

# Koude/warmteopslag in de praktijk

## Meetgegevens van 67 projecten

Opdrachtgever

SenterNovem  
Postbus 8242  
3503 RE UTRECHT  
T 030 - 239 34 93  
F 030 - 231 64 91  
E [l.bosselaar@senternovem.nl](mailto:l.bosselaar@senternovem.nl)  
Contactpersoon: dhr. L. Bosselaar

Adviseur

IF Technology bv  
Frombergstraat 1  
Postbus 605  
6800 AP ARNHEM  
T 026 - 44 31 541  
F 026 - 44 60 153  
E [info@iftechnology.nl](mailto:info@iftechnology.nl)  
Contactpersonen: dhr. M.J.B. Koenders  
dhr. B. de Zwart

## Samenvatting

In het kader van de actualisatie van het Protocol Monitoring Duurzame Energie door SenterNovem zijn 67 koude-/warmteopslagprojecten geëvalueerd. Het onderzoek bleek naast besparingskentallen een schat aan praktijkinformatie op te leveren. SenterNovem wil deze informatie graag voor een breed publiek toegankelijk maken en heeft daarom IF Technology gevraagd om de actualisatie uit te breiden.

In dit onderzoek zijn meetgegevens van 67 koude-/warmteopslagprojecten betrokken. Dit is circa 12,5% van alle systemen in Nederland. Het langstlopend project is uit 1994. In totaal zijn gegevens van 233 meetjaren onderzocht. De grootste waterverplaatsing van de onderzochte projecten vindt plaats in de utiliteitsbouw (78% van de totale waterverplaatsing), gevolgd door de industrie (18%). De resterende 4% vindt plaats in de agrarische sector en de woningbouw.

In 1998 deed de warmtepomp zijn intrede bij de onderzochte projecten. Op dit moment is het aandeel waterverplaatsing van de onderzochte projecten met warmtepomp al 35%. Omdat de meeste nieuwe projecten worden gerealiseerd met een warmtepomp, is de verwachting dat dit percentage verder gaat toenemen.

In 44% van alle meetjaren vindt een overschrijding van de ontwerpwaterhoeveelheden plaats. Opgemerkt dient te worden dat dit niet hoeft te betekenen dat de vergunde waterhoeveelheid wordt overschreden.

De belangrijkste reden voor de geconstateerde wateroverschrijdingen is het geringe temperatuurverschil tussen de bronnen. In de praktijk wordt gemiddeld maar de helft van het temperatuurverschil gehaald: 3,8 °C in werkelijkheid tijdens koudelevering, tegenover 7,3 °C tijdens het ontwerp. Het temperatuurverschil tijdens de warmtelevering verschilt ook ten opzichte van het ontwerp: 4,3 °C in werkelijkheid, tegenover 7,4 °C tijdens het ontwerp.

Het werkelijk rendement van de koude-/warmteopslag wordt weergegeven door de Seasonal Performance Factor (SPF). Deze kan worden vergeleken met het ontwerprendement (COP). Uit de meetgegevens blijkt dat de SPF tijdens koudelevering gemiddeld 42 bedraagt, en tijdens de warmtelevering gemiddeld 49. De reden dat toch een grotere SPF wordt bereikt is dat de systemen gedurende het seizoen in werkelijkheid vaak op deellast draaien, waardoor de elektrische energie benodigd voor de bronpompen flink vermindert.

De hoeveelheid koude die door alle projecten tezamen in de bodem wordt geïnjecteerd wijkt 10% af van de hoeveelheid warmte dat in de bodem wordt gebracht. Dit betekent dat alle projecten tezamen - landelijk gezien - een vrijwel sluitende energiebalans creëren. Op projectbasis is dit niet het geval. Integendeel, een grote meerderheid van de projecten (respectievelijk 76 en 67%) kan niet voldoen aan het voorschrift om een onbalans kleiner dan 10 of 15% te verwezenlijken.

Er worden twee besparingskentallen voor koude-/warmteopslag onderscheiden, te weten de besparing van primaire energie en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie. De besparing en reductie worden berekend per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater. Dit is praktisch haalbaar omdat de provincies de werkelijk verplaatste hoeveelheid grondwater van alle vergunde systemen jaarlijks registreert. De kentallen worden berekend ten opzichte van een referentiesituatie: een gasgestookte ketel voor de warmtelevering, en een compressiekoelmachine voor de koudelevering.

Uit analyse van alle meetgegevens volgt dat de primaire energiebesparing 6,9 MJ/m<sup>3</sup> bedraagt, en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie 0,46 kg/m<sup>3</sup>. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de besparing op de warmtelevering door de warmtepomp buiten beschouwing is gelaten omdat deze wordt toegerekend aan het onderdeel warmtepompen. Vanwege het geringe aantal meetgegevens voor projecten in de woningbouw, de agrarische sector en de industrie, kunnen geen besparingskentallen per gebruiksdoel worden onderscheiden.

Om de installatie beter te laten functioneren en het beheer te optimaliseren, is het van belang dat de energieopslag ten opzichte van andere aanwezige opwekkingsinstallaties voldoende energie levert. Ook dient een zo groot mogelijk temperatuurverschil tussen de bronnen worden bewerkstelligd. Daarnaast dient tijdig energie in de bodem te worden opgeslagen om de gewenste vermogens te kunnen halen. Tevens dient geanticipeerd te kunnen worden op een ander energieverbruik dan in het ontwerp was aangenomen, en op een afwijkend klimaat. Tenslotte moet tijdens de exploitatie rekening worden gehouden met de vergunningsvoorschriften.

# Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	5
2	Meetdata van projecten .....	6
2.1	Projectparameters .....	6
2.2	Verdeling per gebruiksdoel .....	7
2.3	Verdeling per systeemconcept .....	8
3	Analyse van de gegevens .....	10
3.1	Verplaatste waterhoeveelheden .....	10
3.2	Temperatuurverschillen tussen de bronnen .....	11
3.3	Seasonal Performance Factor SPF .....	13
3.4	Energiebalans .....	13
3.5	Energiebesparing .....	16
4	Functioneren in de praktijk .....	21
4.1	Omvang van de energielevering .....	21
4.2	Kwaliteit van de opgeslagen energie .....	23
4.3	Opslaan van energie .....	24
4.4	Afwijkend energie-afnamepatroon .....	25
4.5	Vergunningsverplichtingen .....	26
4.6	Optimalisering van processen .....	27
5	Conclusies en aanbevelingen .....	29
5.1	Conclusies .....	29
5.2	Aanbevelingen .....	30

## Bijlagen:

1. Factsheet koude-/warmteopslag 2006.
2. Belangrijkste gegevens en meetresultaten onderzochte projecten.

# 1 Inleiding

In het kader van de actualisatie van het Protocol Monitoring Duurzame Energie door SenterNovem zijn 67 koude-/warmteopslagprojecten geëvalueerd<sup>1</sup>. Het doel van deze actualisatie was om de bestaande set van besparingskentallen voor koude-/ warmteopslag uit het Protocol Monitoring Duurzame Energie van 2004 te herzien.

De actualisatie heeft één set kentallen voor alle typen koude-/ warmteopslagsystemen opgeleverd. Daarnaast is een onderbouwde systematiek ontwikkeld waarmee de kentallen op eenvoudige wijze kunnen worden bepaald en jaarlijks geactualiseerd. Het onderzoek heeft de volgende twee kentallen opgeleverd: vermeden CO<sub>2</sub>-emissie per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater per jaar (kg/m<sup>3</sup>), en de vermeden primaire energie per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater per jaar (MJ/m<sup>3</sup>). In bijlage 1 is het voorgestelde factsheet opgenomen met daarin de besparingskentallen.

Het onderzoek bleek naast deze kentallen een schat aan praktijkinformatie op te leveren. SenterNovem wil deze informatie graag voor een breed publiek toegankelijk maken. Zij heeft daarom IF Technology gevraagd om de actualisatie uit te breiden. Het doel van dit rapport is om de praktijkresultaten van de 67 projecten te presenteren en te vergelijken met eerdere verwachtingen en bevindingen. Daarnaast is het doel om op basis van de meetresultaten aanbevelingen te kunnen doen met betrekking tot de werking van de systemen.

De doelgroep van dit onderzoek bestaat uit potentiële toepassers van koude-/ warmteopslag, het overleg platform bouwregelgeving (in het kader van de aanscherping van de EPC in de utiliteitsbouw), installatieadviseurs en gebruikers van het Protocol Monitoring Duurzame Energie. Tevens kan de rapportage als input dienen voor andere publicaties (bijvoorbeeld ISSO) en eventueel voor cursussen.

---

<sup>1</sup> Besparingskentallen koude-/warmteopslag - Herziening factsheet 2006 (IF Technology, referentie 1/56280/MaK, december 2006).

## 2 Meetdata van projecten

In dit onderzoek zijn meetgegevens van 67 koude-/warmteopslagprojecten betrokken. Dit is circa 12,5% van alle systemen in Nederland<sup>2</sup>. Het langstlopend project is uit 1994. In totaal zijn gegevens van 233 meetjaren onderzocht. Gemiddeld bedraagt het aantal meetjaren per project derhalve 3,5. In tabel 2.1 zijn per provincie het aantal projecten weergegeven. In bijlage 2 zijn de belangrijkste gegevens en meetresultaten van de onderzochte projecten weergegeven.

Tabel 2.1 Onderzochte projecten per provincie

<b>provincie</b>	<b>aantal projecten</b>
Groningen	3
Friesland	0
Drenthe	2
Flevoland	1
Overijssel	1
Gelderland	4
Utrecht	4
Noord-Holland	8
Zuid-Holland	26
Zeeland	0
Noord-Brabant	17
Limburg	1
<b>totaal</b>	<b>67</b>

### 2.1 Projectparameters

Per project zijn onderstaande (meet)gegevens verzameld ten behoeve van de bepaling van de besparingskentallen. Gegevens 1 t/m 7 zijn afkomstig uit de provinciale registers. Deze informatie is gebaseerd op verleende vergunningen. Gegevens 8 t/m 12 zijn door IF verzameld. Deze informatie is gebaseerd op ontwerp-, vergunnings-, monitorings- of beheergegevens. Om een vergelijk met de ontwerpgegevens mogelijk te maken is ook ontwerp-informatie per project verzameld.

1. Naam project.
2. Plaats project.
3. Jaar van monitoring.
4. Waterverplaatsing voor warmtelevering.
5. Waterverplaatsing voor koudelevering.
6. Energieverplaatsing voor warmtelevering.

<sup>2</sup> Op 1 januari 2006 waren 537 koude-/warmteopslagssystemen in bedrijf (bron: Duurzame Energie in Nederland 2005, CBS).

7. Energieverplaatsing voor koudelevering.
8. Gebruiksdoel.
9. Systeemconcept.
10. Ontwerp uurdebieten.
11. Ontwerp waterhoeveelheden.
12. Ontwerp temperatuurverschillen tussen de bronnen.

Ad. 8 Als gebruiksdoel worden utiliteit, woningbouw, agrarisch en industrie onderscheiden. De volgende subgebruiksdoelen vallen hieronder:

- utiliteit: kantoor, musea, theater, beurzen, scholen, universiteiten, ziekenhuizen, zorginstellingen, verpleeghuizen, bedrijventerrein;
- woningbouw: huizen, flats en appartementen;
- agrarisch: tuinbouw, glastuinbouw, champignonkwekers, varkenshouderijen;
- industrie: proceskoeling.

Ad. 9 Als systeemconcept worden naast koudelevering ook warmtelevering met en warmtelevering zonder warmtepomp onderscheiden.

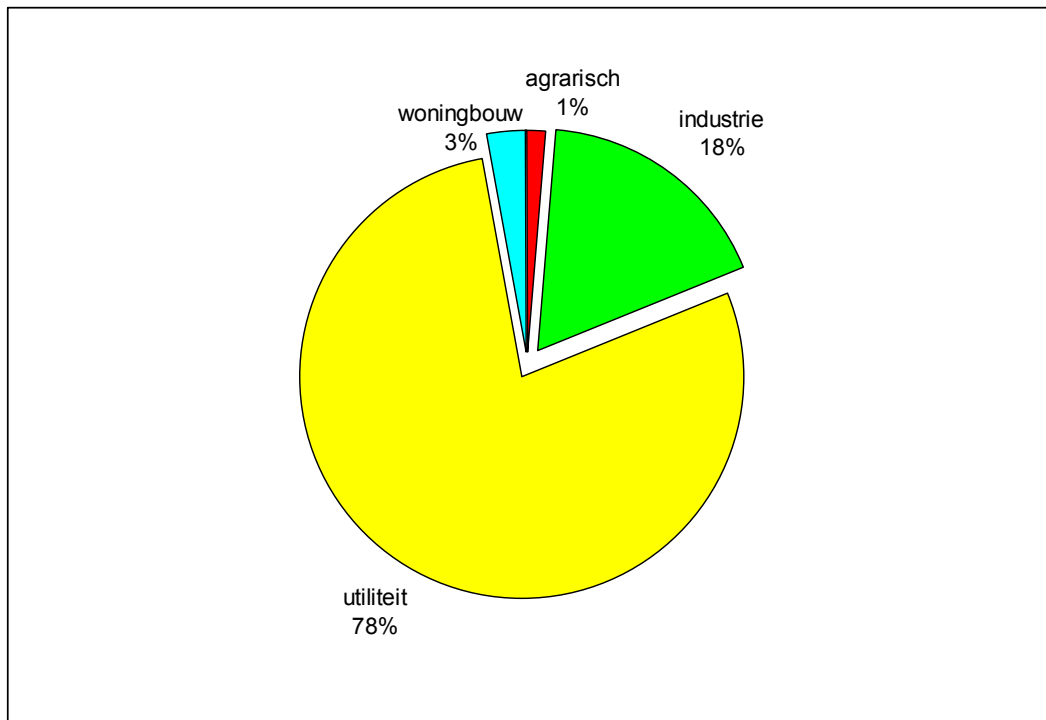
## 2.2 Verdeling per gebruiksdoel

In tabel 2.2 is per gebruiksdoel het aantal projecten en de verplaatste hoeveelheid grondwater weergegeven.

Tabel 2.2 Gegevens per gebruiksdoel

parameter	agrarisch	industrie	utiliteit	woningbouw	totaal
aantal projecten	1	5	56	5	67
aantal meetjaren	6	14	200	12	233
verplaatst grondwater	849.632	11.401.761	50.831.014	1.765.727	64.848.134
% grondwater t.o.v. totaal	1%	18%	78%	3%	100%

Bovenstaande verdeling van gebruiksdoelen is representatief voor de situatie in heel Nederland. Opgemerkt dient te worden dat het aantal agrarische projecten op dit moment fors toeneemt, voornamelijk doordat koude-/warmteopslag veel wordt toegepast in de glastuinbouw. Het gaat doorgaans om relatief grote projecten. Ook neemt het aantal nieuwbouwwoningprojecten de laatste jaren flink toe. In figuur 2.1 is de verdeling van waterverplaatsing per gebruiksdoel inzichtelijk gemaakt. De grote waterverplaatsing in de industrie is te verklaren uit het feit dat het hier om proceskoeling gaat, die nagenoeg het hele jaar draait.



Figuur 2.1 Verdeling waterverplaatsing per gebruiksdoel van onderzochte projecten

### 2.3 Verdeling per systeemconcept

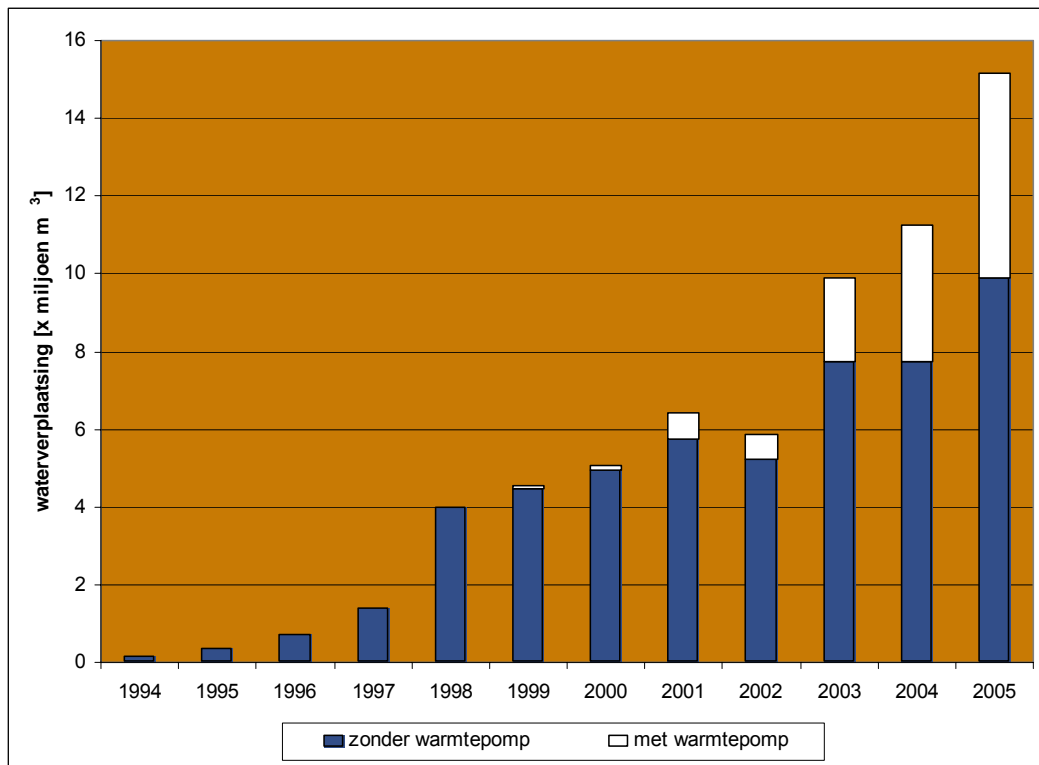
In tabel 2.3 is per systeemconcept het aantal projecten en de verplaatste hoeveelheid grondwater weergegeven.

Tabel 2.3 Gegevens per systeemconcept

parameter	zonder warmtepomp	met warmtepomp	totaal
aantal projecten	39	28	67
aantal meetjaren	161	72	233
verplaatst grondwater	52.409.894	12.438.240	64.848.134
% grondwater t.o.v. totaal	81%	19%	100%

Bovenstaande gegevens zijn gebaseerd op totale waterhoeveelheden gedurende de periode 1994 t/m 2005. Omdat het aantal warmtepompprojecten toeneemt verschuift de verhouding tussen projecten met en projecten zonder warmtepomp. Om dit inzichtelijk te maken is de waterverplaatsing gedurende 1994 t/m 2005 grafisch weergegeven (figuur 2.2).





Figuur 2.2 Verdeling waterhoeveelheid per systeemconcept van de onderzochte projecten

Binnen de onderzochte projecten deden de eerste warmtepompprojecten in 1998 hun intrede. Vanaf dat moment is de waterverplaatsing van projecten met een warmtepomp alleen maar toegenomen. In 2005 was het aandeel waterverplaatsing bij de onderzochte projecten met een warmtepomp al 35%. Omdat de meeste nieuwe projecten worden gerealiseerd met een warmtepomp, is de verwachting dat dit percentage in de toekomst verder gaat toenemen.

## 3 Analyse van de gegevens

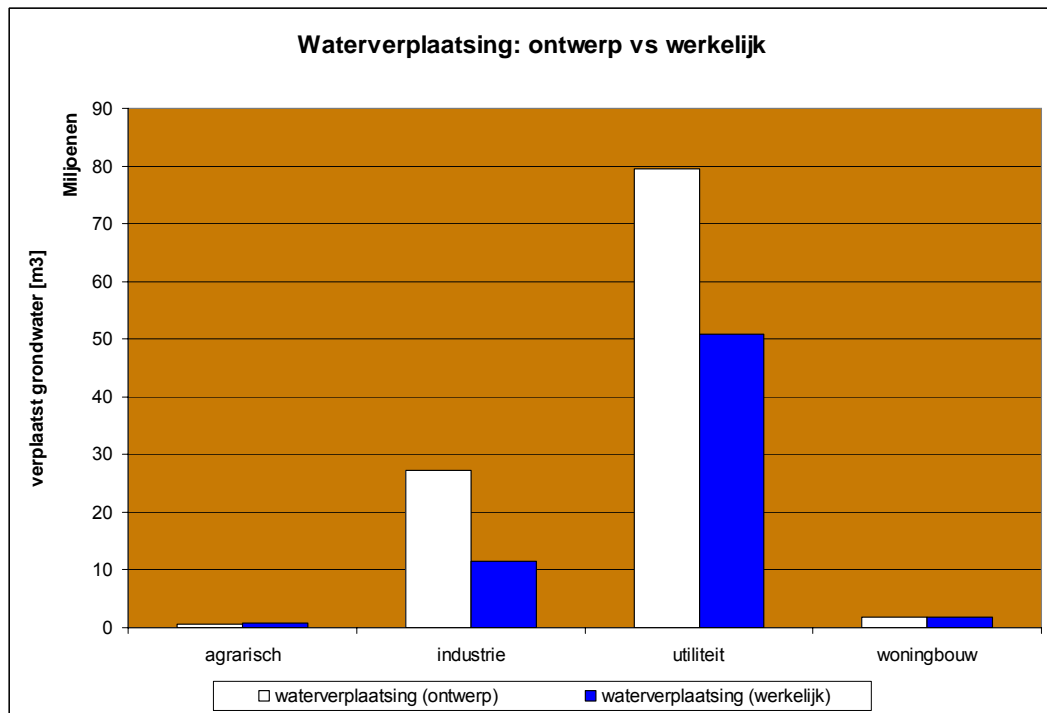
### 3.1 Verplaatste waterhoeveelheden

In tabel 3.1 zijn de waterhoeveelheden opgenomen die in de ontwerpfase zijn aangehouden. Ook zijn hierbij de werkelijk verplaatste grondwaterhoeveelheden weergegeven. In figuur 3.1 zijn de waterhoeveelheden per gebruiksdoel grafisch weergegeven.

Tabel 3.1 Verplaatste waterhoeveelheden

parameter	eenheid	agra- risch	industrie	utiliteit	woning- bouw	totaal
totaal aantal meetjaren	-	6	14	192	13	225
aantal meetjaren met overschrijding	-	5	2	87	4	98
% meetjaren met overschrijding	%	83%	14%	45%	31%	44%
waterverplaatsing (ontwerp)	m <sup>3</sup> /jaar	696.000	27.284.000	79.452.700	1.771.000	109.203.700
waterverplaatsing (werkelijk)	m <sup>3</sup> /jaar	873.831	11.401.761	50.831.014	1.765.727	64.872.333
% waterverplaatsing meer/minder	%	26%	-58%	-36%	0%	-41%

Belangrijk is te vermelden dat de ontwerphoeveelheid *niet* hetzelfde is als de vergunde waterhoeveelheid. De vergunde hoeveelheid is circa 50% hoger dan de ontwerphoeveelheid. Hiermee kan worden geanticipeerd op klimatologisch extreme jaren. Dat een overschrijding van de ontwerpwaterhoeveelheid plaatsvindt wil dus niet zeggen dat daarmee niet wordt voldaan aan de vergunning.

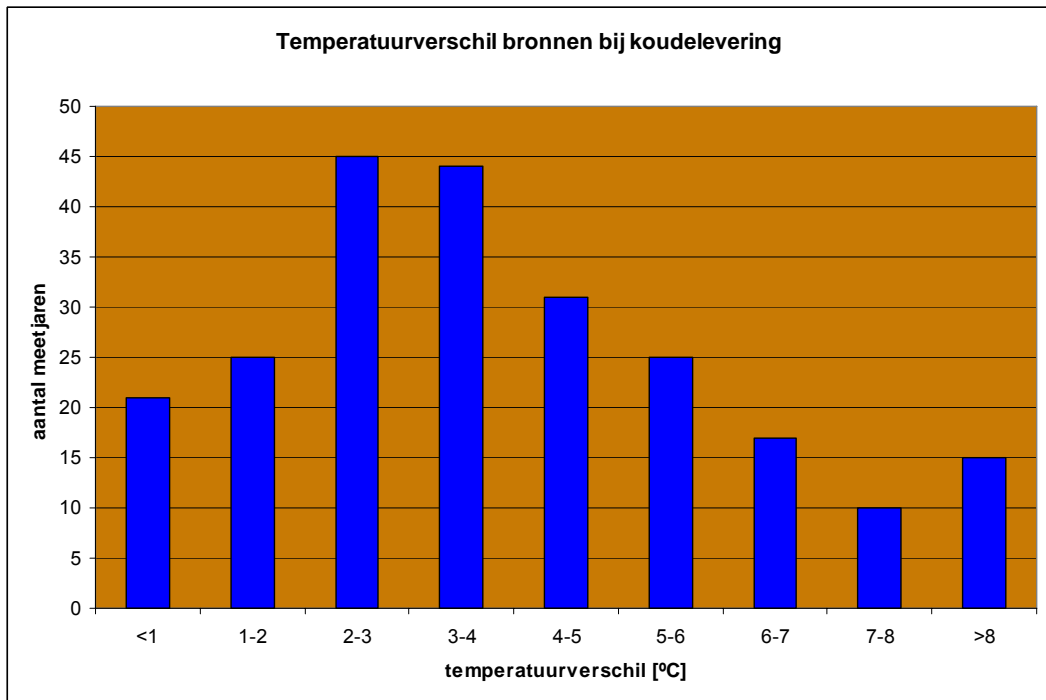


Figuur 3.1 Ontwerp- en werkelijk verplaatste waterhoeveelheid

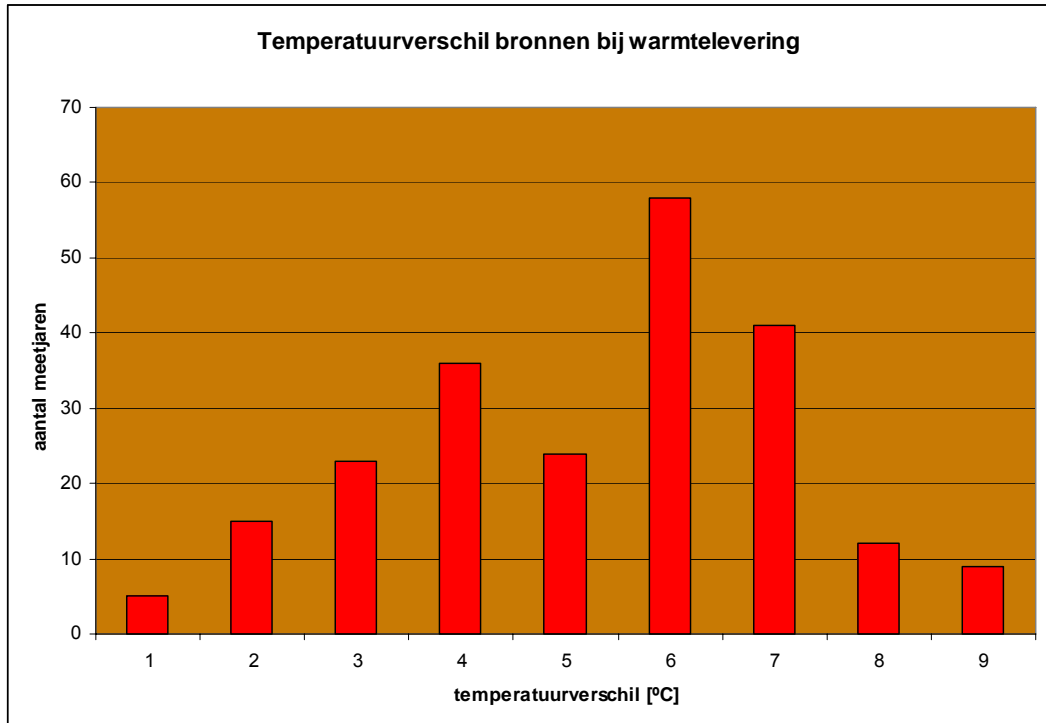
Uit tabel 3.1 en figuur 3.1 blijkt dat 44% van alle meetjaren een overschrijding kennen van de ontwerpwaterverplaatsing. Dit komt omdat het temperatuurverschil tussen de bronnen te laag is (zie volgende paragraaf).

### 3.2 Temperatuurverschillen tussen de bronnen

Uit bijlage 2 blijkt dat de gemiddelde temperatuur tussen de bronnen ten behoeve van de koudelevering 7,3 °C bedroeg in de ontwerpfase. Uit de meetgegevens blijkt dat in werkelijkheid dit temperatuurverschil niet wordt gehaald: 3,8 °C. De gemiddelde temperatuur tussen de bronnen ten behoeve van de warmtelevering bedroeg 7,4 °C in de ontwerpfase. Uit de meetgegevens blijkt dat dit in werkelijkheid 4,3 °C bedraagt. In figuren 3.2 en 3.3 is het aantal meetjaren weergegeven met daarbij het temperatuurverschil tussen de bronnen. Geconcludeerd wordt dat het temperatuurverschil bijna de helft is van hetgeen in de ontwerpfase is aangenomen. Dit geldt zowel voor de koude- als de warmtelevering. Dit is tevens de reden dat een groot aantal projecten een overschrijding van de waterhoeveelheid kent. Mede door deze ervaringen wordt tegenwoordig een kleiner temperatuurverschil (5 à 6 °C) door ontwerpers aangenomen. Manieren om een zo hoog mogelijk temperatuurverschil te creëren worden in hoofdstuk 4 behandeld. Belangrijk te vermelden is dat het nadelige effect van een kleiner temperatuurverschil op de duurzaamheid zeer beperkt is (zie paragraaf 3.3).



Figuur 3.2 Gemiddeld temperatuurverschil tussen de bronnen (koudelevering)



Figuur 3.3 Gemiddeld temperatuurverschil tussen de bronnen (warmtelevering)

### 3.3 Seasonal Performance Factor SPF

De Seasonal Performance Factor wordt gedefinieerd als de werkelijke hoeveelheid elektrische energie die nodig is om een bepaalde hoeveelheid thermische energie aan de bodem te onttrekken. De SPF kan worden vergeleken met de COP (Coëfficiënt of Performance), met dit verschil dat de SPF wordt gemeten, en wel over een langere periode, namelijk een heel seizoen. Daarbij worden alle werkelijke verliezen en rendementen meegenomen. De COP wordt gebruikt voor ontwerpcondities. Het werkelijke rendement noemt men de SPF.

Voor zover bekend zijn geen getallen voorhanden met betrekking tot de SPF van koude-/warmteopslagsystemen. Wel wordt als COP over het algemeen tijdens het ontwerp een factor 40 aangehouden. Deze factor is gebaseerd op de volgende aannamen:

- totale pompvermogen  $\eta_p = 0,53$  ;
- opvoerhoogte = 400 kPa ;
- ontwerptemperatuurverschil tussen de bronnen = 7 à 8 °C.

Uit de metingen blijkt dat de gemiddelde SPF van de koudelevering 42 bedraagt. De SPF van de warmtelevering bedraagt gemiddeld 49. Geconcludeerd wordt dat de gemeten waarden (SPF) hoger is dan de ontwerpwaarden (COP). Gezien de lagere gemiddelde temperatuurverschillen tussen de bronnen lijkt dit onlogisch. Echter, gedurende het seizoen draait het systeem niet op vollast, maar ook op deellast. Omdat de leidingweerstand in het systeem kwadratisch toeneemt met het debiet, is het elektriciteitsverbruik tijdens deellastbedrijf veel lager dan tijdens vollastbedrijf. Hiermee wordt rekening gehouden door toepassing van een deellastfactor. Hierdoor neemt de SPF toe.

In deze studie wordt de SPF van het grondwatersysteem berekend. Zoals aangegeven zijn hierover tot nu toe geen cijfers gepubliceerd. Wel zijn in de literatuur getallen voorhanden met betrekking tot het rendement van het totale koude-/warmteopslagsysteem (bodem- en gebouwzijdig). Zo wordt in de bepalingmethode voor de EPN een COP van 11 à 12 aangehouden voor het totale koude-/warmteopslagsysteem<sup>3</sup>. Om deze COP in de praktijk te kunnen staven dient naast het functioneren van het grondwatersysteem ook het functioneren van het gebouwzijdige deel van de installatie te worden betrokken.

### 3.4 Energiebalans

De energetische balans geeft het procentuele verschil aan tussen de hoeveelheid warmte en koude dat in de bodem wordt geïnjecteerd gedurende een bepaalde periode. Over het algemeen wordt hiervoor de volgende formule gehanteerd:

$$Balans = \frac{E_{kou} - E_{warm}}{E_{kou} + E_{warm}} \quad [\%]$$

<sup>3</sup> Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethode (NEN 2916), pagina 108.

Waarin:

$E_{kou}$  = de hoeveelheid koude die uit de bodem wordt gehaald

$E_{warm}$  = de hoeveelheid warmte die uit de bodem wordt gehaald

Bij een balans van 0% wordt evenveel warmte als koude in de bodem geïnjecteerd. Bij een positieve balans (> 0%) is sprake van een warmteoverschot in de bodem, en bij een negatieve balans is er sprake van een koudeoverschot in de bodem.

De meeste provincies hebben een energetische balans als voorschrift in de vergunning Grondwaterwet opgenomen. De provincie Noord-Brabant omschrijft dit voorschrift als volgt: "De energiebalans dient zo sluitend mogelijk worden gehouden. In verband met de klimatologische omstandigheden mag het systeem over een periode van vijf jaar een energiebalans hebben die maximaal 15% mag afwijken van de in deze periode verplaatste hoeveelheid energie. Over een periode van 10 jaar mag deze afwijking van de energiebalans niet meer dan 10% bedragen."

In tabel 3.2 zijn de meetresultaten met betrekking tot de energetische balans weergegeven.

Tabel 3.2 Energiebalans

gebruiksdoel	aantal projecten	warmtelevering (koude in de bodem) [MWh]	koudelevering (warmte in de bodem) [MWh]	energiebalans [%]
agrarisch	1	2.176	1.637	-14%
industrie	5	5.424	25.604	+65%
utiliteit	56	122.530	135.372	+5%
woningbouw	5	5.090	2.514	-34%
<b>totaal</b>	<b>67</b>	<b>135.219</b>	<b>165.127</b>	<b>+10%</b>

Uit de gegevens blijkt dat de totale hoeveelheid warmte ongeveer evenveel is als de totale hoeveelheid koude die in de bodem wordt geïnjecteerd (een afwijking van 10%). De kleinste onbalans heeft de utiliteit (+5%). De woningbouw kent een koudeoverschot van 34%. Dit is logisch omdat de warmtevraag van woningen groter is dan de koudevraag. Ook het grote warmteoverschot van de industrie (+65%) is te verklaren omdat in deze bedrijfstak over het algemeen een grote koelvraag aanwezig is.

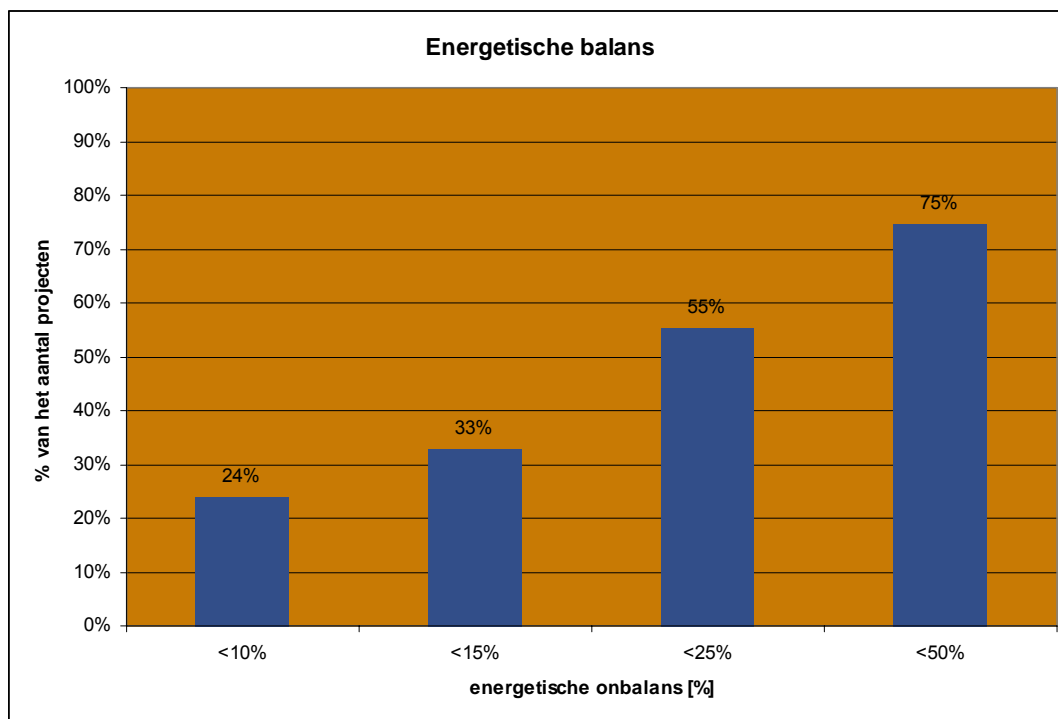
Het vergunningvoorschrift over de energiebalans geldt echter niet voor alle projecten tezamen, maar geldt voor individuele projecten. Daarom is ook de energiebalans per project berekend. In tabel 3.3 zijn het aantal cumulatieve projecten weergegeven die een onbalans hebben van respectievelijk 10, 15, 25 en 50%.

Tabel 3.3 Aantal projecten met een bepaalde onbalans

onbalans*	aantal cumulatieve projecten	cumulatief % van het aantal projecten
< 10%	16	24%
< 15%	22	33%
< 25%	37	55%
< 50%	50	75%

\* Onbalans kan zowel een warmte- of koudeoverschot betekenen.

In figuur 3.4 zijn de gegevens van tabel 3.3 grafisch weergegeven.



Figuur 3.4 Cumulatief percentage projecten met een onbalans kleiner dan 10, 15, 25 en 50%

Uit de gegevens blijkt dat slechts 24% van de projecten een onbalans van minder dan 10% heeft. Dit betekent dat 76% van de projecten een onbalans groter dan 10% heeft en derhalve niet zouden voldoen aan het meetschrift van de provincies. Om te bepalen of meer meetjaren een (positieve) invloed heeft op de energiebalans, is tabel 3.4 opgenomen.

Tabel 3.4 Onbalans kleiner dan 10% afhankelijk van het aantal meetjaren

projecten met	aantal projecten	aantal projecten met onbalans <10%	% van aantal projecten met onbalans <10%
1 meetjaar	14	1	7%
2 meetjaren	15	2	13%
3 meetjaren	11	3	27%
4 meetjaren	7	2	29%
5 meetjaren	6	1	17%
> 5 meetjaren	14	7	50%
<b>totaal</b>	<b>67</b>	<b>16</b>	<b>24%</b>

Uit tabel 3.4 blijkt dat hoe meer jaren een project in bedrijf is, hoe gunstiger de cumulatieve energiebalans. Een negatieve uitzondering hierop vormen de projecten met 5 meetjaren. De reden hiervan is niet bekend. Van de projecten met meer dan 5 meetjaren heeft zelfs de helft een energieonbalans van 10% of minder.

Geconcludeerd kan worden dat alle projecten *tezamen* een vrijwel sluitende energiebalans creëren. Op *projectbasis* is dit niet het geval. Integendeel, een grote meerderheid van de projecten kan niet voldoen aan het voorschrift om een onbalans kleiner dan 10 of 15% te verwezenlijken. In hoofdstuk 4 worden methoden beschreven om een langjarige energiebalans te kunnen verwezenlijken.

### 3.5 Energiebesparing

Er worden twee besparingskentallen voor koude-/warmteopslag onderscheiden, te weten de besparing van primaire energie en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie. De besparing en reductie worden berekend per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater. Dit is praktisch haalbaar omdat de provincies de werkelijk verplaatste hoeveelheid grondwater van alle vergunde systemen jaarlijks registreert. In het algemeen geldt:

$$\varepsilon_{kental} = \frac{\varepsilon_{netto}}{V} = \frac{\varepsilon_{ref} - \varepsilon_{kwo}}{V} \quad [\text{kg CO}_2/\text{m}^3]$$

$$E_{kental} = \frac{E_{prim}}{V} = \frac{E_{ref} - E_{kwo}}{V} \quad [\text{MJ}/\text{m}^3]$$

Waarin:

$\varepsilon_{kental}$	= kental CO <sub>2</sub> -emissiereductie per m <sup>3</sup> grondwater	[kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]
$\varepsilon_{netto}$	= vermeden CO <sub>2</sub> -emissie	[kg CO <sub>2</sub> ]
$\varepsilon_{ref}$	= CO <sub>2</sub> -emissie in de referentiesituatie	[kg CO <sub>2</sub> ]
$\varepsilon_{kwo}$	= CO <sub>2</sub> -emissie van de koude-/warmteopslag	[kg CO <sub>2</sub> ]
$E_{kental}$	= kental besparing primaire energie per m <sup>3</sup> grondwater	[MJ/m <sup>3</sup> ]
$E_{prim}$	= besparing op primaire energie	[MJ/m <sup>3</sup> ]
$E_{ref}$	= energieverbruik in de referentiesituatie	[MJ]
$E_{kwo}$	= energieverbruik van de koude-/warmteopslag	[MJ]
$V$	= verplaatst grondwater	[m <sup>3</sup> ]

In tabel 3.5 zijn de berekeningsparameters weergegeven op basis waarvan de besparingskentallen zijn bepaald. Voor een uitgebreide beschrijving van de berekeningssystematiek wordt verwezen naar het rapport "Besparingskentallen koude/warmteopslag - Herziening factsheet koude-/warmteopslag 2006" van IF Technology in opdracht van SenterNovem (1/56280/MaK).



Tabel 3.5 Berekeningsparameters

parameter	afkorting	eenheid	waarde
emissiefactor CO <sub>2</sub> bij elektriciteitsopwekking, geleverd bij gebruiker	$e_{\text{elekCO}_2}$	kg/kWh <sub>e</sub>	0,616
emissiefactor CO <sub>2</sub> bij gasverbranding	$e_{\text{aardgCO}_2}$	kg/m <sup>3</sup>	1,798
COP compressiekoelmachine	$\text{COP}_{\text{ckm}}$	-	4,0
gemiddelde opvoerhoogte bij maximaal debiet	$\Delta h$	kPa	400
totaal pomp rendement	$\eta_p$	-	53%
rendement elektriciteitsproductie, geleverd bij gebruiker	$\eta$	-	41,4%
onderste verbrandingswaarde aardgas	ovw	MJ/m <sup>3</sup>	31,65
deellastfactor	$\alpha$	-	0,55
rendement verbrandingsketel op onderwaarde	$\eta_k$	-	90%
benuttingsfactoren	$\beta$	-	0,0-1,0

*Emissiefactor CO<sub>2</sub> bij elektriciteitsopwekking  $e_{\text{elekCO}_2}$*

Deze factor is afkomstig van het Protocol Monitoring Duurzame Energie, concept update 2006 en bedraagt 0,616 kg/kWh<sub>e</sub>.

*Emissiefactor CO<sub>2</sub> bij gasverbranding  $e_{\text{aardgCO}_2}$*

Deze factor is afkomstig van het Protocol Monitoring Duurzame Energie, concept update 2006 en bedraagt 1,798 kg/m<sup>3</sup>.

*COP compressiekoelmachine  $\text{COP}_{\text{ckm}}$*

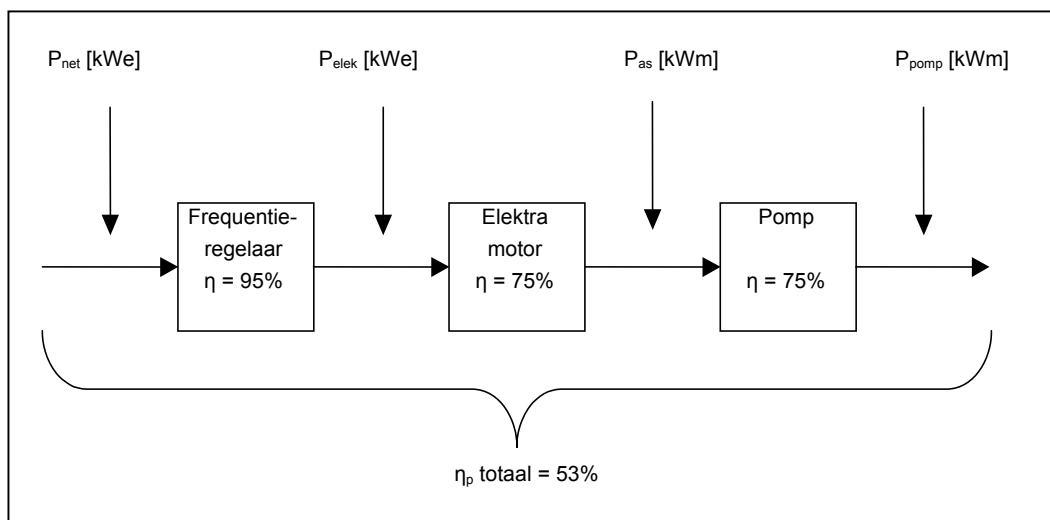
Er wordt een waarde aangenomen van 4,0 (bron: NEN 2916 - Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethode, december 2004). Betrouwbare praktijkinformatie ontbreekt echter. Daarom wordt deze parameter in hoofdstuk 6 onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse.

*Gemiddelde opvoerhoogte  $\Delta h$*

De opvoerhoogte  $\Delta h$  is de druk die de bronpomp moet leveren om het statische en dynamische drukverlies in een koude-/warmteopslaginstallatie te overbruggen. De gemiddelde opvoerhoogte bedraagt 400 kPa bij ontwerpdebiet.

*Totale pomp rendement  $\eta_p$*

Het totale pomp rendement is bepaald aan de hand van gemiddelden van pomp rendementen, rendementen van elektramotoren en van frequentieregelaars. Het totale pomp rendement bedraagt 53%. In figuur 3.5 wordt dit verduidelijkt.



Figuur 3.5 Berekening totaal pomp rendement

**Rendement elektriciteitsproductie, geleverd bij gebruiker  $\eta$**

Deze factor is afkomstig van het Protocol Monitoring Duurzame Energie, concept update 2006 en bedraagt 41,4%.

**Onderste verbrandingswaarde aardgas  $ovw$**

Deze factor is afkomstig van het Protocol Monitoring Duurzame Energie uit 2004 (pagina 61) en bedraagt 31,65 MJ/m<sup>3</sup>.

**Deellastfactor  $\alpha$**

Koude-/warmteopslagsystemen draaien vrijwel nooit 100% op vollast (= vol debiet), maar draaien een groot deel van de tijd op deellast. Omdat de leidingweerstand in een systeem kwadratisch toeneemt met het debiet, is het elektriciteitsverbruik tijdens deellastbedrijf veel lager dan tijdens vollastbedrijf. De deellastfactor  $\alpha$  is een correctiefactor voor dit verminderde elektriciteitsverbruik. Bij een deellastfactor van 1 draait het systeem tijdens het in bedrijf zijn continue op vol debiet. Gemiddeld kan voor koude-/ warmteopslagsystemen een waarde van 0,55 worden gebruikt.

**Rendement verwarmingsketel  $\eta_k$**

Deze factor is afkomstig van het Protocol Monitoring Duurzame Energie, concept update 2006 en bedraagt 90% op onderwaarde.

**Benuttingsfactor koude  $\beta$**

De benutting van warmte en koude uit de bodem is bepalend voor de omvang van de energiebesparing en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Indien zowel de warmte als de koude voor 100% worden benut is de energiebesparing ten opzichte van een gasgestookte ketel en een koelmachine maximaal. Vaak is deze situatie niet aanwezig, en wordt alleen de warmte (of koude) voor 100% benut. Het "restproduct" bij warmtelevering is koude en bij koudelevering is dat warmte. Deze restproducten worden ofwel ten dele benut, ofwel aangewend om te regenereren teneinde een energiebalans te bereiken.

In het laatste geval is er zelfs sprake van een negatieve energiebesparing omdat de beschikbare warmte of koude dan niet nuttig worden ingezet. Om een aanname te kunnen doen van de hoeveelheid energie die nuttig wordt ingezet, zijn op basis van ervaringen met de inzet van koude-/warmteopslag per gebruiksdoel en per concept benuttingsfactoren vastgesteld. In tabel 3.6 zijn de ingeschatte benuttingsfactoren voor warmte en koude weergegeven.

Tabel 3.6 Benuttingsfactoren ( $\beta$ ) warmte- en koudelevering

concept	energielevering	agrarisch	industrie	utiliteit	woningbouw
met warmtepomp	koudelevering	1,0	-	0,8	0,3
	warmtelevering	1,0	-	1,0	1,0
zonder warmtepomp	koudelevering	1,0	1,0	1,0	-
	warmtelevering	0,5	0,0	0,3	-

Opgemerkt dient te worden dat bovenstaande benuttingsfactoren inschattingen zijn. Uit de praktijk blijkt namelijk dat deze factoren kunnen variëren per gebruiksdoel, per project en zelfs per jaar. Om de benuttingsfactoren voor een koude-/warmteopslagsysteem exact vast te stellen zijn veel metingen nodig met gecompliceerde rekenslagen.

#### Besparingskentallen per gebruiksdoel

Tabel 3.7 Kentallen per gebruiksdoel<sup>4</sup>

kental	agrarisch	industrie	utiliteit	woningbouw	alle doelen
CO <sub>2</sub> -emissiereductie [kg/m <sup>3</sup> ]	0,52	0,27	0,51	0,08	<b>0,46</b>
primaire energiebesparing [MJ/m <sup>3</sup> ]	8,3	3,9	7,7	1,2	<b>6,9</b>

Uit tabel 3.7 blijkt dat er grote verschillen bestaan per gebruiksdoel. Omdat slechts één agrarisch project is betrokken, en slechts vijf industriële- en vijf woningbouwprojecten, mogen de kentallen van deze gebruiksdoelen niet als representatief worden beschouwd. Alleen het kental voor utiliteit is gezien de hoeveelheid data representatief.

#### Besparingskentallen per systeemconcept

Tabel 3.8 Kentallen per systeemconcept<sup>5</sup>

kental	afkorting	zonder warmtepomp	met warmtepomp	alle concepten
CO <sub>2</sub> -emissiereductie [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{\text{kental}}$	0,47	0,40	<b>0,46</b>
primaire energiebesparing [MJ/m <sup>3</sup> ]	$E_{\text{kental}}$	7,1	5,6	<b>6,9</b>

<sup>4</sup> Exclusief de CO<sub>2</sub>-emissiereductie en primaire energiebesparing ten gevolge van de warmtelevering door warmtepompen. Deze reductie en besparing is in het protocol bij het onderdeel warmtepompen ondergebracht.

<sup>5</sup> Exclusief de CO<sub>2</sub>-emissiereductie en primaire energiebesparing ten gevolge van de warmtelevering door warmtepompen. Deze reductie en besparing is in het protocol bij het onderdeel warmtepompen ondergebracht.

Bovenstaande kentallen zijn gezien de hoeveelheid beschikbare data voldoende representatief. Uit tabel 3.8 blijkt dat de kentallen van de systemen zonder warmtepomp hoger zijn dan de kentallen van de systemen met warmtepomp. Dit komt omdat de levering van koude dominant is in de systeemconcepten zonder warmtepomp. Op dit type levering kunnen de grootste besparingen worden behaald.

Voor de kentallen van zowel de gebruiksdoelen als de systeemconcepten geldt dat de besparing door toepassing van een warmtepomp *niet* is meegerekend. Hierdoor is de besparing in de woningbouw relatief klein, omdat juist bij dit gebruiksdoel de besparing met een warmtepomp van belang is.

## 4 Functioneren in de praktijk

Uit de analyse van de gegevens uit hoofdstuk 3 blijkt dat de temperatuurverschillen tussen de bronnen bijna twee keer zo klein zijn dan in het ontwerp was aangenomen. Hierdoor moest aanzienlijk meer water worden verpompt om toch aan de energievraag te kunnen voldoen. Opvallend is wel dat dit verschijnsel nauwelijks invloed heeft op de duurzaamheid (SPF) van het bronnensysteem. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de achterliggende oorzaken van het niet optimaal functioneren van installaties. Tevens wordt aangegeven op welke wijze de installatie kan worden verbeterd.

Energieopslag in de bodem is één van de weinige vormen waarbij energie “gespaard” moet worden voor later gebruik. Net als bij een voorraadkast kun je niet onbeperkt energie afnemen, je zult de voorraad ook geregeld moeten aanvullen en deze voorraadkast moet beheerd worden. Een ketel of koelmachine kan altijd putten uit een schijnbaar “onuitputtelijke” bron van energie: gas of elektriciteit. Bij energieopslag werkt dit anders: voorraadbeheer is essentieel voor de energielevering. Dit vergt dus extra aandacht zowel tijdens het ontwerp- en de realisatiefase als ook in de exploitatiefase. Met name in deze fase moet er voor gewaakt worden dat de duurzame installaties ook duurzaam functioneren. Door allerlei invloeden kan de duurzame bedrijfsvoering verstoord worden. Bijvoorbeeld door veranderingen in energieafname, ongewenste verstellingen, optredende storingen tot en met veranderingen in het klimaat. Hierop zal moet worden geanticipeerd en waar nodig geoptimaliseerd. In dit artikel wordt ingegaan op de meest voorkomende optimalisatie mogelijkheden tijdens de exploitatie van ondergrondse energieopslag.

Om de gewenste energiebesparing te garanderen, zijn er in de praktijk nog punten welke verbeteringen behoeven. Hieronder volgt een kort overzicht van aandachtspunten met betrekking tot de toepassing van energieopslag. Hierbij is de focus gelegd op het energieopslagsysteem zelf en wordt niet ingegaan op de efficiëntie van de energiehuishouding bij de gebruiker van de energie.

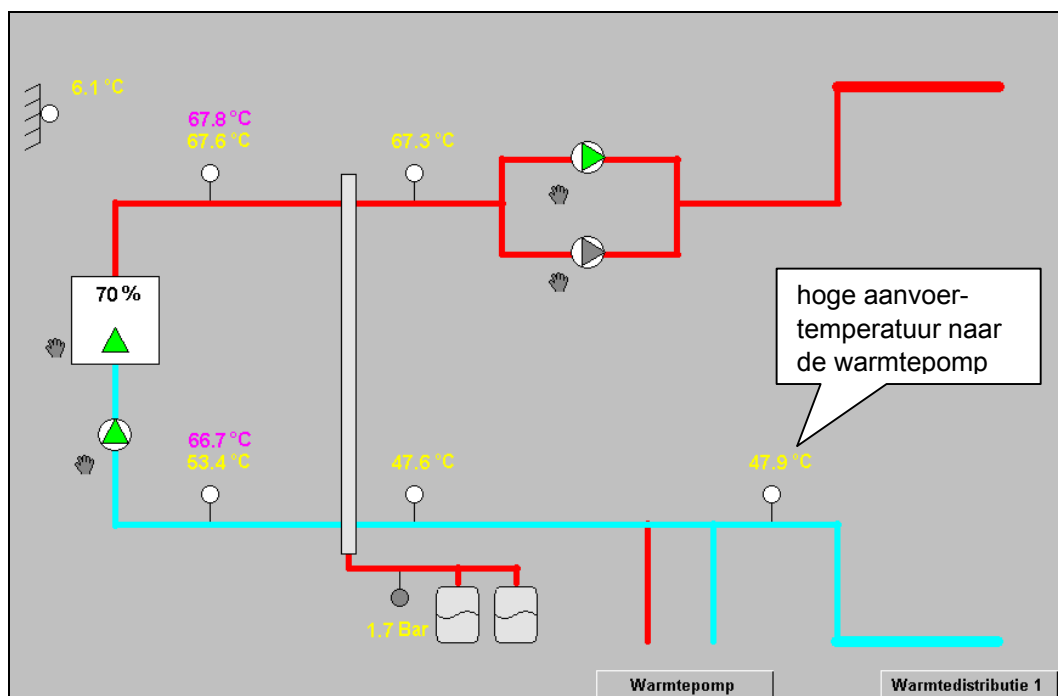
### 4.1 Omvang van de energielevering

In deze paragraaf worden veelvoorkomende oorzaken van een (te) lage energiebesparing behandeld (zie paragraaf 3.5). In veel installatie wordt energieopslag gecombineerd met niet-duurzame installaties zoals ketels en koelmachines. De duurzame installaties behoren daarbij het grootste deel van de totale levering voor hun rekening te nemen, niet duurzame installaties vangen slechts de pieken in de vermogensvraag op. Zo kan voor warmtelevering bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van een combinatie van energieopslag, warmtepomp en ketels. Voor koudelevering wordt koude rechtstreeks door de energieopslag geleverd en kan dezelfde warmtepomp dan dienst doen als koelmachine.

De inzet van energieopslag kan echter te gering zijn doordat het aandeel van niet duurzame opwekkingsinstallaties te groot is. Hierdoor wordt er minder energie en CO<sub>2</sub> bespaard dan mogelijk is. Ook vindt er te weinig opslag van energie plaats wat tot tekorten kan leiden in het volgende seizoen.

Het belangrijkste aandachtspunt voor deze combinaties is de juiste inzet van de opwekkingsinstallaties. Door verschillende oorzaken kunnen de niet duurzame installaties de duurzame installaties van hun plek verdringen:

- a. Door verhoging van de aanvoertemperatuur naar afnemende installaties, kan een warmtepomp buiten spel komen te staan aangezien deze niet met hoge temperaturen kan werken. Het zelfde geldt voor te lage aanvoer temperaturen voor koeling (figuur 4.1).

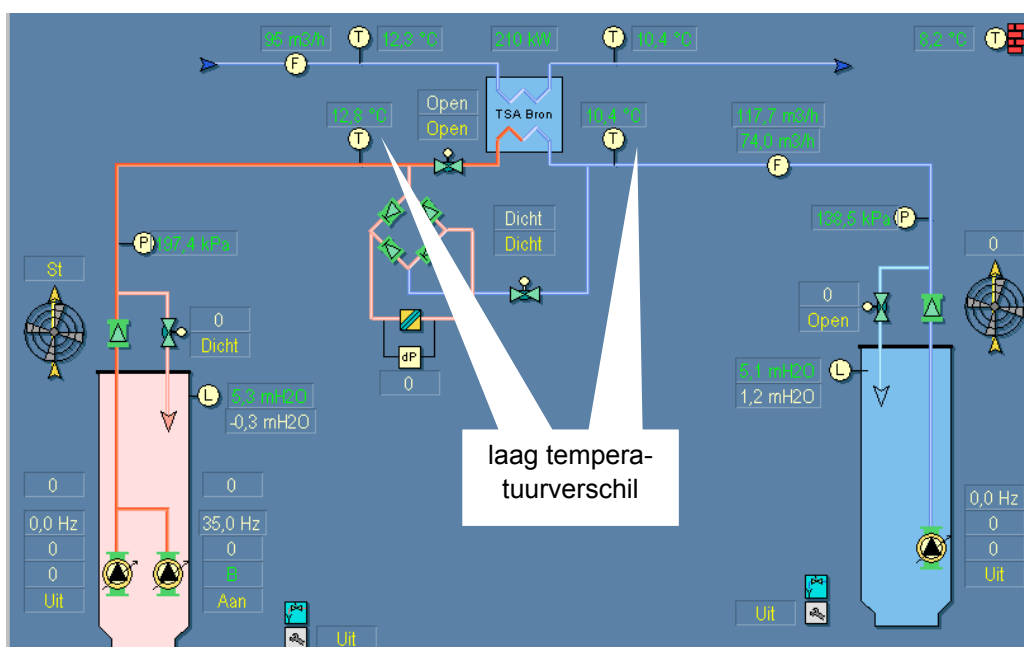


Figuur 4.1 Te hoge aanvoertemperatuur naar de warmtepomp tijdens warmtelevering, waardoor de inbreng van de warmtepomp minimaal is (= niet duurzaam)

- b. Bij koudelevering met energieopslag, zou bij zeer hoge buiten temperaturen een koelmachine ingezet kunnen worden voor aanvullende levering. De machine mag echter pas inschakelen als blijkt dat de levering vanuit de energieopslag ontoereikend is. In de praktijk blijkt echter vaak dat koelmachines al inschakelen voordat er een maximale vraag is en eenmaal in bedrijf ook niet op tijd uitschakelen.

## 4.2 Kwaliteit van de opgeslagen energie

In deze paragraaf worden de mogelijke oorzaken van te lage temperatuurverschillen tussen de bronnen weergegeven (zie paragraaf 3.2). Bij de levering van energie is het verkrijgen van een goed binnenklimaat het doel. Wanneer dit doel bereikt wordt, betekent dit nog niet dat de energieopslag goed functioneert. Het restproduct van de levering wordt opgeslagen in de bodem en bewaard voor een volgend seizoen. Zo is warmte het restproduct van de koudelevering, en gelijktijdig de benodigde energievorm voor het koude seizoen. De hoeveelheid en het temperatuurniveau (de kwaliteit van de opgeslagen energie) moet echter wel zodanig zijn dat deze bruikbaar is om ook in het daarop volgende seizoen weer het gewenste binnenklimaat te creëren (figuur 4.2). Een niet goed geladen bron in het ene seizoen kan een vermogenstekort in het andere seizoen tot gevolg hebben.



Figuur 4.2 Te laag temperatuurverschil tussen de koude en de warme bron (2,4 °C), en een te hoge infiltratietemperatuur in de koude bron (10,4 °C), waardoor het te leveren vermogen vanuit de energieopslag beperkt wordt

Door verschillende oorzaken worden de gewenste brontemperaturen niet altijd gehaald:

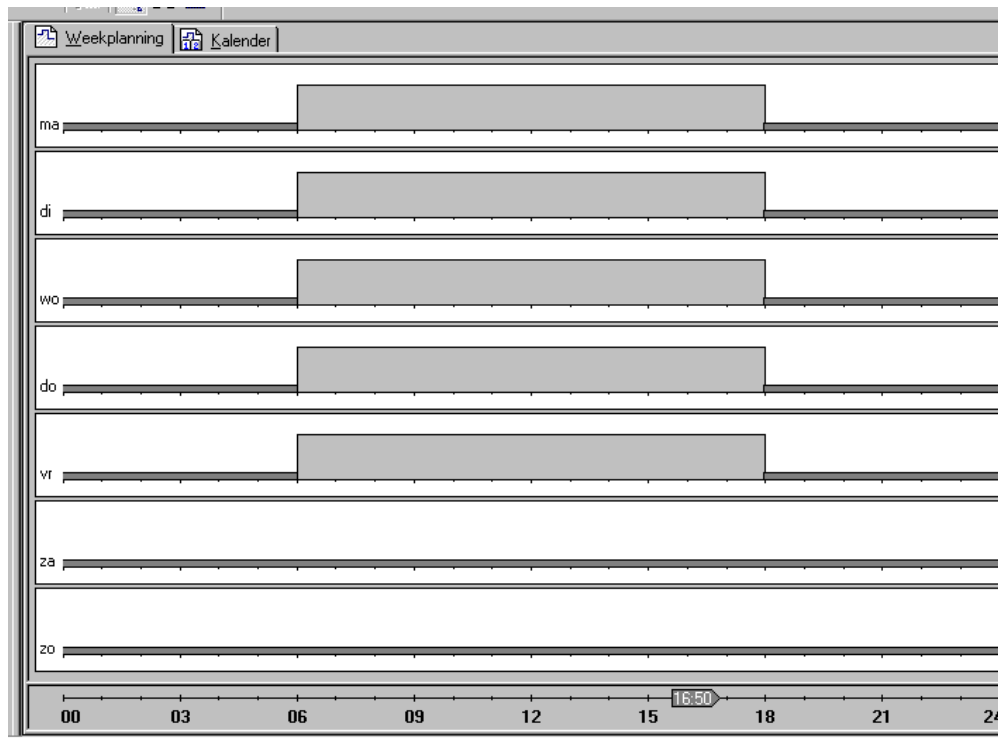
- Door kortsluitingen in aanvoer- en retourleidingen in gebouwcircuits worden koude bronnen geladen met een te hoge temperatuur en warme bronnen met een te lage temperatuur.
- Door ongewenste setpoint instellingen wordt de energie uit de bronnen te weinig uitgenut waardoor een beperkt temperatuurverschil tussen warme en koude bronnen ontstaat. Setpoints worden in de praktijk (te) makkelijk vermeld als gevolg van bijvoorbeeld een storing of een klacht. Bij verstelling van setpoints is kennis van de optimale werking van de installatie vereist maar bij de uitvoerenden niet altijd aanwezig.

### 4.3 Opslaan van energie

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op o.a. het creëren van een energiebalans (zie paragraaf 3.4). Bij veel installaties wordt de bodem geforceerd geladen. Dat wil zeggen dat niet alleen het restproduct van het ene seizoen benut wordt in het andere, maar dat met aanvullende installaties koude of warmte geforceerd in de bodem wordt gebracht. Te denken valt hierbij aan: laden van koude door middel van koeltorens en droge koelers of het laden van warmte met oppervlakte water en asfaltcollectoren. Aangezien deze vorm van energieopslag niet in relatie staat met de directe levering van energie voor het klimatiseren, wordt de noodzaak hiervan makkelijk onderschat. Door het gebrek aan met name het laden van koude kunnen prestaties in de zomer niet waar gemaakt worden. Globaal zijn er een aantal oorzaken aan te wijzen die maken dat de aanwezige voorzieningen voor het laden van extra koude niet altijd goed ingezet worden:

- a. De noodzaak van extra koude laden met behulp van droge koelers, koeltorens of speciaal hiervoor aangepaste luchtbehandelingskasten (met bypass voorziening) wordt niet ingezien. Inzet hiervan wordt gezien als energieverspilling terwijl het juist leidt tot energiebesparing.
- b. Koeltorens presteren ondermaats met name door vervuiling van leidingen en appendages in het koeltorencircuit. Doordat dit niet direct leidt tot problemen in de energievoorziening wordt dit niet opgemerkt.
- c. Luchtbehandelingskasten met bypass voorziening worden buiten kantoortijden niet ingezet voor het koude laden doordat kloktijden van de kasten zodanig zijn ingesteld dat deze alleen binnen kantoortijden operationeel zijn (figuur 4.3).





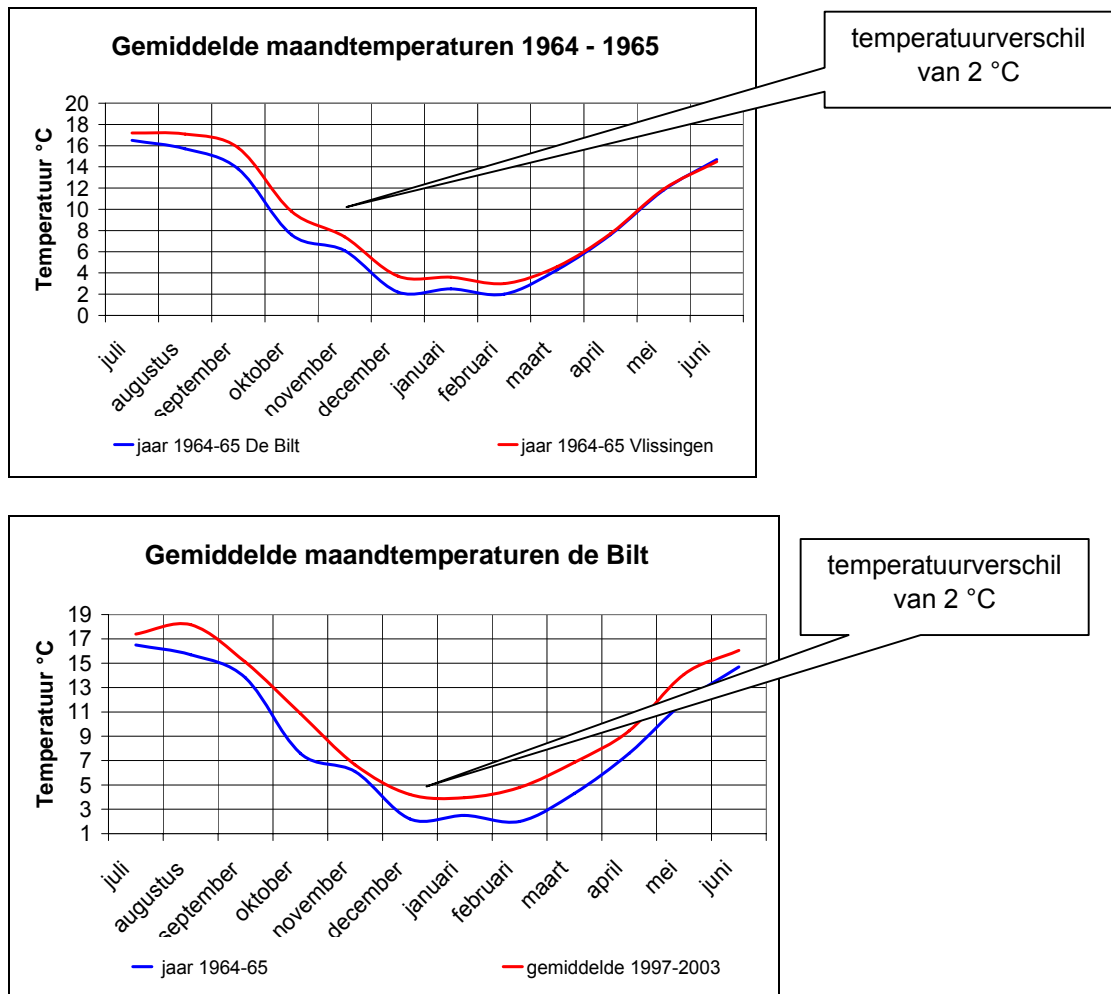
Figuur 4.3 Door niet juiste ingestelde klokprogramma's wordt er alleen op werkdagen van 06:00 uur tot 18:00 uur koude geladen. Er wordt dus geen gebruik gemaakt van de koude buitentemperatuur gedurende de nachten en in het weekend.

#### 4.4 Afwijkend energie-afnamepatroon

Voorafgaand aan de realisatie van een energieopslag wordt berekend wat het verwachte energieverbruik is. Één en ander afhankelijk van het gebruik van het pand en de bouwkundige aspecten. Daaruit voortvloeiend zullen ook de mogelijke aanvullende laadvoorzieningen zoals koeltorens gedimensioneerd worden.

Wanneer gebouw en energieopslag eenmaal in bedrijf genomen zijn, kan de werkelijke energieafname afwijken van wat er van te voren berekend is. Hierdoor kan de energiebalans in de bodem in gevaar komen. De opbouw van voorraad in het ene seizoen is onvoldoende waardoor de energievraag in het andere seizoen onvoldoende afgedekt is. De oorzaak hiervan kan heel divers zijn:

- Het gebruik van het pand wijkt af doordat er sprake is van bijvoorbeeld een afwijkend benutting van het pand met een daaraan gerelateerde andere energievraag.
- De opbouw van energievoorraad met de aanvullende laadvoorzieningen levert minder op door afwijking van het werkelijk optredende klimaat. Zo kan een optimistische inschatting ontstaan wanneer deze is doorgerekend met klimaatgegevens van De Bilt 1964/65 terwijl de koeltoren in een stedelijke omgeving aan de kust in het jaar 2007 deze verwachtingen niet waar kan maken (figuur 4.4).



Figuur 4.4 Gemiddelde temperaturen afhankelijk van plaats en tijd

## 4.5 Vergunningsverplichtingen

Veel energieopslagsystemen zijn vergunningplichtig in het kader van de Grondwaterwet. Met de afgegeven vergunning worden de belangen van de eigenaar van de energieopslag beschermd. In de vergunning zijn ook voorschriften en randvoorwaarden opgenomen zoals het registreren van opgepompte grondwaterhoeveelheden, afgegeven energiehoeveelheden, geïnfiltreerde temperaturen, het bemonsteren en analyseren van het grondwater ter bepaling van de kwaliteit ervan of het meten van grondwaterstanden (figuur 4.5). Het niet voldoen aan de in de vergunning gestelde voorwaarden of het niet nakomen van de vergunningvoorschriften kan leiden tot aanmaningen van de provincie (het bevoegde gezag in dezen) en bestuurs- of strafrechtelijke maatregelen zoals dwangsommen, boetes en het stopzetten van de installatie.

Om een aantal redenen wil de vergunning nogal eens in de vergetelheid raken, een aantal oorzaken zijn hiervoor aan te geven:

- Er is geen directe relatie zichtbaar (of voelbaar) met de energielevering.
- Er is geen bekendheid met de afgegeven vergunning en voorschriften, of de verantwoordelijkheid voor het opvolgen hiervan is onduidelijk.
- De noodzaak van het nakomen van de vergunning wordt onderschat. Hetzelfde geldt ook voor de bescherming die de vergunning geeft en de rechten die eraan ontleent kunnen worden
- Er is geen goede registratie van gegevens in de gebouwautomatisering waardoor de door de provincie gevraagde gegevens niet overlegd kunnen worden. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van een registratie module die wel aan de eisen van de provincies voldoet.



Figuur 4.5 Voorbeeld registratiemodule die aan de eisen van de provincies voldoet

## 4.6 Optimalisering van processen

Om systemen met energieopslag op duurzame wijze in te zetten zijn enkele optimalisaties van belang. Dit zijn voornamelijk:

- het bewerkstelligen van eenvoud in ontwerp en realisatie;
- het realiseren van flexibiliteit;
- rekening houden met het BOA-principe.

### **Eenvoud**

De grote uitdaging voor ontwerpers is om duurzame installaties zodanig te ontwerpen dat deze in de exploitatiefase te begrijpen en te beheren is. Dat wil zeggen: logisch, inzichtelijk en eenvoudig. Er is dus een intensieve interactie nodig tussen het team van ontwerpers, bouwers en beheerders om te komen tot het gewenste eindresultaat: een betrouwbare installatie die het gewenste comfort tegen een zo laag mogelijk energieverbruik kan leveren gedurende lange tijd.

### **Flexibiliteit**

Het toekomstig gebruik van een gebouw is niet altijd te voorspellen, evenals de mogelijke invloed van klimaatveranderingen. Het blijft dus zaak om in energieopslaginstallaties vrijheden in te bouwen die het mogelijk maken om in te spelen op een veranderende energiehuishouding. Warmtepompen in de basislast geven een zekere mate van onafhankelijkheid van het klimaat, aanvullende laadvoorzieningen maken het mogelijk extra koude of warmte in de bodem te brengen, een niet al te krap aangevraagde vergunning geeft spelingsruimte ten aanzien van een afwijkende energievraag, een combinatie van opwekkingsinstallaties zoals koelmachines, koelers, warmtepompen, ketels en energieopslag maakt het mogelijk om in te spelen op deze veranderingen. Zo kan een robuust concept gerealiseerd worden dat tevens de beloofde besparing waar maakt.

### **BOA**

Om in de exploitatiefase de juiste beslissingen te kunnen nemen in het beheer van energieopslag is kennis van de gehele installatie en de bedoeling ervan onontbeerlijk. Inzicht in de gewenste werking behelst de volgende drie fasen:

- het bronsysteem (B);
- het opwekkings/omzettingssysteem (O);
- het afgiftesysteem (A).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

#### **Koude-/warmteopslag is duurzaam en robuust**

De gemiddelde SPF (Seasonal Performance Factor) van de koudelevering bedraagt 42. De SPF van de warmtelevering bedraagt gemiddeld 49. Geconcludeerd kan daarom worden dat de gemeten waarden hoger zijn dan de ontwerpwaarden (= een COP van circa 40). Gezien de lagere temperatuurverschillen zou dit niet te verwachten zijn. De reden dat toch een grotere SPF wordt bereikt is dat de systemen gedurende het seizoen in werkelijkheid vaak op deellast draaien, waardoor de elektrische energie benodigd voor de bronpompen flink vermindert.

#### **Meer waterverplaatsing dan verwacht**

44% van alle meetjaren kent een overschrijding van de waterverplaatsing die in het ontwerp was aangenomen. De reden hiervan is dat het temperatuurverschil tussen de bronnen circa twee keer lager is dan in het ontwerp was aangenomen.

#### **Temperatuurverschillen tussen de bronnen is lager**

De gemiddelde temperatuur tussen de bronnen ten behoeve van de koudelevering bedroeg 7,3 °C in de ontwerpfase. In werkelijkheid is dit gemiddeld 3,8 °C. De gemiddelde temperatuur tussen de bronnen ten behoeve van de warmtelevering bedroeg 7,4 °C in de ontwerpfase. In werkelijkheid is dit 4,3 °C. De temperatuurverschillen zijn dus ongeveer twee keer lager dan was aangenomen.

#### **Energiebalans is moeilijk te creëren**

De hoeveelheid koude dat door alle projecten tezamen in de bodem wordt geïnjecteerd wijkt 10% af van de hoeveelheid warmte dat in de bodem wordt gebracht. Dit betekent dat alle projecten tezamen - landelijk gezien - een vrijwel sluitende energiebalans creëren. Op projectbasis is dit niet het geval. Integendeel, een grote meerderheid van de projecten (respectievelijk 76 en 67%) kan niet voldoen aan het voorschrift om een onbalans kleiner dan 10 of 15% te verwezenlijken.

#### **CO<sub>2</sub>-emissiereductie en energiebesparing**

De gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissiereductie en primaire energiebesparing bedragen respectievelijk 0,46 kg en 6,9 MJ per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater. Deze kentallen zijn berekend ten opzichte van een referentiesituatie met een cv-ketel voor warmtelevering, en een compressie koelmachine voor de koudelevering.

## 5.2 Aanbevelingen

### **Gebruik de juiste ontwerptemperaturen**

Op basis van de meetgegevens zou tijdens het ontwerp rekening moeten worden gehouden met een lager temperatuurverschil dan de 8 °C die nu wordt aangenomen. Dit is niet zozeer van belang voor het rendement (SPF) van de installatie, maar voor de hoeveelheid te verplaatsen grondwater. Door lagere temperatuurverschillen neemt de onttrokken hoeveelheid grondwater toe waardoor het risico bestaat dat niet wordt voldaan aan de vergunningvoorschriften. Aanbevolen wordt daarom om de verplaatste grondwaterhoeveelheid te baseren op een gemiddeld temperatuurverschil van circa 4 °C. *Hierbij wordt opgemerkt dat door een goed beheer van de installatie het temperatuurverschil tot het gewenste ontwerpniveau kan worden verhoogd.* Tevens dient in de berekening van de verplaatste grondwaterhoeveelheid rekening te worden gehouden met klimatologisch extreme jaren waarbij incidenteel meer water wordt verpompt.

### **Verbeter het functioneren van de installatie**

Uit de meetgegevens van de onderzochte projecten blijkt dat door een te klein temperatuurverschil er teveel water wordt verpompt. Ook is in de meeste gevallen geen sprake van een (langjarige) energiebalans. Om deze aspecten en de werking van de energieopslag te verbeteren worden daarom de volgende vijf aanbevelingen gedaan:

- laat de bodem voldoende energie leveren ten opzichte van andere aanwezige opwekkingsinstallaties (zoals bijvoorbeeld een gasgestookte ketel);
- bewaak de kwaliteit van de opgeslagen energie;
- sla op tijd energie op in de bodem;
- controleer op een afwijkend energie-afnamepatroon;
- houdt rekening met verplichtingen in de afgegeven vergunning.

### **Optimaliseer de processen**

Op de eerste plaats dient *de ontwerper* eenvoud in ontwerp en realisatie aan te brengen voor een optimaal functionerend systeem. Een installatie moet na oplevering te begrijpen en te beheren zijn. Met andere woorden, de installatie moet logisch, inzichtelijk en eenvoudig zijn. Op de tweede plaats is het toekomstig gebruik van een gebouw niet altijd te voorspellen, evenals de mogelijke invloed van klimaatveranderingen. Het is dus belangrijk voor *de ontwerper* om in energieopslaginstallaties flexibiliteit in te bouwen die het mogelijk maken om in te spelen op een veranderende energiehuishouding. Op de derde plaats is kennis van de gehele installatie (BOA), en de werking ervan, van essentieel belang. Dit is van belang voor *de beheerder* van het gebouw en de installatie.

### **Onderzoek het verband tussen gebruiksdoel en besparing**

In dit onderzoek kon geen nauwkeurig verband worden gelegd tussen gebruiksdoel en optredende energiebesparing. Omdat per gebruiksdoel een verschillend concept wordt gehanteerd is dit verband er zeer waarschijnlijk wel. Aanbevolen wordt derhalve om meer meetgegevens van agrarische, industriële en woningbouwprojecten te verzamelen en te analyseren.

**Evalueer de kentallen regelmatig**

Door de toename van het aantal projecten met een warmtepomp zullen ook de kentallen wijzigen. Daarnaast vindt er een grote groei plaats van koude-/warmteopslag in de glastuinbouw en in de woningbouw. Evalueer daarom regelmatig de kentallen, bij voorkeur jaarlijks.

## Bijlage 1

### Factsheet koude-/warmteopslag 2006

Bron: Protocol Monitoring Duurzame Energie 2006 (SenterNovem)



koude-/warmteopslag	afkorting	eenheden en formules
totaal verplaatst grondwater t.b.v. koude- en warmtelevering	$V_{\text{totaal}}$	meting (monitoring) [m <sup>3</sup> ]
systeem zonder warmtepomp	$\epsilon_{\text{kental,-wp}} = 0,47 \text{ kg/m}^3$	o.b.v. monitoringsgegevens
	$E_{\text{kental,-wp}} = 7,1 \text{ MJ/m}^3$	o.b.v. monitoringsgegevens
	vermeden CO <sub>2</sub> -emissie: $\epsilon_{\text{netto,-wp}} = \epsilon_{\text{kental,-wp}} * V_{\text{totaal}}$	[kg CO <sub>2</sub> ]
	besparing primaire energie: $E_{\text{prim,-wp}} = E_{\text{kental,-wp}} * V_{\text{totaal}}$	[MJ]
systeem met warmtepomp	$\epsilon_{\text{kental,koeling,+wp}} = 0,40 \text{ kg/m}^3$	o.b.v. monitoringsgegevens
	$E_{\text{kental,koeling,+wp}} = 5,6 \text{ MJ/m}^3$	o.b.v. monitoringsgegevens
	fractie grondwater ten behoeve van koeling $\theta_{\text{koeling}} = 0,50$ <sup>(1)</sup>	gemiddelde gemeten waarde gedurende 1998 t/m 2005 [-]
	vermeden CO <sub>2</sub> -emissie: $\epsilon_{\text{netto,+wp}} = \epsilon_{\text{kental,koeling,+wp}} * V_{\text{totaal}} * \theta_{\text{koeling}}$	[kg CO <sub>2</sub> ]
	besparing primaire energie: $E_{\text{prim,+wp}} = E_{\text{kental,koeling,+wp}} * V_{\text{totaal}} * \theta_{\text{koeling}}$	[MJ]
<b>Voorbeeld 1: systeem zonder warmtepomp</b>		
verplaatst grondwater	$V_{\text{totaal}}$	100.000 m <sup>3</sup>
vermeden CO <sub>2</sub> -emissie	$\epsilon_{\text{netto,-wp}} = 0,47 * 100.000$	47 ton CO <sub>2</sub>
besparing primaire energie	$E_{\text{prim,-wp}} = 7,1 * 100.000$	710 GJ
<b>Voorbeeld 2: systeem met warmtepomp</b>		
verplaatst grondwater	$V_{\text{totaal}}$	100.000 m <sup>3</sup>
vermeden CO <sub>2</sub> -emissie	$\epsilon_{\text{netto,+wp}} = 0,40 * 100.000 * 0,50$	20 ton CO <sub>2</sub>
besparing primaire energie	$E_{\text{prim,+wp}} = 5,6 * 100.000 * 0,50$	280 GJ

<sup>(1)</sup> In de systematiek van het protocol wordt bij systemen met een warmtepomp alleen de energiebesparing en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie van de koudelevering meegerekend. De besparing door de warmtelevering telt in de systematiek van het protocol mee bij het onderdeel warmtepompen. Om dit te verrekenen is de fractie grondwater ten behoeve van koeling  $\theta_{\text{koeling}}$  ingevoerd die gebaseerd is op werkelijke meetgegevens tussen 1998 en 2005. Uit de meetgegevens blijkt dat over deze periode voor koudelevering 6,3 miljoen m<sup>3</sup> water is gebruikt. Voor de warmtelevering is dit 6,1 miljoen m<sup>3</sup>. Dit betekent dat 51% van het water wordt gebruikt voor koudelevering. In het factsheet wordt daarom een fractie grondwater ten behoeve van koeling ( $\theta_{\text{koeling}}$ ) van 0,50 aangehouden. Deze fractie kan veranderen in de tijd. Aanbevolen wordt daarom om deze fractie over maximaal drie jaar opnieuw vast te stellen.

## Toelichting op het voorgestelde factsheet koude-/warmteopslag 2006

### Basisgegevens:

- het aantal projecten;
- de locatie;
- systeemconcept (wel of geen warmtepomp);
- gebruiksdoel (utiliteit, woningbouw, agrarisch of industrie);
- het jaar van ingebruikname;
- verplaatste (ontwerp)grondwaterhoeveelheid.

### Referentietechnologie:

- energiebesparing (op aardgas en/of elektriciteit);

### Opmerkingen:

- Om de kentallen te bepalen zijn meetgegevens van 67 representatieve projecten verwerkt die gezamenlijk 233 meetjaren tellen. De oudste meetgegevens zijn uit 1994. Het betreft circa 12% van het totaal aantal gerealiseerde projecten.
- De verdeling van het aantal onderzochte projecten en de totale waterverplaatsing per gebruiksdoel is:
  - o 56 projecten utiliteit (50,8 miljoen m<sup>3</sup>);
  - o 5 projecten woningbouw (1,8 miljoen m<sup>3</sup>);
  - o 1 project agrarisch (0,85 miljoen m<sup>3</sup>);
  - o 5 projecten industrie (11,4 miljoen m<sup>3</sup>).Gezien het geringe aantal projecten in de woningbouw, de agrarische sector en de industrie kunnen vooralsnog geen betrouwbare kentallen per gebruiksdoel worden vastgesteld.
- De verdeling van het aantal onderzochte projecten en de totale waterverplaatsing per systeemconcept is:
  - o 28 projecten met warmtepomp (12,4 miljoen m<sup>3</sup>);
  - o 39 projecten zonder warmtepomp (52,4 miljoen m<sup>3</sup>).Het aantal gegevens is voldoende betrouwbaar om de kentallen uit te splitsen voor systemen met en systemen zonder warmtepomp.
- Voor projecten met een warmtepomp wordt alleen de besparing door de koudelevering meegeteld. De besparing door de warmtelevering telt in de systematiek van het protocol mee bij het onderdeel warmtepompen. Om dit te verrekenen is een fractie grondwater ten behoeve van koeling bepaald die gebaseerd is op werkelijke meetgegevens.
- De kentallen zijn bepaald per m<sup>3</sup> verplaatst grondwater.
- Voor systemen zonder warmtepomp geldt:
  - o  $\epsilon_{\text{kental,-wp}} = 0,47 \text{ kg/m}^3$ ;
  - o  $E_{\text{kental,-wp}} = 7,1 \text{ MJ/m}^3$ .
- Voor systemen met warmtepomp geldt:
  - o  $\epsilon_{\text{kental,kou,+wp}} = 0,40 \text{ kg/m}^3$ ;
  - o  $E_{\text{kental,kou,+wp}} = 5,6 \text{ MJ/m}^3$ .

Fractie water t.b.v. koudelevering = 0,50. Dit wil zeggen: de helft van het water wordt gebruikt voor warmtelevering, en de helft voor koudelevering (op basis van meetgegevens 1998-2005).

## **Bijlage 2**

### **Belangrijkste gegevens en meetresultaten van de onderzochte projecten**

## Toelichting op de tabel

<b>kolom</b>	<b>eenheid</b>	<b>betekenis</b>
nr	-	projectnummer (willekeurig)
jaar van monitoring	-	meetgegevens gedurende het betreffende jaar
gebruiksdoel	-	a = agrarisch, i = industrie; u = utiliteit; w = woningbouw
systeemconcept	-	1 = met warmtepomp; 2 = zonder warmtepomp
uurdebiet winter	m <sup>3</sup> /h	maximaal pompvermogen in de winter
uurdebiet zomer	m <sup>3</sup> /h	maximaal pompvermogen in de zomer
V ontwerp warmtelevering	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater in de winter aangenomen tijdens ontwerp
V ontwerp koudelevering	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater in de zomer aangenomen tijdens ontwerp
V ontwerp totaal	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater zomer en winter aangenomen tijdens ontwerp
V werkelijk warmtelevering	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater in de winter in werkelijkheid
V werkelijk koudelevering	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater in de zomer in werkelijkheid
V werkelijk totaal	m <sup>3</sup> /jaar	verpompt grondwater in de winter en zomer in werkelijkheid
energie warmtelevering	MWh <sub>t</sub>	energielevering uit de bodem tijdens de winter in werkelijkheid
energie koudelevering	MWh <sub>t</sub>	energielevering uit de bodem tijdens de zomer in werkelijkheid
energie totaal	MWh <sub>t</sub>	energielevering uit de bodem tijdens de winter en zomer in werkelijkheid
Delta T ontwerp warmtelevering	°C	temperatuurverschil tussen de bronnen in de winter aangenomen tijdens ontwerp
Delta T ontwerp koudelevering	°C	temperatuurverschil tussen de bronnen in de zomer aangenomen tijdens ontwerp
Delta T werkelijk warmtelevering	°C	temperatuurverschil tussen de bronnen in de winter in werkelijkheid
Delta T werkelijk koudelevering	°C	temperatuurverschil tussen de bronnen in de zomer in werkelijkheid

<b>kolom</b>	<b>eenheid</b>	<b>betekenis</b>
benuttingsfactor koude	-	zie tabel hieronder
benuttingsfactor warmte	-	zie tabel hieronder
SPF	-	Seasonal Performance Factor
energiebesparing	GJ	totale energiebesparing dat in het meetjaar heeft plaatsgevonden
CO <sub>2</sub> emissiereductie	ton	totale CO <sub>2</sub> emissiereductie dat in het meetjaar heeft plaatsgevonden
kental E-besparing	MJ/m <sup>3</sup>	energiebesparing per m <sup>3</sup> verplaatst grondwater
kental CO <sub>2</sub>	kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> emissiereductie per m <sup>3</sup> verplaatst grondwater

<b>Benuttingsfactoren</b>		<b>agrarisch</b>	<b>industrie</b>	<b>utiliteit</b>	<b>woning</b>
<b>met wp</b>	<b>koude</b>	1,0	x	0,8	0,3
	<b>warmte</b>	1,0	x	1,0	1,0
<b>zonder wp</b>	<b>koude</b>	1,0	1,0	1,0	x
	<b>warmte</b>	0,5	0,0	0,3	x

<b>Kleur van de getallen</b>	
<b>Rood</b>	ontwerpgegevens
<b>Zwart</b>	gemeten waarden
<b>Blauw</b>	berekende waarden

nr.	jaar van monitoring	systemconcept	urbiediet ontwerp koudelevering			urbiediet ontwerp warmtelevering			Resultaten koudelevering			Resultaten warmtelevering			Resultaten totaal (warm en koud)																							
			m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	SPF	Engiebesparing	CO2 emissiereductie	Kentel energiebesparing	kg/m <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup>	ton	GL	CO2 emissiereductie	Kentel energiebesparing	kg/m <sup>3</sup>																			
<b>Agrarisch</b>																																						
1	1996	2	50	50	101,675	25,801	127,476	580	395	975	6,0	-4,9	13,2	1	0,5	69	833	59	32,28	2,29	49	1,058	59	10,4	0,58	118	14,8	1,891	59	32,28	2,29	49	1,058	59	10,4	0,58		
	1997	2	50	50	70,808	18,342	89,150	384	70	454	6,0	-4,7	3,3	1	0,5	33	134	39	9,8	0,55	47	697	39	9,8	0,55	831	48	9,3	39	9,8	0,55	831	48	9,3	39	9,8	0,55	
	2002	2	60	60	130,000	67,085	179,384	210	479	689	6,0	-3,5	6,1	1	0,5	62	974	69	14,30	1,03	35	368	20	-2,6	4,5	1	1,32	74	6,6	0,41	1,32	74	6,6	0,41	1,32	74	6,6	0,41
	2003	2	60	60	130,000	52,299	118,476	363	292	655	6,0	-2,6	4,5	1	0,5	45	578	41	10,30	0,73	26	603	33	-2,1	5,3	1	1,84	74	6,6	0,41	1,84	74	6,6	0,41	1,84	74	6,6	0,41
	2004	2	60	60	130,000	131,186	164,301	326	205	531	6,0	-2,1	5,3	1	0,5	54	412	29	12,46	0,88	22	520	28	-1,9	5,9	1	933	57	5,7	0,35	933	57	5,7	0,35	933	57	5,7	0,35
	2005	2	60	60	130,000	142,186	170,845	313	196	509	6,0	-1,9	5,9	1	0,5	59	397	28	13,87	0,98	19	483	25	-3,4	0,18	1	881	54	5,2	0,31	881	54	5,2	0,31	881	54	5,2	0,31
			60	60	620,461	229,171	849,632	2,176	1,637	3,813	6,0	-3,0	6,2			54	3,329	236	14,5	1,03	33	3,730	203	6,0	0,33		7,059	439	8,3	0,52	7,059	439	8,3	0,52	7,059	439	8,3	0,52
<b>Industrie</b>																																						
2	2004	2	90	90	170,900	185,940	356,840	1,043	992	2,035	-6,0	-5,3	4,6	1	0	46	1,970	140	10,60	0,75	53	-171	-12	-1,0	-0,07		127	5,0	0,36	127	5,0	0,36	127	5,0	0,36			
	2005	2	90	90	130,000	255,000	385,000	439	1,152	1,591	-6,0	-2,9	3,9	1	0	39	2,249	159	8,82	0,62	29	-130	-9	-1,0	-0,07		150	5,5	0,39	150	5,5	0,39	150	5,5	0,39			
	2005	2	45	45	20,000	68,760	88,760	132	182	314	-8,0	-5,5	3,2	1	0	33	347	25	7,20	0,51	56	-247	-1	-1,0	-0,07		23	4,8	0,34	23	4,8	0,34	23	4,8	0,34			
	2005	2	125	125	100,000	222,326	281,495	277	4,410	679	-8,0	-10,0	1,6	1	0	16	651	46	2,93	0,21	41	-59	-4	-1,0	-0,07		42	2,1	0,15	42	2,1	0,15	42	2,1	0,15			
	2001	2	50	50	0	197,650	197,650	0	2,410	2,410	-	0,0	10,5	1	0	106	5,042	357	25,51	1,81	-	0	0	0	0	0	5,042	357	25,5	1,81	5,042	357	25,5	1,81	5,042	357	25,5	1,81
	2002	2	50	50	0	167,351	167,351	0	2,080	2,080	-	0,0	10,7	1	0	108	4,353	308	26,01	1,84	-	0	0	0	0	0	4,353	308	26,0	1,84	4,353	308	26,0	1,84	4,353	308	26,0	1,84
	1997	2	200	200	1,600,000	214,813	429,625	63	513	576	-5,0	-3,0	-0,3	1	0	21	900	64	4,19	0,30	-	-215	-15	-1,0	-0,07		48	1,6	0,11	48	1,6	0,11	48	1,6	0,11			
	1998	2	200	200	1,600,000	850,355	1,698,533	110	2,619	2,729	-5,0	-3,0	-0,4	1	0	37	4,843	343	5,71	0,40	4	-853	-60	-1,0	-0,07		283	2,3	0,17	283	2,3	0,17	283	2,3	0,17			
	1999	2	200	200	1,600,000	694,482	1,365,367	296	2,669	2,965	-5,0	-3,0	-0,4	1	0	35	5,130	363	7,65	0,54	4	-696	-49	-1,0	-0,07		314	3,2	0,23	314	3,2	0,23	314	3,2	0,23			
	2000	2	200	200	1,600,000	816,855	1,597,334	540	2,848	3,388	-5,0	-3,0	-0,6	1	0	32	5,409	383	6,93	0,49	6	-819	-58	-1,0	-0,07		325	2,9	0,20	325	2,9	0,20	325	2,9	0,20			
	2001	2	200	200	1,600,000	678,755	1,295,969	622	2,486	3,108	-5,0	-3,0	-0,8	1	0	35	4,783	339	7,73	0,55	8	-679	-48	-1,0	-0,07		291	3,2	0,22	291	3,2	0,22	291	3,2	0,22			
	2002	2	200	200	1,600,000	45,668	709,537	401	2,107	2,508	-5,0	-3,0	-0,6	1	0	26	3,889	274	5,45	0,38	76	-46	-3	-1,0	-0,07		271	5,1	0,36	271	5,1	0,36	271	5,1	0,36			
	2002	2	200	200	1,600,000	532,366	1,368,261	884	2,324	3,208	-5,0	-3,0	-1,4	2,8	1	14	4,214	279	5,04	0,36	14	-534	-38	-1,0	-0,07		261	2,7	0,19	261	2,7	0,19	261	2,7	0,19			
	2003	2	200	200	1,600,000	955,000	1,434,350	617	2,820	3,437	-5,0	-3,0	-0,9	2,8	1	28	5,259	373	6,05	0,43	9	-866	-40	-1,0	-0,07		332	3,3	0,23	332	3,3	0,23	332	3,3	0,23			
			200	200	4,776,874	6,624,888	11,401,761	5,424	25,604	31,028	-5,7	-4,0	-1,0	3,3		41	49,019	3,472	7,4	0,52	25	-4,790	-339	-1,0	-0,07		44,229	3,153	3,9	44,229	3,153	3,9	44,229	3,153	3,9			
<b>Utiliteit</b>																																						
7	2002	2	110	110	18,099	75,726	93,825	58	202	260	-8,0	-2,8	2,3	1	0,3	23	363	26	4,80	0,34	28	51	3	2,8	0,15		28	4,4	0,30	28	4,4	0,30						
	2003	2	110	110	34,000	64,798	103,135	183	280	463	-8,0	-4,1	3,7	1	0,3	37	544	39	8,39	0,59	41	181	10	4,7	0,25		48	7,0	0,47	48	7,0	0,47						
	2004	2	110	110	34,000	46,311	80,658	341	236	577	-8,0	-6,6	4,4	1	0,3	44	467	33	10,08	0,71	67	365	20	8,2	0,45		53	9,2	0,59	53	9,2	0,59						
	2005	2	110	110	34,000	46,589	82,773	277	309	586	-8,0	-6,6	5,7	1	0,3	58	625	44	13,42	0,95	66	296	16	8,2	0,45		61	11,1	0,73	61	11,1	0,73						
	1998	2	110	110	116,000	54,804	110,897	300	292	682	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	46	580	41	10,56	0,75	60	412	23	7,3	0,40		64	8,9	0,57	64	8,9	0,57						
	1999	2	110	110	116,000	30,564	92,270	223	149	372	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	42	293	21	9,60	0,68	31	206	11	3,3	0,18		32	8,4	0,34	32	8,4	0,34						
	2000	2	110	110	116,000	63,934	94,715	202	343	545	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	45	680	48	10,31	0,73	61	214	12	7,4	0,41		60	9,4	0,63	60	9,4	0,63						
	2001	2	110	110	116,000	57,950	119,210	399	350	749	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	40	832	59	10,01	0,71	63	235	13	7,7	0,40		72	9,4	0,61	72	9,4	0,61						
	2002	2	110	110	116,000	83,127	113,480	221	421	617	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	44	832	59	10,01	0,71	63	235	13	7,7	0,40		72	9,4	0,61	72	9,4	0,61						
	2003	2	110	110	116,000	92,295	154,153	302	315	617	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	40	592	42	6,42	0,45	42	300	16	4,9	0,26		58	5,8	0,38	58	5,8	0,38						
	2004	2	110	110	116,000	61,858	92,295	202	315	617	-5,5	-6,2	-0,4	1	0,3	59	2,225	158	10,93	0,77	60	0	0	0	0	0	2,225	158	10,9	0,77	2,225	158	10,9	0,77				
	2005	2	110	110	116,000	354,495	558,171	2,455	1,397	3,852	-8,5	-6,6	5,9	0,8	1	99	3,041	115	10,98	0,78	66	0	0	0	0	0	3,041	115	11,0	0,78	3,041	115	11,0	0,78				
	2006	2	110	110	116,000	278,518	455,339	2,123	1,908	4,031	-8,5	-6,6	5,9	0,8	1	29	1,668	118	4,77	0,34	12	0	0	0	0	0	1,668	118	4,8	0,34	1,668	118	4,8	0,34				
	2007	2	110	110	116,000	360,000	618,450	380	1,161	1,541	-8,0	-1,2	2,9	0,8	1	36	1,580	115	6,17	0,44	49	0	0	0	0	0	1,580	112	6,2	0,44	1,580							







