### 6.2.1. Aangroei van mosselen

#### **Resultaten**

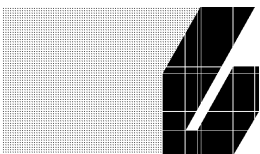
Deltares heeft in bijlage 6a tolerantieranges gegeven van factoren die de vestiging van zoetwatermosselen sturen (te weten: de watertemperatuur, stroomsnelheid, diepte, droogval, zuurstof, saliniteit, zuurgraad, calcium en fosfaat). Voor mosselsoorten in zout water zijn geen tolerantieranges opgegeven. De kans op aangroei van mosselen hangt enerzijds af van bovengenoemde omstandigheden, anderzijds van aanvoer van mossellarven.

#### **Conclusies en aanbevelingen**

Of sprake is van een verhoogde kans op aangroei van mosselen in een TEO installatie zal locatiespecifiek ter plaatse moeten worden vastgesteld.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van aangroei van mosselen zijn:

- Aangroei van mosselen kan worden tegengegaan door:
  - \* De stroomsnelheid in de leidingen hoog te houden.
  - \* De binnenkant van de buizen zeer glad te maken d.m.v. coatings.
  - \* Hoeken in de leidingen te vermijden.
  - \* De aanvoer van mossellarven te verminderen door middel van microzeven.
  - \* Chemische bestrijdingsmethoden.
- Wanneer sprake is van een verhoogd risico op aangroei van mosselen kan men hier bij het ontwerp en gebruik van een TEO-installatie inspelen door bijvoorbeeld:
  - \* De dimensionering van leidingen aan te passen zodat grotere stroomsnelheden in de leidingen optreden.
  - \* Een zo kort mogelijke afstand tussen het waterinnamepunt en de TEO warmtewisselaar aan te houden: hierdoor is minder oppervlak voor aangroei beschikbaar.
  - \* Het periodiek droogzetten van aanvoerleidingen: aangroei sterft hierdoor af waarna mechanische bestrijding deze gemakkelijker kan verwijderen.
  - \* Eventueel dubbel aanleggen van leidingsystemen voor afwisselend gebruik: de aangroei kan in een jonger stadium (en waarschijnlijk gemakkelijker) mechanisch en/of thermisch verwijderd worden.
- De aangroei van mosselen kan worden verwijderd door:
  - \* Mechanische bestrijding.
  - \* Thermische bestrijding.



## 6.2.2. Draadalgen

### **Resultaten**

In bijlage 6b worden door Deltares factoren benoemd die bepalend zijn voor de ontwikkeling van draadalgen en flab in stromend en stilstaand oppervlaktewater (te weten: licht en temperatuur, nutriënten, expositie op de wind en golfslag, graas door vogels en andere diergroepen).

In de verkenning is alleen gekeken naar drijvende draadalgen (flab), niet naar bentische (in en op de bodem) of zwevende draadalgen.

### **Conclusies en aanbevelingen**

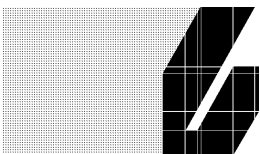
Of sprake is van een verhoogde kans op groei van draadalgen zodanig dat dit een belemmering vormt voor de goede werking van een TEO installatie, zal locatiespecifiek ter plaatse moeten worden vastgesteld.

Het optreden van hoge biomassa's aan drijvende draadalgen (flab) is afhankelijk van:

- Hoge nutriëntengehaltes.
- Rustig water (afwezigheid van stroming, golfslag en turbulentie).

In haar conclusies geeft Deltares per watertype een algemene indicatie over een verhoogde kans op aanwezigheid van draadalgen:

- In permanent stromende wateren (beken en grote rivieren) is de kans op het voorkomen van flab verwaarloosbaar.
- In stagnerende wateren (beken gedurende droge perioden) en meren is de dynamiek in het watersysteem bepalend voor het kunnen voorkomen van flab:
  - \* In grote meren en kanalen is golfslag en turbulentie door wind en scheepvaart aanwezig waardoor zich geen flab kan vormen.
  - \* In kleine stilstaande wateren kunnen draadalgen bij hoge nutriëntengehaltes snel groeien en flab vormen. Bij het ontwerp van een TEO-installatie voor dit type wateren kan hiermee rekening gehouden worden door de inlaat van het water te positioneren in een open deel van het watersysteem en ruim onder het wateroppervlak om de kans op het inzuigen van drijvende draadalgen te verkleinen.



## 7. Organisatievorm en subsidies

### 7.1. **Organisatievorm**

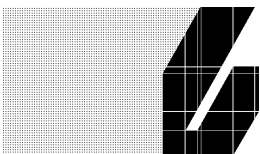
Voor een TEO installatie in combinatie met WKO is het mogelijk om de totale installatie te outsourcen. Bij outsourcing wordt de installatie als het ware ‘verkocht’ aan een externe partij met expertise op dit terrein, de exploitant. De partij aan wie de WKO is gegund zal aan het RVB eenmalig een bijdrage aansluitkosten (BAK) vragen, om hun businesscase sluitend te krijgen. Daarna worden er jaarlijkse kosten voor het energiegebruik in rekening gebracht door de exploitant. Risico’s bij de realisatie en ook tijdens de exploitatieperiode worden door het RVB bij outsourcing vermeden. Zaken die zich kunnen voordoen, en bij outsourcing geen risico meer vormen voor het RVB, zijn bijvoorbeeld hogere realisatiekosten dan geraamd of leveringsonderbrekingen tijdens de exploitatieperiode.

Bij outsourcing moet worden voorkomen dat de energiekosten in de loop van de contractperiode niet meer marktconform blijven. Bij het opstellen van de leveringsovereenkomst met een exploitant moet, om dit risico te beheersen, een indexatiemethodiek worden vastgesteld waarmee de energietarieven van het RVB de werkelijke energie-prijsontwikkeling in de toekomst (blijven) volgen.

Outsourcing bij de wat grotere referentieprojecten (hoofdstuk 3) met WKO en TEO functioneert zonder noemenswaardige problemen. Bij de wat kleinere referentieprojecten met TEO is geen outsourcing toegepast, beide hebben problemen gehad tijdens de exploitatieperiode. Hoewel de vraag is of deze constatering op andere projecten toegepast kan worden is outsourcing bij een dergelijk complexe techniek zeker aan te bevelen.

### 7.2. **Subsidies**

Bij toepassing van een TEO-installatie in combinatie met WKO kan aanspraak worden gemaakt op EIA-subsidie. De Energie-Investeringsaftrek (EIA) is een subsidieregeling die een investeringsaftrek van de fiscale winst oplevert voor de eigenaar van de installatie. De EIA levert (in 2018) een gemiddeld belastingvoordeel op van 11% over de investeringskosten voor de WKO, het oppervlaktewatersysteem en de warmtepompen. Als de opwekkingsinstallatie in eigendom blijft van het RVB, levert EIA-subsidie geen financieel voordeel op omdat het RVB een organisatie is zonder winstoogmerk (alleen commerciële partijen kunnen aanspraak maken op EIA subsidie). Indien het RVB besluit om de realisatie en exploitatie van de opwekkingsinstallaties te outsourcen kan een exploitant (een deel van) het financiële voordeel van de subsidie doorvertalen in een korting op de eenmalige bijdrage aansluitkosten (BAK) voor het RVB.



## 8. Conclusies en aanbevelingen

### 8.1. **Conclusies**

#### **Lessons learned**

Met betrekking tot de ervaringen met TEO-installaties met en zonder WKO in een aantal bestaande projecten zijn de volgende conclusies te trekken (lessons learned):

- Materiaal - Materiaalvoorkeur voor installatiedelen die in contact komen met oppervlaktewater: HDPE leidingwerk, titanium TSA en gietijzeren pompen/kleppen.
- Conserveren - Bij gebruik van TEO voor regeneratie van bronnen is 'conserveren' (het spoelen en vullen met schoon leidingwater van installatiedelen die in contact komen met rivierwater) een goede maatregel ter voorkoming van aangroei in de installatie en daarom ten gunste van levensduur van de installatie.

#### **Labelstudie**

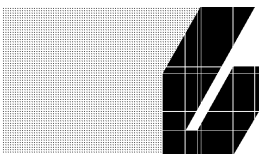
Er is een labelstudie is uitgevoerd van vier bestaande referentie gebouwen en ook voor vijf grootten van standaard bestaande RVB- en RWS-gebouwen (bouwjaar ca. 1990). Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken:

- Met 'quick-wins' is het mogelijk om van Label D-G naar Label B-C te gaan. De quick-wins zijn eenvoudig toepasbare en kostenefficiënte maatregelen zoals LED-verlichting, toerenregeling, veegpuls schakeling en aanwezigheidsdetectie.
- Door het toepassen van quick-wins i.c.m. verduurzaming van de energie-opwekking (WKO, TEO, PV-panelen) is Label A haalbaar. Hoewel dit is de minst gunstige variant is, wordt ook bij toepassing van luchtwarmtepomp in combinatie met gasketels een Label A behaald.
- Concepten met een E-ketel als pieklast opwekker resulteren maximaal in een Label C.
- Voor verdergaande labelverbetering naar label A\* tot A\*\*\*\* is het, naast verduurzaming van de energie-opwekking, ook nodig om de afgiftesystemen aan te passen naar geschikte temperatuurniveaus (lage temperatuur verwarming en hoge temperatuur koeling) en de gebouwschil thermisch te verbeteren.

De huidige basismethodiek is beperkt bruikbaar als vertrekpunt voor besluitvorming voor het Rijksvastgoedbedrijf en Rijkswaterstaat. Eigenschappen van het gebouw en van de gebouwgebonden installaties kunnen niet heel nauwkeurig worden ingevoerd, waardoor het besparingspotentieel niet altijd een juiste representatie geeft van de werkelijkheid.

#### **Financieel**

In de studie zijn voor de standaard gebouwen kostenkengetallen gegenereerd voor de investerings- en exploitatiekosten per systeem en gebouw grootte. Hiermee kan per gebouw grootte een indicatie worden verkregen van de te behalen besparingen en de daarmee gemoeide investeringskosten. De volgende algemene conclusies kunnen worden getrokken (ten opzichte van 1-op-1 vervanging van



een conventionele installatie). Voor het volledige resultatenoverzicht wordt verwezen naar bijlage 4.

- Hoe groter het gebouw is, hoe beter het toepassen van een duurzame energie-opwekinstallatie zich terugverdient.
- Het toepassen van een gasketel als pieklastopwekker is bij alle onderzochte gebouwgroottes het meest rendabel. Dit zijn de concepten 3: WKO + DK + gasketel, 4: WKO + TEO + gasketel en 7: TEO + gasketel. Hoewel het verschil klein is, is van deze drie concepten meestal 4: WKO + TEO + gasketel economisch het meest aantrekkelijk.
- De all-electric concepten zijn financieel moeilijk haalbaar voor bestaande gebouwen waarbij HT-afgifte systemen niet (kunnen) worden aangepast. De terugverdiëntijden van deze concepten zijn meestal langer dan de technische levensduur van de hoofdcomponenten. Het zijn de concepten 2: LWP + E-ketel, 5: WKO + TEO + LWP, 6: WKO + TEO (monovalent) en 8: TEO + LWP. Hiervan is bij kleinere gebouwen (5.000 en 10.000 m<sup>2</sup>) 2 LWP (E) het meest voordelig en bij grote gebouwen (groter dan 20.000 m<sup>2</sup>) komt het concept 6: WKO + TEO (monovalent) er het beste uit.
- TEO is een goed alternatief voor het toepassen van droge koelers als regeneratievoorziening voor een WKO systeem. De resultaten laten zien dat vanuit financieel oogpunt een TEO installatie vergelijkbaar is met of beter is dan droge koelers. Hiervoor is het uitgangspunt dat er binnen 100 m van het gebouw oppervlaktewater aanwezig is. Daarnaast heeft TEO meer voordelen ten opzichte van droge koelers zoals:
  - \* Beter energierendement.
  - \* Geen geluidsoverlast.
  - \* Geen ruimtebeslag op het dak.
  - \* Meestal niet zichtbaar, daarom esthetisch.

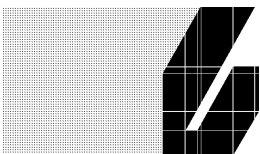
### Duurzaamheid

- De all-electric concepten (gasloos) hebben de grootste CO<sub>2</sub>-besparing (100 %). Het uitgangspunt is gebruik van groene stroom en daarmee is elektriciteitsverbruik CO<sub>2</sub> neutraal.
- Het toepassen van de quick-wins levert een grote besparing van het elektriciteitsverbruik op. Wanneer uitgegaan wordt van grijze stroom is de CO<sub>2</sub>-besparing van de quick-wins ordergrootte hetzelfde als de CO<sub>2</sub>-besparing van de duurzame energieconcepten.
- Indien uitgegaan wordt van inkoop van grijze stroom, hebben de all-electric concepten een vergelijkbare CO<sub>2</sub>-besparing met de concepten met een gasketel als pieklastopwekker.

### Waterkwaliteit

Deltares heeft de invloed van TEO systemen op de waterkwaliteit onderzocht. Hieruit worden de volgende conclusies getrokken:

- Grote wateren – De bestudeerde TEO-installaties geven volgens de huidige berekeningsmethoden zeer waarschijnlijk geen significante thermische effecten op (havens aan) grote stromende wateren. Dit geldt ook voor TEO bij gebouwen van 20.000m<sup>2</sup> of kleiner aan



grote stilstaande wateren. Ecologische effecten zijn verwaarloosbaar, vanwege het zeer waarschijnlijk niet optreden van thermische effecten of kortsluiting.

- Kleine wateren – Bij TEO installaties aan (havens van) kleine stromende wateren of kleine stilstaande wateren kunnen ecologische effecten niet op voorhand uitgesloten worden. Nader (uitgebreid) projectspecifiek onderzoek is nodig naar de effecten op de waterkwaliteit voordat TEO met een dergelijk water kan worden toegepast vanwege mogelijk risico op rondstroming / kortsluiting en/of een relatief grote temperatuurverandering.

Daarnaast zijn factoren in beeld gebracht die invloed hebben op aangroei van mosselen en aanwezigheid van draadalgen in TEO installaties. De aangroei van mosselen in de installatie is zeer locatieafhankelijk en wordt beïnvloed door: de watertemperatuur, stroomsnelheid, diepte, droogval, zuurstof, saliniteit, zuurgraad, calcium en fosfaat en aanwezigheid van mossellarven. De kans op aangroei van draadalgen is bij stromende wateren en grote meren en kanalen verwaarloosbaar. In kleine stilstaande wateren kunnen draadalgen bij hoge nutriëntengehalten snel groeien en flab vormen. Door juiste positionering van de inlaat van het TEO systeem hoeven drijvende draadalgen geen belemmering te vormen voor het toepassen van TEO.

## 8.2. **Aanbeveling**

De resultaten van de deze studie zijn gebaseerd op fictieve standaard gebouwen. Aanbevolen wordt om de gegenereerde kostenkennallen uit dit onderzoek in te zetten om van een aantal bestaande RVB- en/of RWS-gebouwen de haalbaarheid van toepassing van TEO met of zonder WKO te beoordelen.