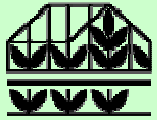
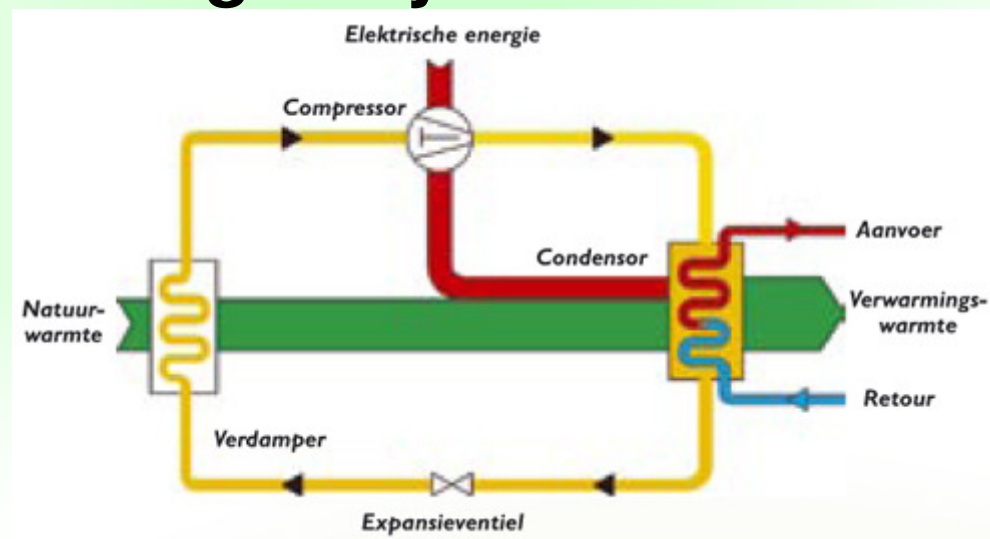


Warmtepomp in de tuinbouw: Feit of fictie?



Wat is een warmtepomp?

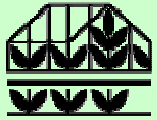
- Gesloten gas-vloeistofcircuit met 4 onderdelen: compressor, condensor, expansieventiel en verdamper
- Verdamper verbonden met bron, condensor verbonden met afgiftesysteem





Koelmiddel

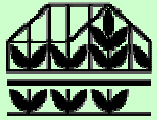
- **Freonen: gefluoreerde koolwaterstoffen (FK)**
 - Ter vervanging van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)
 - Meest gebruikt in kleine en grote installaties
 - R134 (tetrafluorethaan, zuiver middel), R407 (mengsel 23% R32 CF₂H₂, 25% R125 C₂HF₅ en 52% R134 CF₄), R410 (mengsel 50% R32 en 50% R125)
 - Duurder, installatie goedkoper
 - Geen aantasting ozon, welk broeikasgas
- **Ammoniak**
 - In grote, industriële installatie
 - Goedkoper, installatie duurder
 - Geen aantasting ozon, geen broeikasgas
- **CO₂**
 - Voor kleinere toepassingen (auto's)



Compressors

- Meeste warmtepompen worden aangedreven door een elektrische compressor
- Nieuw te ontwikkelen alternatief: aandrijving met verbrandingsmotor
- Grote vermogens worden meestal gerealiseerd door verschillende kleinere compressoren in parallel te plaatsen
- Zeer grote vermogens: industriële compressoren
- Vermogensregeling door trapsgewijs inschakelen van kleinere compressoren of frequentieregeling op motor





Bronnen

- **Water - zonnewarmte of restwarmte**
 - Oppervlaktewater (rivier, vijver), proceswater, koelwater
 - Rendement hoger

- **Bodem – aardwarmte**
 - Horizontaal, vertikaal
 - Rendement hoger
 - Minder evident voor grote vermogens, regenereren

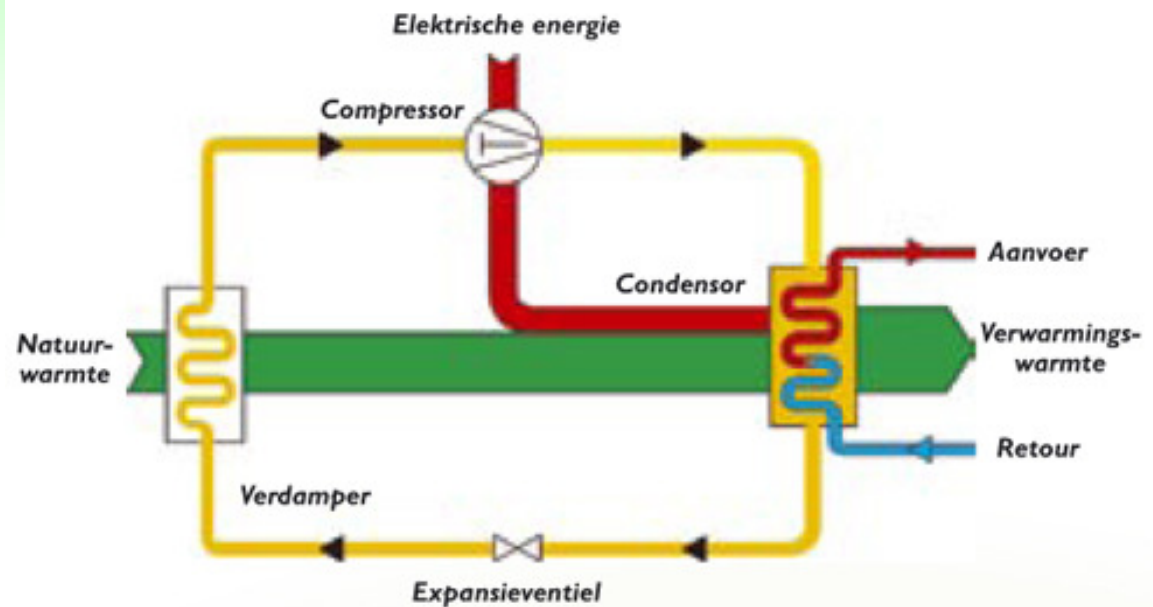
- **Lucht - zonnewarmte**
 - Buitenlucht - serre
 - Rendement lager



Hoe werkt een warmtepomp?

▪ Continue gas-vloeistof cyclus:

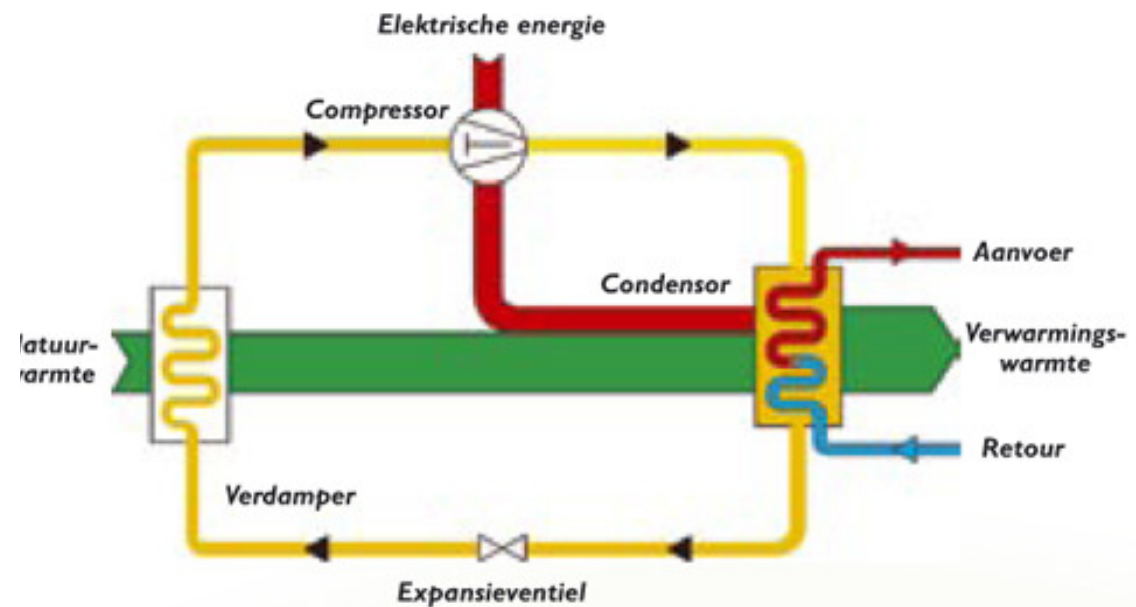
- Het gas wordt samengeperst door de compressor en stroomt naar de condensor
- Heet, samengeperst gas condenseert in de condensor en geeft de warmte (voelbaar en latent) af aan het afgiftesysteem
- De vloeistof stroomt door het regelventiel en vloeit in de verdamper
- De vloeistof verdampt in de verdamper en onttrekt warmte aan de bron





Hoe werkt een warmtepomp?

- Warmte wordt ‘verpompt’ van bron naar afgiftesysteem met toevoegen van (elektrische) energie die eveneens wordt omgezet in warmte
- Warmte uit de bron wordt op een hogere temperatuur afgegeven aan het afgiftesysteem: onbruikbare warmte wordt omgezet in bruikbare warmte met een beperkte toevoeging van energie
- Druk en temperatuur in condensor zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden: afgiftetemperatuur is te regelen door het regelen van doorstroom met het expansieventiel





Rendement

- **COP Coefficient of performance**
- **SPF Seasonal performance factor**

- **Beïnvloedende factoren**
 - **Afgiftetemperatuur en afgiftesysteem**
 - **Brontemperatuur**
 - **Verschil tussen bron en afgifte**
 - **Koelvloeistof**
 - **Energie randapparatuur**
 - pompen, ventilatoren, aanvoer warmte
 - elektrische componenten warmtepomp
 - opslag in (ondergrondse) buffers



Warmtepompen in de tuinbouw

- **Witloof**
- **Champignons**
- **Bloemen: freesia, alstroemeria, amaryllis**
- **Tomaten (Frankrijk)**
 - **In Vlaanderen is elektriciteit te duur**
- **Gesloten telen in combinatie met ondergrondse opslag**
 - **Aardbeien in de Noorderkempen, Tomaten in Nederland**
 - **Nog veel onzekerheid rendement warmte/koude en meeropbrengst**
 - **Dure investeringen**
 - **KWO enkel in Noorderkempen, BEO kan overal maar duurder en lager rendement**



Bretagne





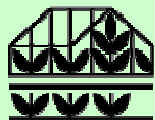
Bretagne

ELECTRICITE DE FRANCE
Direction Financière France

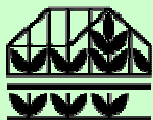
Prix hors taxes ^(a) au : 15/08/2008

TARIF JAUNE - OPTION BASE en métropole continentale

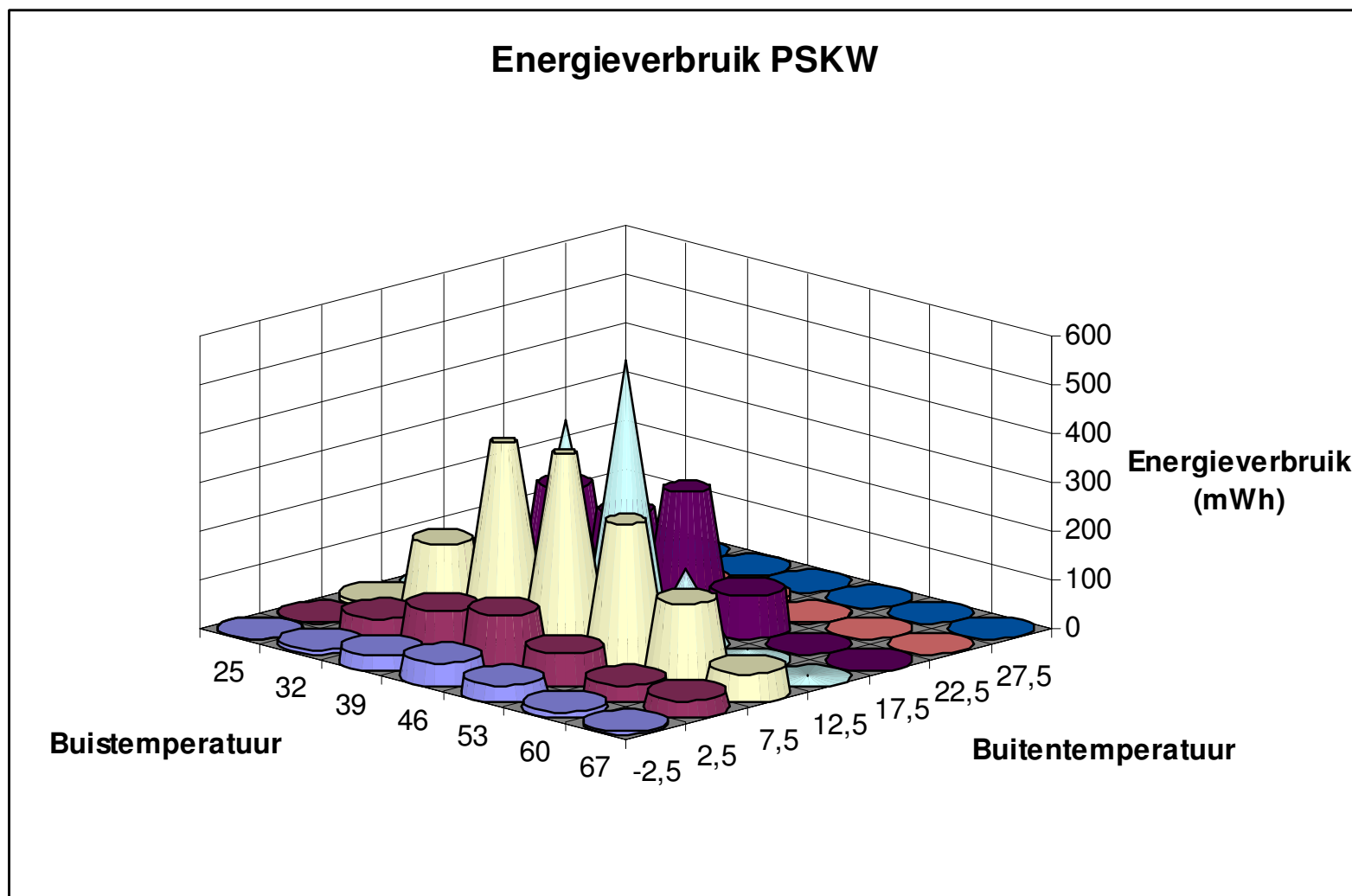
	Version	Prime fixe annuelle €/kVA	Prix de l'énergie (c€/kWh)				
			Hiver			Eté	
			Pointe	HPH	HCH	HPE	HCE
JAUNE	UL	52,32	8,324	8,324	5,877	2,846	2,213
OPTION BASE	UM	17,28	12.23		8,166	2,996	2,364
Coefficients de puissance	UL		1,00	0,52	0,52	0,52	0,52
	ou UL		1,00	1,00	0,36	0,36	0,36
	ou UL		1,00	1,00	1,00	0,20	0,20
	UM		1,00		1,00	1,00	1,00
Calcul des dépassements					11,78	€ / HEURI ^(b)	
Hiver			: de novembre à mars inclus				
Eté			: d'avril à octobre inclus				
Pointe en UL			: 2h le matin et 2h le soir de décembre à février inclus				
Heures Creuses			: 8h par jour tous les jours				

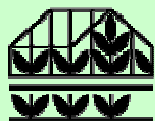


Project PSKW



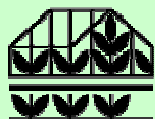
Warmtevraag PSKW 2007



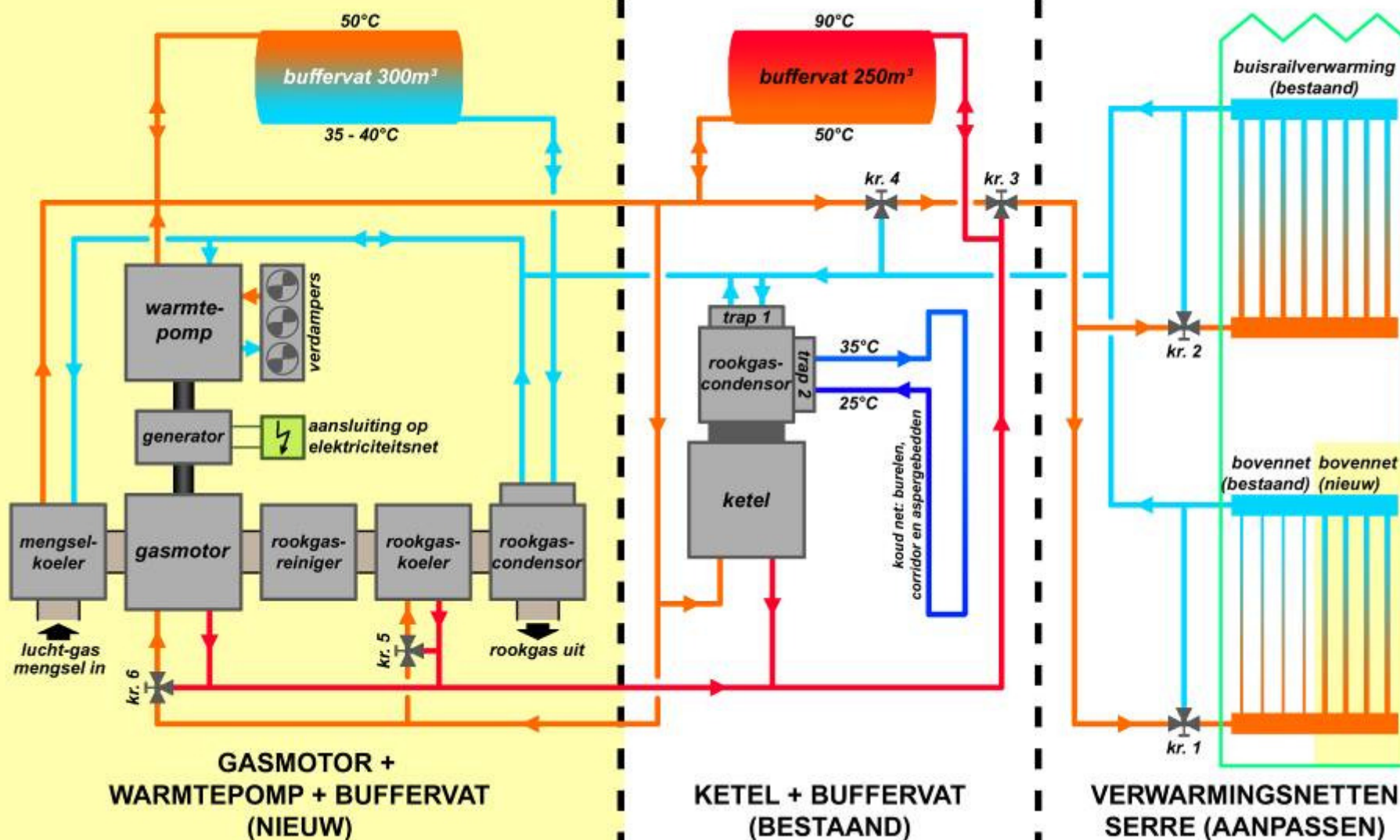


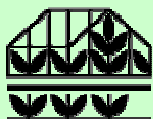
Warmtevraag PSKW 2007

Buitentemperatuur (per 5 graden)	Buistemperatuur (per 7 graden)							Totaal	Cumulatief MWh	Totaal	Cumulatief %
	25	32	39	46	53	60	67				
-2,5	0	9	30	46	33	12	6	137	137	3	3
2,5	1	40	85	108	64	33	34	367	504	9	12
7,5	8	156	385	396	289	164	55	1453	1956	34	46
12,5	43	328	394	552	156	23	1	1498	3455	35	81
17,5	42	206	183	260	83	0	0	774	4229	18	99
22,5	0	8	9	9	1	0	0	28	4256	1	100
27,5	0	0	0	0	0	0	0	1	4257	0	100
Totaal (MWh)	95	746	1088	1371	627	233	96	4257			
Cumulatief (MWh)	95	842	1929	3300	3928	4160	4257				
Totaal (%)	2	18	26	32	15	5	2				
Cumulatief (%)	2	20	45	78	92	98	100				

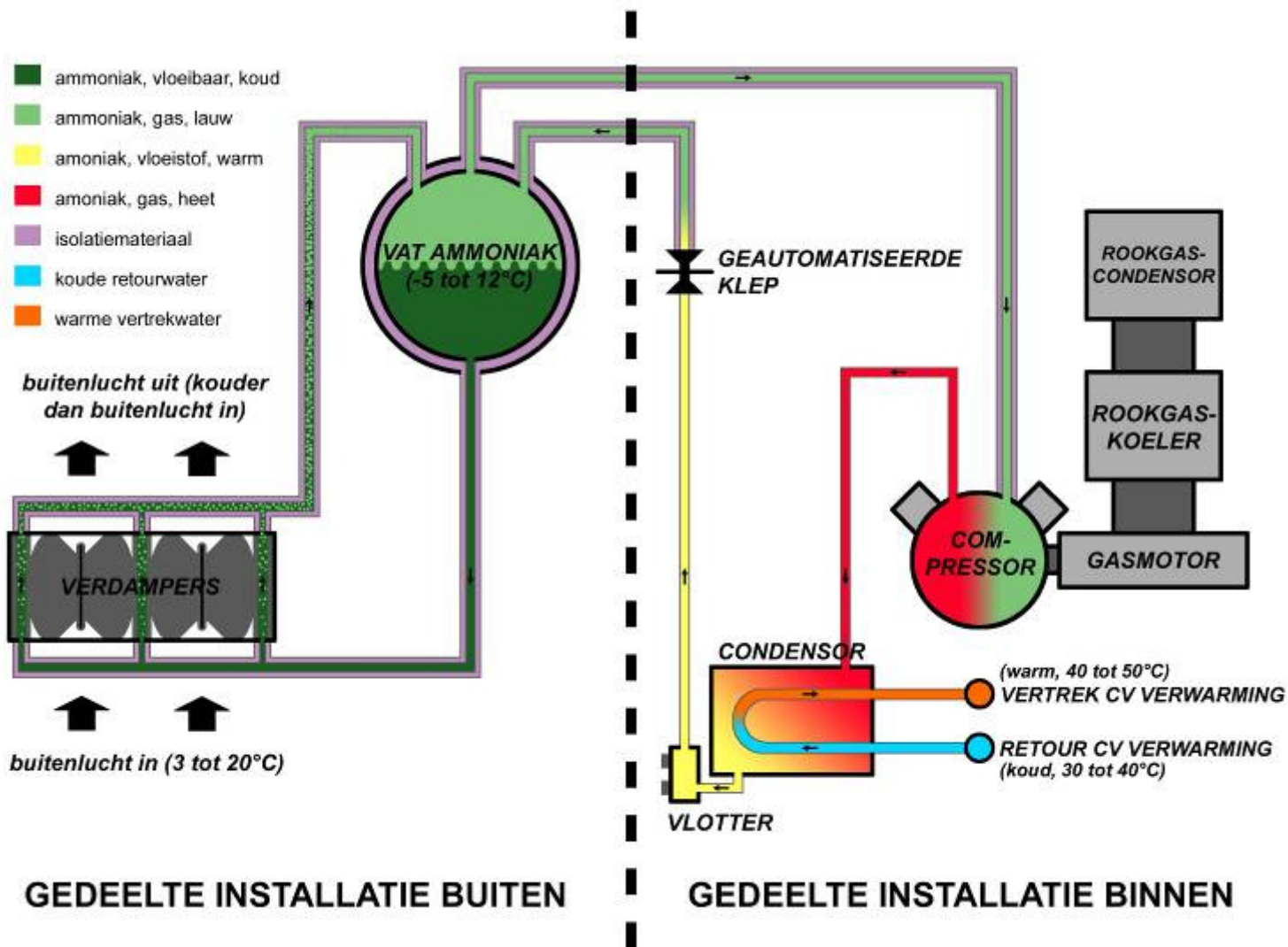


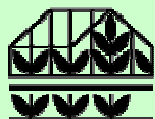
Opstelling





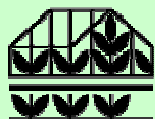
Opstelling





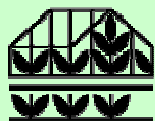
Gasmotor

Belasting	100%			75%		
	Vermogen (kW)	Rendement (%)	Bruikbaar (%)	Vermogen (kW)	Rendement (%)	Bruikbaar (%)
Verbruik gas	70,9*			54,4*		
	680			522		
Rendement as	265			200		
Rendement elektrisch	127	18,7%		66	12,6%	
Rendement as compressor	130	19,1%	37,8%	130	24,9%	37,5%
Rendement koelwater	150	22,1%		127	24,3%	
Rendement mengselkoeler	47	6,9%		25	4,8%	
Rendement rookgaskoeling	145	21,3%		111	21,3%	
Rendement condensor	67	9,9%	60,1%	51	9,9%	60,2%
Verlies straling	27	4,0%		19	3,7%	
Totaal	693	101,9%	97,9%	529	101,4%	97,7%



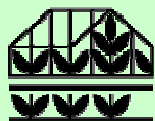
Warmtepomp

Conditie buitentemperatuur/ buistemperatuur	Warmte- vermogen warmtepomp (kW)	Opgenomen vermogen (kW)	Warmte- vermogen motor (kW)	Gasverbruik motor (kW)	Totaal warmte- vermogen (kW)	COP warmte vermogen /gas- verbruik
2,5/25	433	80,3	123,9	206,1	556,9	2,70
2,5/32	408	90,5	139,7	232,2	547,7	2,36
2,5/39	380	101,4	156,5	260,2	536,5	2,06
2,5/46	362	108,5	167,5	278,4	529,5	1,90
2,5/53	365	118	182,1	302,8	547,1	1,81
7,5/25	584	76,8	118,5	197,1	702,5	3,56
7,5/32	514	91,7	141,5	235,3	655,5	2,79
7,5/39	486	104	160,5	266,9	646,5	2,42
7,5/46	460	115	177,5	295,1	637,5	2,16
7,5/53	432	127,5	196,8	327,2	628,8	1,92
12,5/25	632	80	123,5	205,3	755,5	3,68
12,5/32	606	92	142,0	236,1	748,0	3,17
12,5/39	565	110	169,8	282,3	734,8	2,60
12,5/46	527	129	199,1	331,0	726,1	2,19
12,5/53	510	137	211,4	351,5	721,4	2,05
17,5/25	760	79	121,9	202,7	881,9	4,35
17,5/32	730	93	143,5	238,6	873,5	3,66
17,5/39	672	120	185,2	307,9	857,2	2,78
17,5/46	640	136	209,9	349,0	849,9	2,44
17,5/53	624	143	220,7	366,9	844,7	2,30



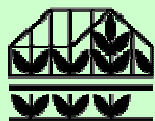
Warmtepomp

Conditie Buitentemp. / Buistemp. (°C)	Warmte- vermogen Warmte- pomp (kW)	Opgeno- men Vermo- gen (kW)	Warmte vermog en motor (kW)	Gasver- bruik motor (kW)	Totaal warmte- vermog en (kW)	COP warmte /gas
2,5/46	362	108,5	167,5	278,4	529,5	1,90
7,5/46	460	115	177,5	295,1	637,5	2,16
12,5/46	527	129	199,1	331,0	726,1	2,19
17,5/46	640	136	209,9	349,0	849,9	2,44



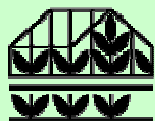
Rendementsberekening

Datum	Verbruik		Buitentemp		Vermogen		Draaiuren			Warmteproductie		Gasverbruik		Stockage	Buffer
	Gas	warmte	dag	nacht	dag	nacht	dag	nacht	totaal	WP- WKK	ketel	WP- WKK	ketel	MWh	ΔT 10 °C m3
	MWh	MWh	°C	°C	MW	MW				MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	
...															
3/01	17,0	16,4	0,7	-0,1	0,41	0,41	12,0	12,0	24,0	9,8	6,5	17,5	6,8	0	0
4/01	10,7	10,2	5,7	3,6	0,87	0,77	11,8	0,0	11,8	10,2	0,0	8,6	0	5,2	448
5/01	7,8	7,5	8,1	7,9	0,87	0,87	8,7	0,0	8,7	7,5	0,0	6,3	0	4,8	413
6/01	7,6	7,3	6,0	5,1	0,87	0,87	8,4	0,0	8,4	7,3	0,0	6,1	0	4,7	408
7/01	10,5	10,1	9,4	7,7	0,87	0,87	11,6	0,0	11,6	10,1	0,0	8,5	0	5,2	448
8/01	22,0	21,1	7,8	6,3	0,87	0,87	12,0	12,0	24,0	20,9	0,3	17,5	0,3	0	-
9/01	17,8	17,1	7,7	7,5	0,87	0,87	12,0	7,7	19,7	17,1	0,0	14,4	0	3,1	264
10/01	17,0	16,3	9,4	8,5	0,87	0,87	12,0	6,7	18,7	16,3	0,0	13,7	0	3,6	307
...															
15/02	21,9	21,1	4,9	3,5	0,77	0,77	12,0	12,0	24,0	18,5	2,5	17,5	2,7	0	0
16/02	26,5	25,5	2,6	-0,8	0,41	0,41	12,0	12,0	24,0	9,8	15,7	17,5	16,3	0	0
17/02	25,4	24,4	5,4	-1,7	0,87	0,41	12,0	12,0	24,0	15,3	9,0	17,5	9,4	0	0
18/02	25,3	24,2	5,7	-1,6	0,87	0,41	12,0	12,0	24,0	15,3	8,9	17,5	9,3	0	0
19/02	27,3	26,2	2,6	-0,8	0,41	0,41	12,0	12,0	24,0	9,8	16,4	17,5	17,1	0	0
20/02	21,7	20,9	7,8	2,1	0,87	0,41	12,0	12,0	24,0	15,3	5,5	17,5	5,8	0	0
21/02	22,2	21,3	9,0	7,4	0,87	0,87	12,0	12,0	24,0	20,9	0,5	17,5	0,5	0	0
22/02	20,7	19,9	10,9	10,1	0,94	0,94	12,0	9,3	21,3	19,9	0,0	15,6	0	2,3	195



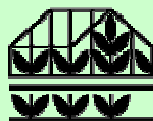
Rendementsberekening

Datum	Verbruik		Buitentemp		Vermogen		Draaiuren			Warmteproductie		Gasverbruik		Stockage	Buffer ΔT 10 °C m ³
	Gas MWh	warmte MWh	dag °C	nacht °C	dag MW	nacht MW	dag	nacht	totaal	WP- WKK MWh	ketel MWh	WP- WKK MWh	ketel MWh		
2008															
...															
25/07	3,8	3,6	26,4	19,7	1,05	1,05	3,5	0,0	3,5	3,6	0,0	2,6	0	3,1	268
26/07	3,1	3,0	23,0	19,6	1,05	1,05	2,8	0,0	2,8	3,0	0,0	2,0	0	2,6	224
27/07	2,5	2,4	26,0	20,4	1,05	1,05	2,3	0,0	2,3	2,4	0,0	1,7	0	2,2	189
28/07	0,7	0,6	24,4	21,4	1,05	1,05	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,4	0	0,6	52
29/07	0,6	0,6	23,9	21,5	1,05	1,05	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,4	0	0,6	52
30/07	2,8	2,6	26,5	19,8	1,05	1,05	2,5	0,0	2,5	2,6	0,0	1,8	0	2,4	204
31/07	1,1	1,0	28,6	22,4	1,05	1,05	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,8	0	1,0	86
1/08	0,6	0,6	22,0	20,6	1,05	1,05	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,4	0	0,6	51
...															
minimum	0,6	0,6	-0,3	-1,7	0,4	0,4	0,6	0	0,6	0,6	0	0,4	0	0	0
maximum	27,3	26,2	28,6	22,4	1,0	1,0	12,0	12,0	24,0	20,9	16,4	17,5	17,1	6,3	541
gemiddeld	12,8	12,3	13,4	10,4	0,9	0,9	9,7	3,8	13,4	11,6	0,7	9,8	0,7	3,9	333
totaal	4.484	4.304					3.381	1.317	4.698	4.061	243	3436	254		



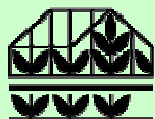
Samenvatting

Item	Situatie ketel		Situatie WP-WKK	
Item	Elek. (MWh)	Gas (MWh)	Elek. (MWh)	Gas (MWh)
Jaarverbruik ketel		4.484		254
Jaarverbruik motor		-		3.435
Aankoop elektriciteit	500	1000	268	536
Verkoop elektriciteit	-	-	301	-602
Totaal		5.484		3.623
PEB		1861 (34%)		



Samenvatting

Analyse verwarmen met WP-WKK								
	Item		prijs	aantal	tot	afschrijvingsduur	jaarkost	per m2
Uitgaven	Afschrijvingen							13080
	Gasmotor-warmtepomp-WKK		370.000	1	370.000	7	52.857	4,04
	Aansluitingen elektro en netlevering		18.000	1	18.000	7	2.571	0,20
	Aansluiting water + aanpassingen serrenet		85.000	1	85.000	7	12.143	0,93
	Warmteopslagtank 300 m3		50.000	1	50.000	7	7.143	0,55
	Aansluitingen CO2 net + rookgasreiniger		120.000	1	120.000	7	17.143	1,31
	Aansluiting + aanpassingen klimaatcomputer		10.000	1	10.000	7	1.429	0,11
	Meters (water, gas, temperatuur)		15.000	1	15.000	7	2.143	0,16
	Civiele werken, geluidsdemping, tunnel		60.000	1	60.000	7	8.571	0,66
	Verdampers stralingswarmte		8.500	1	8.500	7	1.214	0,09
	Verdampers schouw		10.000	1	10.000	7	1.429	0,11
	Studiekosten (eandis, architect, ...)		10.000	1	10.000	7	1.429	0,11
	Vergunningen		3.000	1	3.000	7	429	0,03
	totaal				756.500		-	
	Intresten		40.851	1	40.851	7	5.836	0,45
	Onderhoud motor	uren	2,5	4.698	11.745	1	11.745	0,90
	Onderhoud WP	uren	1,0	4.254	4.254	1	4.254	0,33
	Ureum	l	0,4	2.936	1.175	1	1.175	0,09
	Verzekering		756.500	0,2%	1.513	1	1.513	0,12
	Gas WKK	MWh	27,7	3.195	88.448	1	88.448	6,76
	Gas	m3	0,29	309.570				
	Gas ketel	MWh	27,7	243	6.741	1	6.741	0,52
	Gas	m3	0,29	23.593				
	Zuivere CO2	kg	100	10	1.000	1	1.000	0,08
	Elektriciteit piek (aankoop als motor stil)	MWh	80	107	8.581	1	8.581	0,66
	Elektriciteit dal (aankoop als motor stil)	MWh	55	161	8.849	1	8.849	0,68
				268				
	TOTAAL						246.642	18,86
Inkomsten	Kapitaalsubsidie	30%	226.950	1	226.950	7	32.421	2,48
	Elektriciteit piek (overschot als motor draait)		55	121	6.674	1	6.674	0,51
	Elektriciteit dal (overschot als motor draait)		55	181	10.011	1	10.011	0,77
	Totaal productie			301				
	WKK-certificaten	93%	36,00	1.651	55.426	1	55.426	4,24
	Thermische energie (WKK + ketel)							
	TOTAAL						104.533	7,99
Kost verwarmen met WP-WKK = uitgaven - inkomsten							142.109	10,86



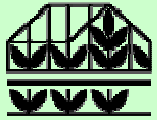
Samenvatting

Analyse verwarmen met gasketel				
Gas	4.300	119.048	119.048	9,10
Elektriciteit piek	200	16.000	16.000	1,22
dal	300	16.500	16.500	1,26
Kost verwarmen ketel + elektriciteit uit net			151.548	11,59
Besparing WKK tov ketel			9.439	0,72
Kosten stoken met WKK zonder afschrijving			34.037	
Kost verwarmen met gasketel + elektriciteit uit net			151.548	
Verschil			117.510	
Investering zonder subsidie			756.500	
Investering met subsidie 30%			529.550	
Terugverdientijd zonder subsidie			6,44	
Terugverdientijd met subsidie			4,51	



Mogelijke verbeteringen

- Tunnel van 600 m². Bij zonnestraling van 500 W/m² vertegenwoordigt dit een vermogen van 300 kW.
- Recuperatie stralingwarmte motor via een kleine verdamper
- Recuperatie condensorwarmte tweede trap condensor van de gasmotor via een verdamper op ammoniak
- Mogelijke stijging van het aantal WKK-certificaten
- Het lager energieverbruik van de randapparatuur zoals de ventilatoren en de waterpomp door de frequentieregeling (nu berekend op volvermogen).
- Uitgangstemperatuur van de warmtepomp 46 °C
- Optimalisatie van de afmetingen van de buffers
- Mogelijks kleinere opstellingen voor dezelfde oppervlakte door optimalisatie van watertemperatuur
- Ontwikkeling van goedkopere kleine rookgasreinigers
- Op grotere bedrijven zullen grote motoren met hoger asrendement



Pluspunten

- **34 % primaire energiebesparing**
- **53 % van de warmte is groene warmte, zonder omweg via planten, rechtstreekse benutting van zonnewarmte uit de lucht**
- **Decentrale productie van vermogen (gasmotor), systeem komt in aanmerking voor WKK-certificaten**
- **Benutten CO2**
- **Mogelijkheid benutten van de 'koude' in de serre (halfopen kas) of m.a.w. oogsten van zonnewarmte in de kas**

- **Mogelijke oplossing voor bedrijven die niet op het net kunnen**
- **Mogelijke oplossing voor kleinere bedrijven of bedrijven met een kleinere warmtevraag**