

ONDERZOEK DUURZAME WARMTOPWEKKING

Fort Honswijk

te

Houten



2 februari 2022
021.12463.001.adv.definitief

INHOUDSOPGAVE

Contactinformatie	3
1. Inleiding.....	4
1.1. Voorbehoud.....	4
1.2. Bijlage	5
2. Samenvating	6
3. Uitgangspunten.....	7
3.1. Financieel	7
3.2. CO2-emissie waarden	7
3.3. Bouwkundig.....	7
3.4. Locatie	8
3.5. Bepaling benodigde vermogens voor verwarming.....	8
4. Verkenning mogelijkheden	10
5. Centrale warmteopwekking	11
5.1. Biomassa ketel	11
5.2. Aquathermie (warmtepomp aangesloten op oppervlakte water)	12
5.3. Hoog temperatuur warmtepompen op bodembronnen	14
6. Lokale warmteopwekking.....	17
6.1. Pellet ketel.....	17
6.2. Luchtwater warmtepomp	19
7. Warmtapwatervoorziening	21
7.1. Hotel	21
7.2. Restaurant.....	21
8. Elektriciteitsopwekking.....	22
8.1. PV-panelen op het fort.....	22
8.2. PV-panelen nabij het fort.....	23
9. Conclusie en Advies	24
9.1. Conclusie	24
9.2. Advies.....	25
Olifantgras.....	26

CONTACTINFORMATIE

OPDRACHTGEVER:

HOOFDOPDRACHT:

Provincie Utrecht

Postbus 80300

3508 TH Utrecht

Contactpersoon : de heer E. van Tooren

E-mail : erik.van.tooren@provincie-utrecht.nl

Telefoon : 030 – 258 91 11

Mobiel : 06 – 183 005 92

NEVENOPDRACHT:

Gemeente Houten

Postbus 30

3990 AD Houten

Contactpersoon : de heer E. Boonstoppel

E-mail : Edwin.Boonstoppel@houten.nl

Telefoon : 030 – 639 26 11

Mobiel : 06 – 330 433 38

OBJECTLOCATIE:

Fort Honswijk

Lekdijk 58

3998 NJ Schalkwijk

ADVISEUR:

NIAG

Postbus 297

8250 AG Dronten

De Oude IJssel 9c

8253 PV Dronten

Contactpersoon : de heer A. van Wijk

E-mail : a.van.wijk@niag.nl

Telefoon : 0321 – 38 77 66

Mobiel : 06 – 51 24 68 14

Thijs Barkmeijer

Dollardstraat 30

3522 AM Utrecht

Contactpersoon : de heer T. Barkmeijer

E-mail : thijs.barkmeijer@gmail.com

Telefoon : 06-39887028

1. INLEIDING

Provincie Utrecht vertegenwoordigd door het Erfgoed Expert team, heeft NIAG samen met Thijs Barkmeijer gevraagd om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van duurzame energievoorziening voor de gebouwen op Fort Honswijk te Houten.

Het betreft hierbij in totaal 16 gebouwen (14 bestaand en 2 nieuwbouw).

De volgende mogelijkheden voor energievoorzieningen zijn in dit rapport uitgewerkt:

1. Centrale warmte opwekking middels biomassa ketel;
2. Centrale warmte opwekking middels aquathermie (warmtepomp aangesloten op oppervlaktewater);
3. Centrale warmte opwekking middels Bodem Energie Systeem (BES)
4. Decentrale warmte opwekking per gebouw middels pellet ketel.
5. Decentrale warmte opwekking per geïsoleerd gebouw middels lucht-water warmtepomp

Per optie is uitgewerkt:

- ✿ Welke praktische consequenties er zijn.
- ✿ Wat de financiële consequenties zijn:
 - ✿ Investeringskosten
 - ✿ Jaarlijkse exploitatiekosten
 - ✿ Levensduurkosten
- ✿ Hoe duurzaam de optie is, gerelateerd aan de CO₂-emissie.

Tevens is de vraag gesteld om de energiebehoefte voor warmtapwater van grootgebruikers hotel (gebouw H) en restaurant (gebouw P) te bepalen.

Om verschillende varianten door te rekenen, heeft NIAG deze ingevoerd in een gebouwmodel. Dit gebouwmodel is zo goed mogelijk gevalideerd met het gebouw, onder andere qua bouwkundige omvang, installatieconcepten en energiegebruik. Daarna zijn duurzaamheidsmaatregelen in het gebouwmodel opgenomen. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in deze rapportage.

De opties zijn per hoofdstuk uitgewerkt. Tenslotte wordt dit rapport afgesloten met adviezen en aanbevelingen.

1.1. VOORBEHOUD

Dit rapport heeft als doel de opdrachtgever te adviseren en te informeren over mogelijke oplossingen. In het kader van dit rapport is geen contact gezocht met gemeentelijke -, overheids- en andere instanties. Dit betekent dat adviezen mogelijk vanwege wet- en regelgeving in detail wijzigen. Dit rapport is daarnaast gebaseerd op de aangeleverde gegevens en de daarin gehanteerde uitgangspunten, waarmee NIAG door de gegeven beoordeling of advies niet bij voorbaat instemt met of het ontwerp goedkeurt tenzij expliciet aangegeven in deze rapportage.

Dit advies is geen bestek, technische omschrijving of leidraad. Het dient daarom niet als onderlegger of basis voor de aanvraag van offertes voor uitvoering, technische

ondersteuning bij ingrepen of document voor jurisprudentie, tenzij dit uitdrukkelijk is vermeld in de inleiding.

Wij adviseren u als opdrachtgever dan ook, alvorens over te gaan tot prijsaanvragen, uitvoering van werkzaamheden of anderszins, contact op te nemen met NIAG. De verantwoordelijke voor dit rapport kan u verder adviseren in het proces voor de keuze in, en uitvoering van de voorgestelde werkzaamheden.

Dit voorliggend advies is een eerste aanzet tot het totaal te behalen eindresultaat.

1.2. BIJLAGE

Bij deze rapportage behoort de bijlage "Gebouwsheets fort Honswijk 2.0.pdf" bestaande uit 15 pagina's met gebouwkenmerken en overzicht energiegebruiken.

2. SAMENVATING

Fort Honswijk krijgt een nieuwe bestemming echter zijn de definitieve functie(s) voorsnog nog niet vastgesteld. Vanuit het Erfgoed Expert team is namens het fort de vraag gekomen te onderzoeken welke opties er zijn voor het conditioneren van de diverse gebouwen op het fort. Voor het antwoord op deze vraag zijn er in samenwerking met Thijs Barkmeijer een vijftal varianten doorgerekend, zijnde:

1. Centrale opwekking middels biomassa (houtpellets en pellets uit olifantsgras);
2. Centrale opwekking middels aquathermie;
3. Centrale opwekking middels hoge temperatuur bodemwarmtepomp (doublet);
4. Decentrale opwekking middels biomassa (pellet ketel op hout en olifantsgras);
5. Decentrale opwekking middels lage temperatuur lucht-water warmtepomp (inclusief gebouwisolatie).

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat het toepassen van een centraal opwekking middels aquathermie meest geschikte toepassing voor Fort Honswijk is. De initiële kosten zijn gemiddeld ten opzichte van de overige varianten, echter de exploitatiekosten liggen beduidend lager dan bij de overige varianten. Kijkend over een exploitatie periode van 15 jaar dan komt dit systeem met een totaal aan kosten van € 1.386.050 bijna € 240.000 lager uit dan het tweede systeem, een centrale biomassaketel op hout met een totaal aan kosten aan € 1.625.500.

Kijkend naar CO₂-uitstoot staat aquathermie ook boven aan de lijst met een uitstoot van maar 11 ton per jaar bij het gebruik van groene stroom als energiebron. Ten opzichte van een Pellet ketel installatie is dit bijna een reductie van 90%.

Voor het warmtapwatergebruik adviseren wij, dat wanneer de functie per gebouw bekend is, op basis daarvan de warmtapwater capaciteit een opwekking te bepalen. Dit geldt ook indien een van de gebouwen de functie van hotel krijgt toegewezen.

Het toepassen van zonnepanelen is mogelijk op gebouw B en op de eventuele nieuwbouw. Verder is er onderzocht of er in de omgeving mogelijkheden zijn voor het plaatsen van zonnepanelen. Van de onderzochten mogelijkheden zijn een carport en een drijvend zonnenveld in de Lek goede opties. De investeringen hiervan zijn echter hoog, deze kunnen echter eventueel door een derde partij, de energieleverancier, worden uitgevoerd. Het fort heeft dan nog steeds een energierekening maar de CO₂-uitstoot is minimaal.

Als laatste is er een berekening gemaakt of het stoken op lokaal gegroeid olifantsgras een goede optie is. Uit de berekeningen blijkt dat dit goed mogelijk is en de CO₂-uitstoot aanzienlijk verlaagt. Echter is er hiervoor minimaal 13 hectare aan landbouwgrond per jaar nodig om voldoende olifantsgras te kweken om te voldoen aan de energiebehoefte van het fort.

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. FINANCIËEL

Alle in dit rapport genoemde bedragen zijn **exclusief btw**, tenzij nadrukkelijk anders aangegeven.

In de financiële doorrekeningen is geen rekening gehouden met subsidies, tenzij anders in de rapportage aangegeven.

Onderdeel	Eenheid
Energie kosten elektra	€ 0,10 /kWh
Kosten biomassa hout collectief	€ 0,20 /kg
Kosten biomassa hout individueel *	€ 0,45 /kg
Kosten biomassa olifantengras collectief	€ 0,80 /kg
Kosten biomassa olifantengras individueel *	€ 2,00 /kg
Rente over investering	4%
Exploitatietermijn	30 jaar

*) Biomassa individueel gebaseerd op levering in zakken op pallet.

3.2. CO₂-EMISSION WAARDEN

In dit rapport is CO₂-emissie als maatstaf voor duurzaamheid aangehouden. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Bron	CO ₂ emissie	Eenheid
Gas	1,8	kg per m ³
Elektra nutsvoorziening grijs *	0,540	kg per kWh
Elektra nutsvoorziening groen *	0,061	kg per kWh
Biomassa hout	340	kg per ton
Biomassa olifantengras	111,8	kg per ton

*) Uitstoot inclusief bouw en sloop opwekking.

3.3. BOUWKUNDIG

Het Fort is opgebouwd uit meerdere (14) bestaande gebouwen van verschillende leeftijd en een tweetal nieuw te ontwikkelen gebouwen. Voor de uitwerking van de verschillende energieconcepten zijn wij uit gegaan van de door u aangeleverde gegevens.

Tevens is ervan uitgegaan dat onderstaande bouwkundige verbeteringen van de gebouwschil worden uitgevoerd.

Maatregel	Omschrijving
Kierdichting	Alle naden en kieren dichten met tochtbanden en rubbers bij alle sparingen en te openen delen
Tweede kozijn	Achter de bestaande stalen deur een nieuw kozijn plaatsen die dient als thermische schil.
Luiken	De oude stalen deuren en luiken toepassen als luiken voor de ramen en deuren.
Glasvervanging	Monumentenglas plaatsen in bestaande kozijnen indien mogelijk anders.

Vloerisolatie	Vloerisolatie toepassen op de bestaande betonvloer. Een kleine hellingbaan maken ter plaatse van deuren. Maak hierbij gebruik van het tweede kozijn als een sluisfunctie.
Vloerverwarming	Op de bestaande vloer en nieuwe isolatie een vloerverwarmingsnet aanbrengen.
Gevelisolatie	Aan de binnen of buitenzijde de gevels isoleren. De precieze methode moet bepaald worden door thermische/hygrische berekeningen en monumentwaarde.
Dakisolatie	Aan de binnen of buitenzijde de daken isoleren van de niet grond gedekte gebouwen. De precieze methode moet bepaald worden door thermische/hygrische berekeningen en monumentwaarde.
Balansventilatie	De ruimten voorzien van balansventilatie inclusief warmteterugwinning. Zoveel mogelijk via bestaande sparingen en kanalen

3.4. LOCATIE

De locatie heeft een hoge cultuurhistorische alsook natuurwaarde. Er zijn aan de diverse gebouwen nog geen functies en/of bestemming toebedeeld wel dient er rekening mee gehouden dat gebouw H en gebouw P respectievelijk een bestemming kunnen krijgen als hotel en restaurant.

3.5. BEPALING BENODIGDE VERMOGENS VOOR VERWARMING

Voor het bepalen van het verwarmingsvermogen en het te verwachten energieverbruik is er met behulp van de NO-Regret Rekentool per gebouw een warmteverliesberekening gemaakt. Uitgangspunt hierbij is de huidige staat van de gebouwen; er is dus nog geen rekening gehouden met mogelijke nog uit te voeren energiebesparende maatregelen. In deze berekening is tevens de energievraag voor ventilatie meegenomen. In deze berekening zijn de gebouwen I, en O niet meegenomen. Voor de resultaten van vernoemde berekening verwijzen wij u naar onderstaande tabel.

Gebouw	Benodigde verm. kW	Energieverbruik kWh
A	7,1	11.748
B	100,4	151.058
C	2,7	4.655
D	3,0	5.235
E	3,1	5.528
F+M	12,6	23.706
G	12,9	24.255
H	25,9	49.068
K+L	70,4	125.185
P	47,5	80.320
T	25,9	45.727
N1	8,2	1.947

N2	8,2	1.947
V	50,0	73.500
Subtotaal	377,9	603.879
Transportverlies bij centrale opwekking	6,0	9.590
Totaal	383,9	613.469

Het bovenstaand berekende vermogen is niet absoluut. In het geval er niet 2 maar 3 nieuwe gebouwen worden gerealiseerd zullen de centrale systemen zoals opgenomen in dit rapport voldoende reserve hebben om ook dit extra gebouw te kunnen verwarmen. Dit komt omdat de gelijktijdigheid voor warmtevraag lager wordt waardoor er ruimte ontstaat in het vermogen.

De opzet van warmtepompen is zo gekozen dat deze een optimale exploitatie hebben. Dit betekent dat er geen overcapaciteit in de warmtepompen aanwezig is.

Vanwege het gedurende een langere termijn ontwikkelen van de gebouwen is het advies de installatie uit te voeren met meerdere kleinere eenheden die afhankelijk van de benodigde capaciteit kunnen worden toegevoegd aan het systeem.

4. VERKENNING MOGELIJKHEDEN

Het hoofddoel voor dit onderzoek is te analyseren welke mogelijkheden toepasbaar zijn voor de warmteopwekking. De bestaande gebouwen op het fort hebben een relatief hoog warmteverlies. Diverse gebouwen zijn in het verleden voorzien van een hoog temperatuur gestookt verwarmingssysteem, dit komt in basis geheel te vervallen. Een duurzame warmte opwekkingsinstallatie op basis van hoge temperatuur is daarbij een logische keuze. Hierbij kan er gekozen worden om de warmteopwekking centraal (1 opwekker voor het gehele complex) of decentraal (opwekker per gebouw).

Indien er gekozen wordt voor een centrale warmteopwekking zijn de volgende opties te overwegen:

1. Warmte opwekking middels biomassa (pellet/houtsnipperketel);
2. Warmte opwekking middels aquathermie (warmtepomp aangesloten op oppervlaktewater);
3. Warmte opwekking middels hoog temperatuur warmtepompen op bodembronnen (doublet).

Bij decentrale warmteopwekking bestaat de mogelijkheid om per gebouw (met name bij de nieuwbouw) de afweging te maken tussen een hoog gestookte of laag gestookte warmte opwekking.

Indien er gekozen wordt voor een decentrale warmteopwekking zijn de volgende opties te overwegen:

1. Warmte opwekking middels pellet ketel;
2. Warmte opwekking middels lucht-water warmtepomp waarbij de berekening is gemaakt in een geïsoleerd en ongeïsoleerd gebouw bij de pellet ketel en de WP alleen in een geïsoleerd gebouw.

In navolgende paragrafen worden de genoemde te overwegen opties verder verkend.

5. CENTRALE WARMTEOPWEKKING

5.1. BIOMASSA KETEL

5.1.1. Praktische overweging

In dit concept wordt de gehele warmtevraag gedekt door een biomassa ketel gestookt op houtpellets dan wel olifantengras. Het benodigde (thermisch) vermogen voor de pellet ketel is 384 kW, zoals ook bepaald in paragraaf 1.4. De ketel wordt in basis opgesteld in gebouw B1 waar vanaf de overige gebouwen middels de benodigde terreinleidingen worden voorzien van warmte. Het verwarmingssysteem wordt uitgelegd op een aanvoertemperatuur van 80°C en een retourtemperatuur van 60°C.

Vanuit praktisch oogpunt is de locatie geschikt voor het plaatsen van een pellet ketel. Er is voldoende ruimte voor het opstellen van de ketel en voor het bunkeren van de benodigde voorraad pellets.

Bij het verbranden van houtpellets is een kans op het ontstaan van roetvorming en geurhinder in de directe omgeving van de stookinstallatie. Bij gestandaardiseerde, gecertificeerde houtpellets is dit aanzienlijk minder is dan bij verbranding van snippers. Aangezien er in de directe omgeving geen bewoning plaatst vindt behoeft dat geen groot bezwaar te zijn. Voor het verbranden van snippers is echter ook een "stoker" nodig die regelmatig dagelijks de installatie controleert om de bedrijfszekerheid te waarborgen. Voor de ongestoorde werking is in deze rapportage uitgegaan van een pellet gestookt systeem.

De biomassa ketel voorziet alleen in het leveren van warmte, de eventueel benodigde energie voor het koelen van de diverse gebouwen dient in deze situatie lokaal per gebouw te worden opgewekt.

5.1.2. Financiële overwegingen

Uit financiële overwegingen zijn er qua investering geen verschillen tussen het gebruik van houtpellets dan wel olifantengras als biomassa, wel is er qua exploitatie een groot verschil tussen het gebruik van houtpellets en olifantengras.

Investering

Onderdeel	Raming investeringskosten totaal	Gemiddelde levensduur (jaar)	Afschrijving per jaar	Totaalkosten over expl.termijn
Pelletketel	€ 127.000	15	€ 8.467	€ 254.000
Leidingwerk tussen ketel en terreinleidingen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Akoestische maatregelen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Regeling en automatisering	€ 10.000	15	€ 667	€ 20.000
Elektrische installatie algemeen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Elektra aansluiting elektriciteitsnet	€ 2.500	30	€ 83	€ 2.500
Technische ruimte	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Afleversets	€ 20.000	15	€ 1.333	€ 40.000
Terreinleidingen warmtetransport	€ 126.000	50	€ 4.200	€ 126.000
Graaf werkzaamheden t.b.v. terreinleidingen	€ 81.000	50	€ 2.700	€ 81.000
Onvoorzien 10%	€ 53.700	n.v.t.	€ 1.878	€ 56.350
Engineering/Projectmanagement 10%	€ 48.100	n.v.t.	€ 2.066	€ 61.985
Totaal	€ 508.300		€ 22.728	€ 681.835

Exploitatie houtpellets

Onderdeel	kg biomassa	€/kg	Kosten per jaar
Energiekosten	200.400	€ 0,20	€ 40.080
Onderhoud installatie			€ 1.500
Afschrijving			€ 22.730
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 10.170
Totaal			€ 74.480

Exploitatie olifantengras

Onderdeel	kg biomassa	€/kg	Kosten per jaar
Energiekosten	190.580	€ 0,80	€ 152.464
Onderhoud installatie			€ 1.500
Afschrijving			€ 22.730
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 10.170
Totaal			€ 186.864

5.1.3. CO₂-emissie

Voor het opwekken van 2.209 GJ (613.469 kWh) aan warmte met een gesteld rendement van 0,92% van de biomassa verbrander is 2.400 GJ aan warmte benodigd. Dit geeft bij gebruik van houtpellets een CO₂-emissie van 82,09 ton CO₂ en bij gebruik van olifantengras een CO₂-emissie van 27 ton CO₂.

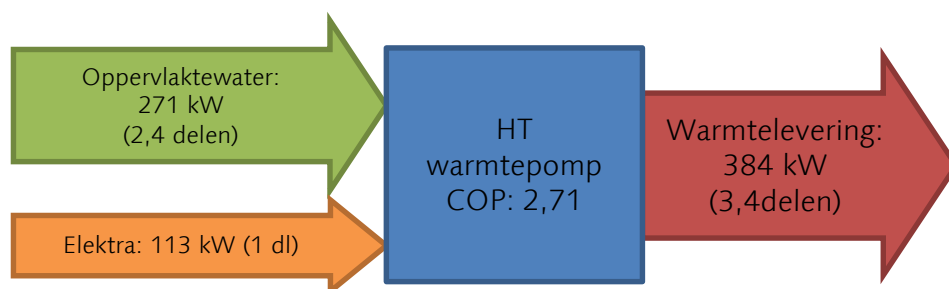
5.2. AQUATHERMIE (WARMTEPOMP AANGESLOTEN OP OPPERVLAKE WATER)

5.2.1. Praktische overweging

In dit concept wordt de gehele warmtevraag gedekt door een warmtepomp welke middels een platen wisselaar is aangesloten op het oppervlaktewater. Het benodigde (thermisch) vermogen voor de warmtepompen is 384kW, zoals ook bepaald in paragraaf 3.5 De warmtepomp wordt in basis opgesteld in gebouw B1 waar vanaf de overige gebouwen middels de benodigde terreinleidingen worden voorzien van warmte. Het verwarmingssysteem wordt uitgelegd op een aanvoertemperatuur van 70°C en een retourtemperatuur van 50°C.

Vanuit praktisch oogpunt is de locatie geschikt voor het toepassen van Aquathermie, Er is voldoende ruimte voor het opstellen van de warmtepompen en de locatie ligt in de nabijheid van oppervlaktewater.

Het rendement, de COP, van een Aquathermie warmtepomp is circa 3,4. Dit geeft de volgende verhoudingen tussen benodigd vermogen vanuit oppervlaktewater en elektravermogen:



De hoeveelheid te leveren vermogen (271kW) vanuit het oppervlaktewater resulteert in een maximaal debiet van 23m³/h en een totaal verbruik van 127.700m³ per jaar en een elektra verbruik van 180.500kWh per jaar

5.2.2. Financiële overwegingen

Investing

Onderdeel	Raming investeringskosten totaal	Gemiddelde levensduur (jaar)	Afschrijving per jaar	Totaalkosten over expl.termijn
Warmtepomp	€ 106.000	15	€ 7.067	€ 212.000
Buffer	€ 20.000	30	€ 667	€ 20.000
Waterinlaat oppervlakte water met filter	€ 10.000	15	€ 667	€ 20.000
Leidingwerk tussen WP en Inlaat	€ 7.500	30	€ 250	€ 7.500
Leidingwerk tussen WP en terreinleidingen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Akoestische maatregelen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Regeling en automatisering	€ 10.000	15	€ 667	€ 20.000
Elektrische installatie algemeen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Elektra aansluiting elektriciteitsnet	€ 25.400	30	€ 847	€ 25.400
Technische ruimte	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Afleversets >30kw	€ 20.000	15	€ 1.333	€ 40.000
Terreinleidingen warmtetransport	€ 126.000	50	€ 4.200	€ 126.000
Graaf werkzaamheden t.b.v. terreinleidingen	€ 81.000	50	€ 2.700	€ 81.000
Onvoorzien 10%	€ 53.700	n.v.t.	€ 1.973	€ 59.190
Engineering/Projectmanagement 10%	€ 48.100	n.v.t.	€ 2.170	€ 65.109
Totaal	€ 547.700		€ 23.873	€ 716.199

Exploitatie

Onderdeel	kWh	€/kWh	Kosten per jaar
Energiekosten	180.500	€ 0,10	€ 18.050
Onderhoud installatie			€ 3.000
Afschrijving			€ 23.880
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 10.960
Totaal			€ 55.890



5.2.3. CO₂-emissie

Voor het opwekken van 613.469 kWh aan warmte is er bij een gestelde COP van 3,4 van de warmtepomp totaal 180.500kWh elektra benodigd dit geeft een CO₂-emissie van 11 ton CO₂ bij groene stroom. Bij grijze stroom is de uitstoot 97,4 ton CO₂.

5.3. HOOG TEMPERATUUR WARMTEPOMPEN OP BODEMBRONNEN

5.3.1. Praktische overwegingen

In dit concept wordt de gehele warmtevraag gedekt door warmtepomp aangesloten op bodembronnen zijnde een warme-bron en een koude-bron, zonder bij schakeling van een andere warmtebron. De warmtepomp wordt in basis opgesteld in gebouw B1 waar vanaf de overige gebouwen middels de benodigde terreinleidingen worden voorzien van warmte/of koude hierbij zijn er een 2-tal opties:

- A) Centraal overschakelen tussen verwarmen en koelen
- B) Lokaal overschakelen tussen verwarmen en koelen

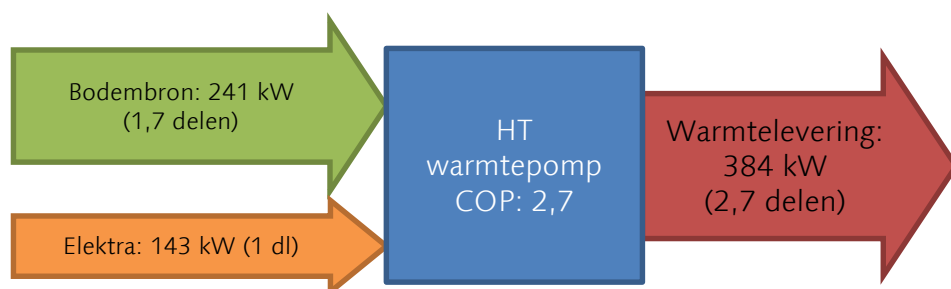
Optie A heeft als voordeel dat er slecht 1 distributienet in het terrein behoeft te worden aangelegd, nadeel is dat wanneer er vanuit de verschillende gebouwen gelijktijdig warmte- en koudevraag is dat er slechts of koude of warmte geleverd kan worden.

Optie B heeft als voordeel dat er lokaal overgeschakeld kan worden tussen koelen en verwarmen; nadeel is dat er een tweede distributienet dient te worden aangelegd.

Het verwarmingssysteem wordt uitgelegd op een aanvoertemperatuur van 70°C en een retourtemperatuur van 50°C het koelsysteem wordt uitgelegd op een aanvoertemperatuur van 6°C en een retourtemperatuur van 12°C.

De aan de bronnen onttrokken energie dient gelijk te zijn aan de aan de bronnen toegevoerde energie. Dit wil zeggen dat de in de winter aan de warme bron onttrokken energie er in de zomer aan moet worden toegevoerd. Gezien de aard van de bebouwing zal in verhouding de energievraag warmte groter zijn de energievraag koude, om dit verschil in energievraag te vereffenen dient er in de zomerwarmte te worden ingevangen middels een dry-cooler. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat de energiebalans tussen koelen en verwarmen wordt hersteld.

Het benodigde (thermisch) vermogen voor de warmtepompen is 384kW, zoals ook bepaald in paragraaf 3.5. Een hoog temperatuur warmtepomp heeft een lager rendement dan een laagtemperatuur warmtepomp. Het rendement, de COP, van een hoog temperatuur warmtepomp is circa 2,7. Dit geeft de volgende verhoudingen tussen benodigd bronvermogen en elektravermogen:



De bodembron heeft een capaciteit nodig van 241 kW bij deze capaciteit zijn open bronnen economisch het meest interessant. Bij de keuze van een warme en koude bron naast elkaar (doublet), is de benodigde onderlinge afstand minimaal 100 meter de kavel van Fort Honswijk is in basis daarvoor groot genoeg. Of een doublet bron toepasbaar is, is afhankelijk van de bodemgesteldheid, namelijk het aantal en de hoogtes van de watervoerende lagen in de bodem.

De warmtepomp heeft deze in dit concept een elektrisch vermogen van 143kW en een elektra verbruik van 218500kWh per jaar.

5.3.2. Financiële overwegingen

Investering

Onderdeel	Raming investerings-kosten totaal	Gemiddelde levensduur (jaar)	Afschrijving per jaar	Totaalkosten over expl.termijn
Warmtepomp	€ 80.000	15	€ 5.333	€ 160.000
Bronnen	€ 150.000	50	€ 5.000	€ 150.000
Buffer	€ 20.000	30	€ 667	€ 20.000
Drycooler	€ 20.000	15	€ 1.333	€ 40.000
Leidingwerk tussen WP en terreinleidingen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Akoestische maatregelen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Regeling en automatisering	€ 10.000	15	€ 667	€ 20.000
Elektrische installatie algemeen	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Elektra aansluiting elektriciteitsnet	€ 25.400	30	€ 847	€ 25.400
Technische ruimte	€ 10.000	30	€ 333	€ 10.000
Afleversets warmte	€ 16.000	15	€ 1.067	€ 32.000
Afleversets koude	€ 16.000	15	€ 1.067	€ 32.000
Terreinleidingen warmtetransport	€ 126.000	50	€ 4.200	€ 126.000
Terreinleidingen koude transport	€ 126.000	50	€ 4.200	€ 126.000
Graaf werkzaamheden t.b.v. terreinleidingen	€ 81.000	50	€ 2.700	€ 81.000
Onvoorzien 10%	€ 53.700	n.v.t.	€ 2.841	€ 85.240
Engineering/Projectmanagement	€ 48.100	n.v.t.	€ 3.125	€ 93.764
Totaal	€ 812.200		€ 34.380	€ 1.031.404

Exploitatie

Onderdeel	kWh	€/kWh	Kosten per jaar
Energiekosten	218500	€ 0,10	€ 21.850
Onderhoud installatie			€ 3.000
Afschrijving			€ 34.380
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 16.250
Totaal			€ 75.480

5.3.3. CO₂-emissie

Voor het opwekken van 613.469 kWh aan warmte is er bij een gestelde COP van 2,7 van de warmtepomp 218.500kWh elektra benodigd dit geeft een CO₂-emissie van 13,3 ton CO₂ bij groene stroom en 118 ton CO₂ bij grijze stroom.

6. LOKALE WARMTEOPWEKKING

Om de meerwaarde van duurzaamheidsmaatregelen financieel en qua duurzaamheid goed te kunnen beoordelen, zijn de kosten en duurzaamheid van de toepassing van decentrale warmte opweksystemen inzichtelijk gemaakt en weggezet tegen de huidige kosten van het gebouw.

6.1. PELLET KETEL

6.1.1. Praktische overweging

In dit concept wordt de warmtevraag in elk gebouw gedekt door een biomassa ketel (pellet ketel) gestookt op houtpellets dan wel olifantengras. Het benodigd vermogen voor elke pellet ketel is weergegeven in paragraaf 3.5. Er is van uit gegaan dat de ketels worden opgesteld in de gebouwen zelf. Voor een aantal gebouwen kan dit mogelijk niet en zal een buitenopstelling benodigd zijn.

Vanuit gebruikers oogpunt is elk gebouw afzonderlijk te verwarmen waardoor er een lager gebruik aan pellets ontstaat wanneer ruimtes een periode niet worden gebruikt. De pellets die verbrand worden dienen tevens in de ruimte te worden opgeslagen zodat deze droog blijven en voor een juiste verbranding zorgen.

Bij het verbranden van houtpellets is een kans op het ontstaan van roetvorming en geurhinder in de directe omgeving van de installaties. Aangezien er in de directe omgeving geen bewoning plaats vindt hoeft dit geen bezwaar te zijn.

De pellet ketels zijn enkel in staat tot het verwarmen van de ruimten. Voor het comfort is aan te raden een isolatielaag over de vloer aan te brengen en deze te voorzien van een verwarmingssysteem. Om de pellet ketel hierop aan te sluiten is een warmtewisselaar nodig die de temperatuur verlaagd naar een geschikte temperatuur van maximaal 35 graden. De pellet ketel zelf kan op hoge temperatuur straling voorzien in de ruimten.

6.1.2. Financiële overwegingen

Uit financiële overwegingen zijn er qua investering geen verschillen tussen het gebruik van houtpellets dan wel olifantengras als biomassa, wel is er qua exploitatie een groot verschil tussen het gebruik van houtpellets en olifantengras als gevolg van de hogere kostprijs per kilo van olifantengras.

Investering

Gebouw/onderdeel	Raming investeringskosten totaal	Gemiddelde levensduur (jaar)	Afschrijving per jaar	Totaalkosten over expl.termijn
A	€ 10.710	15	€ 714	€ 21.420
B	€ 86.120	15	€ 5.741	€ 172.240
B1	€ 18.500	15	€ 1.233	€ 37.000
C	€ 6.500	15	€ 433	€ 13.000
D	€ 5.600	15	€ 373	€ 11.200
E	€ 7.300	15	€ 487	€ 14.600
F	€ 9.000	15	€ 600	€ 18.000
M	€ 57.200	15	€ 3.813	€ 114.400
G	€ 12.000	15	€ 800	€ 24.000
H	€ 20.000	15	€ 1.333	€ 40.000
K+L	€ 59.000	15	€ 3.933	€ 118.000
P	€ 26.500	15	€ 1.767	€ 53.000
T	€ 30.000	15	€ 2.000	€ 60.000
Onvoorzien 10%	€ 34.843		€ 1.161	€ 69.686
Engineering/Projectmanagement 10%	€ 38.327		€ 1.278	€ 76.655
Totaal	€ 421.600		€ 25.668	€ 843.201

Exploitatie houtpellets

Onderdeel	Kg biomassa	€/kg	Kosten per jaar
Energiekosten	189600	€ 0,30	€ 56.880
Onderhoud installaties			€ 3.000
Afschrijving			€ 25.668
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 6.969
Totaal			€ 92.516

Exploitatie olifantengras

Onderdeel	Kg biomassa	€/kg	Kosten per jaar
Energiekosten	180308	€ 2,00	€ 360.616
Onderhoud installaties			€ 3.000
Afschrijving			€ 25.668
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 6.969
Totaal			€ 396.252

6.1.3. CO₂-emissie

Voor het opwekken van 2.209 GJ (613.469 kWh) aan warmte met een gesteld rendement van 0,92 van de biomassa verbrander is 2.400 GJ aan warmte benodigd. Dit geeft bij gebruik van houtpellets een CO₂-emissie van 83 ton CO₂ en bij gebruik van olifantengras een CO₂-emissie van 27,3 ton CO₂.

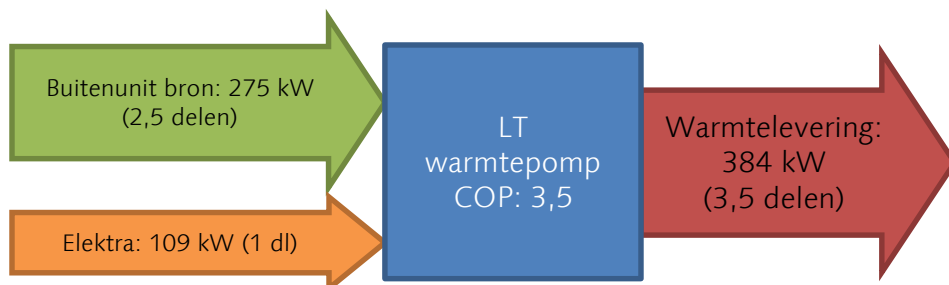
6.2. LUCHTWATER WARMTEPOMP

6.2.1. Praktische overweging

In dit concept wordt de warmtevraag per gebouw gedekt door een Lucht-water warmtepomp met een binnen-unit en buiten-unit per gebouw. De werkelijke plaatsing van de warmtepompsystemen dient per gebouw te worden bepaald. Vooralsnog is dit niet haalbaar of onmogelijk door aantasting van het monumentale aanzicht.

De warmtepomp werkt op lage temperatuur en dit houdt in dat de warmtevraag van elk gebouw verlaagd moet worden door middel van energiebesparende maatregelen. In de berekeningen gerekend met de toepassing van de onderstaande maatregelen. De mate waarin de maatregelen zijn toegepast is afhankelijk van het type gebouw. De methode voor het aanbrengen van verduurzamingsmaatregelen is afhankelijk van thermische/hygrische berekeningen en simulaties.

Het benodigde (thermisch) vermogen voor de warmtepompen is 384kW, zoals ook bepaald in paragraaf 3.5. Een hoog temperatuur warmtepomp heeft een lager rendement dan een laagtemperatuur warmtepomp. Het rendement, de COP, van een laagtemperatuur warmtepomp is circa 3,5. Dit geeft de volgende verhoudingen tussen benodigd bronvermogen en elektravermogen:



6.2.2. Financiële overwegingen

Investering

Gebouw	Raming investeringskosten totaal	Gemiddelde levensduur (jaar)	Afschrijving per jaar	Totaalkosten over expl.termijn
A	€ 35.600	15	€ 2.373	€ 71.200
B	€ 253.000	15	€ 16.867	€ 506.000
B1	€ 55.000	15	€ 3.667	€ 110.000
C	€ 23.000	15	€ 1.533	€ 46.000
D	€ 22.400	15	€ 1.493	€ 44.800
E	€ 24.100	15	€ 1.607	€ 48.200
F	€ 26.700	15	€ 1.780	€ 53.400
M	€ 285.000	15	€ 19.000	€ 570.000
G	€ 73.000	15	€ 4.867	€ 146.000
H	€ 110.000	15	€ 7.333	€ 220.000
K+L	€ 290.000	15	€ 19.333	€ 580.000
N1	€ 75.000	15	€ 5.000	€ 150.000
N2	€ 75.000	15	€ 5.000	€ 150.000
P	€ 113.000	15	€ 7.533	€ 226.000
T	€ 89.000	15	€ 5.933	€ 178.000
Onvoorzien 10%	€ 154.980		€ 5.166	€ 309.960
Engineering/Projectmanagement 10%	€ 170.478		€ 5.683	€ 340.956
Totaal	€ 1.875.258		€ 114.169	€ 3.750.516

Exploitatie

Onderdeel	kWh	€/kWh	Kosten per jaar
Energiekosten	175277	€ 0,10	€ 17.528
Onderhoud installaties			€ 3.000
Afschrijving			€ 114.169
Rente over investering 4% (50% i.v.m. aflossing)			€ 30.996
Totaal			€ 165.692

6.2.3. CO2-emissie

Voor het opwekken van 613.469 kWh aan warmte is er bij een gestelde COP van 3,5 van de warmtepomp totaal 175.500kWh elektra benodigd dit geeft een CO2-emissie van 10,7 ton CO2 met groene stoom en 94,7 ton CO2 met grijze stoom.

7. WARMTAPWATERVOORZIENING

De warmtapwatervraag van het fort is laag. Ook wanneer een hotelfunctie wordt toegepast in gebouw H en een restaurantfunctie in gebouw P zal de tapwatervraag dermate laag zijn dat het interessant is de tapwatervoorziening per gebouw te regelen.

7.1. HOTEL

Het hotel is eventueel aan te sluiten op een collectief verwarmingssysteem op hoge temperatuur of een laagtemperatuur systeem met een boosterwarmtepomp. Bij het hotel is aan te raden een buffervat toe te passen om te voorzien in snel een grote hoeveelheid warm water dat met name in de ochtend in gebruik zal zijn.

7.2. RESTAURANT

Het restaurant kan, conform plattegrond, ongeveer 24 mensen bedienen. De ruimte is klein en heeft daardoor een kleine warm tapwatervraag. Een goede comfortboiler is voldoende voor de vraag van het restaurant. Het rendement van een comfortboiler is laag echter de gebruikskosten staan niet op tegen de kosten om dit aan te sluiten op een collectief verwarmingssysteem.

8. ELEKTRICITEITSOPWEKKING

Zowel op als om het fort is ruimte voor het leggen van zonnepanelen voor elektriciteitsopwekking. Volgens de gebiedsanalyse is het fort en de omgeving uitermate geschikt doordat er nauwelijks tot geen bebouwing aanwezig is. De naastgelegen afbeelding geeft in drie kleuren de potentie aan voor grote (geel), middelgrootte (groen) en kleine (rood) systemen.



Afbeelding 1: Zonpotentie gebied

8.1. PV-PANELEN OP HET FORT

Op het fort zijn een aantal gebouwen en gebieden met voldoende zoninstraling om zonnepanelen toe te passen. Nevenstaande afbeelding laat drie groene gebieden (B, P en V) met de meeste potentie zien, één oranje gebied (P) waarop PV toepasbaar is maar niet direct wenselijk, en twee rode gebieden (H, M) waar de instraling voldoende is maar het fortterrein zichtbaar wordt aangetast bij invulling.

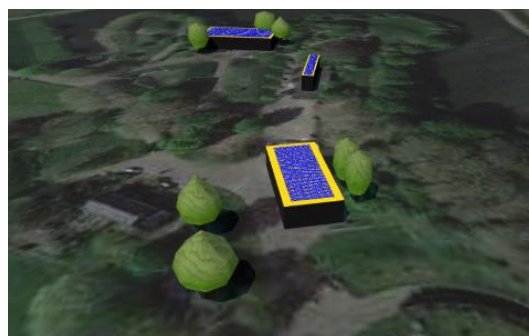


Afbeelding 2: Potentieel panelen op het fort

In verband met het monumentale karakter van het fort zijn twee berekeningen gemaakt,

- PV op de groene velden;
- PV op de groene en rode velden.

Afbeelding 3 laat de analyse per gebouw zien waarbij op het blauwe vlak panelen te plaatsen zijn. Het gele vlak blijft vrij i.v.m. veiligheid bij onderhoud.



Afbeelding 3: 3D analyse gebouwen

Tabel 1: Zonnepanelen op het fort

	Optie 1	Optie 2
Kleur	Groen	Groen en rood
Oriëntatie	Zuid	Zuid
Aantal panelen	342 stuks	516 stuks
Vermogen per paneel	360 Wp	360 Wp
Totaal maximaal opwekvermogen	123,12 kWp	185,76 kWp
Kosten bij € 0,99 / Wp*	€ 125.000,-*	€ 185.000,-*

*investeringskosten gebaseerd op prijspeil september 2021 inclusief installatie exclusief aanvullende kosten. De bouwkostenprijzen stijgen ongekend hard waardoor geen vaste bedragen te koppelen zijn aan investeringen.

8.2. PV-PANELEN NABIJ HET FORT

In de omgeving van het fort zijn drie gebieden onderzocht voor het mogelijk leggen van zonnepanelen. De drie gebieden met de meeste potentie zijn weergegeven in de naastgelegen afbeelding.

1. Carport op de parkeerplaats (groen)
2. Een (drijvend) veld op buitendijkse grond (rood)
3. Tegen het dijklichaam (oranje)



Afbeelding 4: PV potentie omgeving fort

Het oranje veld is niet doorgerekend in verband met een verbod op verankeringen en boringen in dijklichamen.

Tabel 2: Zonnepanelen om het fort

	Carport	Veld
Kleur	Groen	Rood
Oriëntatie	Oost-west	Oost-west
Aantal panelen	824 stuks	1.458 stuks
Vermogen per paneel	360 Wp	360 Wp
Totaal maximaal opwekvermogen	296,64 kWp	524,88 kWp
Kosten bij €0,89, / Wp*	€ 270.000*	€ 470.000*

*Investeringskosten gebaseerd op prijspeil september 2021 inclusief installatie, exclusief overige kosten. De bouwkostenprijzen stijgen ongekend hard waardoor geen vaste bedragen te koppelen zijn aan investeringen. In deze kosten zijn de kosten voor een drijvend ponton of de bouw van een carport niet meegenomen.

Het plaatsen van zonnenvelden in de omgeving van het fort kan interessant zijn voor derden. Op het fort, in gebouw M, zit een netaansluiting van Stedin die hiervoor geschikt is of te maken is. Het fort of een derde partij is in staat een aanvraag te doen voor deze twee velden.

9. CONCLUSIE EN ADVIES

9.1. CONCLUSIE

Voor fort Honswijk is uitgezocht welke installaties interessant zijn voor het conditioneren van de gebouwen op het terrein. Zowel centrale als decentrale systemen zijn onderzocht en berekend.

Voor het individueel verwarmen is het aan te raden de toekomstige functie mee te nemen in de keuze. Met de vraag of sommige gebouwen überhaupt moeten worden voorzien van een verwarmingsinstallatie.

De berekeningen van de individuele systemen laten zien dat de pellet ketel financieel interessanter is dan de warmtepomp variant. De oorzaak hiervan ligt in het verlagen van de warmtevraag in de variant met de warmtepomp. Deze maatregelen zijn ook toepasbaar bij de pellet ketel om te energievraag te verlagen maar staan over een periode van 30 jaar niet op tegen de kosten. Aan te raden is het minimaal aanpakken van de thermische schil met de onderstaande maatregelen. De kosten voor het isoleren van de gevels en het dak zijn dermate hoog en ingewikkeld dat dit vooral voor technische uitdagingen gaat zorgen op het gebied van vocht, schimmel en eventueel afbraakschade.

Maatregel	Omschrijving
Kierdichting	Alle naden en kieren dichten met tochtbanden en rubbers bij alle sparingen en te openen delen
Tweede kozijn	Achter de bestaande stalen deur een nieuw kozijn plaatsen die dient als thermische schil.
Luiken	De oude stalen deuren en luiken toepassen als luiken voor de ramen en deuren.
Glasvervanging	Monumentenglas plaatsen in bestaande kozijnen indien mogelijk.
Vloerisolatie	Vloerisolatie toepassen op de bestaande betonvloer. Een kleine hellingbaan maken ter plaatse van deuren. Maak hierbij gebruik van het tweede kozijn als een sluisfunctie.
Vloerverwarming	Op de bestaande vloer en nieuwe isolatie een vloerverwarmingsnet aanbrengen.
Balansventilatie	De ruimten voorzien van balansventilatie inclusief warmteterugwinning. Zoveel mogelijk via bestaande sparingen en kanalen

In bijlage 1 zijn per gebouw de gebouweigenschappen met energievraag toegevoegd. Bij aanpassingen aan gebouwen dienen deze te worden herzien.

Als we kijken naar centrale systemen dan komt de Aquathermie als beste naar voren. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van zowel de individuele als centrale systemen.

Tabel 3: Resultaat tabel

Variant	Investering	Exploitatiekosten	LCC 15 jaar	CO2 uitstoot [ton] *
Centraal Biomassa hout	€ 508.300	€ 74.480	€ 1.625.500	82,09
Centraal Biomassa Olifantsgras	€ 508.300	€ 186.864	€ 3.311.260	27
Centraal Aquathermie	€ 547.700	€ 55.890	€ 1.386.050	11 (97,40) **
Centraal HT bodemwarmtepomp	€ 812.200	€ 75.480	€ 1.944.400	13,3 (118)**
Decentraal pellet ketel hout	€ 421.600	€ 92.500	€ 1.809.100	83
Decentraal pellet ketel olifantsgras	€ 421.600	€ 396.252***	€ 6.365.386***	27,3
Decentraal Lucht-water warmtepomp	€ 1.875.258	€ 165.692	€ 4.393.562	10,7 (94,7)**

*) Waarden zijn bepaald bij toepassen van groene stroom.

**) Waarden tussen haakjes zijn met grijze stroom.

***) Door het gebrek aan leveranciers zijn de kosten voor pellets van olifantsgras op 2 euro per kilo aangehouden. Zie ook de berekening olifantsgras aan het eind van dit document.

WARM TAPWATER

De tapwatervraag op het gehele terrein is laag, zelfs wanneer er een hotel/ B&B functie wordt toegevoegd. Het advies is per gebouw te kijken of er een warm tapwatervraag is en deze per gebouw in te vullen. Voor het hotel is het plaatsen van een buffervat voor snel veel warm tapwater aan te raden en voor het restaurant is een comfortboiler genoeg aangezien het slechts om een kleine tapwatervraag gaat. Het is hierbij niet rendabel een apart leidingnet aan te sluiten op het hoofdverwarmingssysteem.

PV PANELLEN

Voor de PV is het interessant om te kiezen voor een carportsysteem. Dit heeft een hogere initiële investering maar kan eventueel door een derde partij worden gedaan. Het fort betaald dan gewoon een energierekening maar is ervan verzekerd dat de energie lokaal duurzaam is opgewekt. Daarbij blijft het fort netjes en heeft het geen invloed op de monumentale status. Wel wordt aangeraden nieuwbouw op het fort wel te voorzien van zonnepanelen om deze gebouwen zo zelfvoorzienend mogelijk te maken.

9.2. ADVIES

Op basis van dit onderzoek is het advies de gebouwen op het fort aan te sluiten op een centraal aquathermie systeem. Bovenstaande tabel laat zien dat het aquathermie systeem in de exploitatie van dit systeem 15 jaar het meest interessant is voor het fort. Daarnaast ook een zeer lage CO2-uitstoot heeft.

OLIFANTGRAS

De hout gestookte systemen zijn berekend met zowel hout pellets als met pellets van olifantsgras (miscanthus). Het gebruik van olifantsgras heeft zowel voordelen als nadelen ten opzichte van houtpellets. Onderstaande tabel geeft de verschillen tussen houtpellets en olifantsgras weer.

Onderdeel	Hout pellets	Olifantsgras pellets
Energie-inhoud	16,3 MJ/kg	17,14 MJ/kg
CO2-uitstoot	340 kg per ton	111,8 kg per ton
Kosten per kg collectief	€ 0,20	€ 0,80*
Kosten per kg individueel	€ 0,30	€ 2,00*
Totaal benodigd fort Honswijk	200.400 kg houtpellets	190.580 kg Olifantsgras pellets

* Voor het berekenen van de prijs is slechts één aanbieder gevonden. Een bi bag (300kg) kost 278 euro. Dit komt uit op 92,6 cent per kg. Bij groot inkoop is hier een inkoopvoordeel te halen wat uitkomt op 80 cent per kg. Voor de individuele systemen zijn de kosten een stuk hoger. De zakken van 5 kilo kosten 17,5 euro inclusief wat uitkomt op 3,5 euro per kg. Ook hier is bij groot inkopen winst te halen. Dit kan naar verwachting dalen tot 2 euro per kilo.

De energie-inhoud van olifantsgras pellets is hoger dan die van hout waardoor er minder nodig is. Doorgerekend is er 190,58 ton aan pellets van olifantsgras nodig om de warmtevraag in te vullen. Uit elke hectare land gevuld met olifantsgras komt gemiddeld 15 ton aan pellets. Om de warmtevraag van het fort te dekken met pellets van olifantsgras is er dus gemiddeld 12,71 hectare landbouwgrond nodig