

Beperkte verspreiding

(contract 06/1369)

**Studie van de geothermische en hydrothermische technieken
die toepasbaar zijn in Brussel: wettelijke context, milieu-
impact, goede praktijk en economisch potentieel**

Eindrapport

J. Desmedt, H. Hoes en B. Lemmens

Studie uitgevoerd in opdracht van BIM



2007/ETE/R/...

VITO

September 2007

VERSPREIDINGSLIJST

-	BIM	: 5 exemplaren
-	SECENE	: 2 exemplaren
-	VITO	: 5 exemplaren
	Totaal	: 12 exemplaren

INHOUDSTABEL

SAMENVATTING.....	13
1 INLEIDING	16
2 TAAK 1 : BESCHRIJVING TECHNOLOGIEËN	17
2.1 INLEIDING	17
2.2 KOUDE-WARMTEOPLAG	21
2.2.1 <i>Werking</i>	21
2.2.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	24
2.2.3 <i>Energieprestaties</i>	26
2.2.4 <i>Milieu-impact</i>	27
2.3 WARMTEONTTREKKING MET GRONDWATER	28
2.3.1 <i>Werking</i>	28
2.3.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	29
2.3.3 <i>Energieprestaties</i>	29
2.3.4 <i>Milieu-impact</i>	30
2.4 HORIZONTALE BODEMWARMTEWISSELAARS	31
2.4.1 <i>Werking</i>	31
2.4.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	32
2.4.3 <i>Energieprestaties</i>	32
2.4.4 <i>Milieu-impact</i>	32
2.4.5 <i>Afgeleide techniek: asfaltcollectoren</i>	33
2.5 BOORGAT-ENERGIEOPLAG	34
2.5.1 <i>Werking</i>	34
2.5.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	35
2.5.3 <i>Energieprestaties</i>	35
2.5.4 <i>Milieu-impact</i>	36
2.6 WARMTEONTTREKKING MET VERTICALE WISSELAARS	38
2.6.1 <i>Werking</i>	38
2.6.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	38
2.6.3 <i>Energieprestaties</i>	39
2.6.4 <i>Milieu-impact</i>	39
2.7 ENERGIEPALEN	40
2.7.1 <i>Werking</i>	40
2.7.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	41
2.7.3 <i>Energieprestaties</i>	41
2.7.4 <i>Milieu-impact</i>	42
2.8 GRONDBUIZEN.....	43
2.8.1 <i>Werking</i>	43
2.8.2 <i>Toepassingsmogelijkheden</i>	44
2.8.3 <i>Energieprestaties</i>	45
2.8.4 <i>Milieu-impact</i>	45
2.9 SAMENVATTING TECHNIEKEN	46
3 TAAK 2 : KENMERKEN - GESCHIKTHEID BRUSSELSE BODEM	47
3.1 INLEIDING	47
3.2 BRUSSELSE BODEMOPBOUW.....	47
3.2.1 <i>Algemeen</i>	47
3.2.2 <i>Geologie</i>	48
3.3 MOGELIJKHEDEN VOOR OPEN HYDROTHERMIESYSTEMEN IN BRUSSEL.....	57
3.3.1 <i>Algemeen</i>	57
3.3.2 <i>Kansenkaart open systemen</i>	59

3.3.3	<i>Capaciteit</i>	64
3.4	MOGELIJKHEDEN VOOR GESLOTEN HYDROTHERMIESYSTEMEN IN BRUSSEL	65
3.4.1	<i>Algemeen</i>	65
3.4.2	<i>Kansenkaart gesloten systemen</i>	66
3.4.3	<i>Capaciteit</i>	67
3.5	LEIDRAAD GEBRUIK KANSENKAARTEN OPEN EN GESLOTEN SYSTEMEN	69
3.6	EVALUATIE GEKENDE GEOTHERMIE PROJECTEN IN BRUSSEL	71
4	METHODOLOGIE TECHNISCH – ECONOMISCH POTENTIEEL	72
4.1	INLEIDING	72
4.2	ANALYSE BRUSSELS ENERGIEVERBRUIK	72
4.3	ANALYSE BRUSSELSE GEBOUWENBESTAND	75
4.3.1	<i>Residentiele sector</i>	75
4.3.2	<i>Tertiaire sector</i>	78
4.3.3	<i>Industriële sector</i>	81
4.4	DEFINITIE REFERENTIEGEBOUWEN	82
4.4.1	<i>Residentiele sector</i>	82
4.4.2	<i>Tertiaire sector</i>	83
4.4.3	<i>Industriële sector</i>	84
4.5	DEFINITIE RANDVOORWAARDEN TECHNISCH POTENTIEEL	85
4.6	DEFINITIE RANDVOORWAARDEN ECONOMISCH POTENTIEEL	88
5	TAAK 3 : ANALYSE TYPE BEHOEFTE	91
5.1	INLEIDING	91
5.2	DEFINITIE REFERENTIE-INSTALLATIE	92
5.3	RESIDENTIELE SECTOR	92
5.3.1	<i>Beschrijving warmte- en koudebehoeften</i>	92
5.3.2	<i>Overzicht toepasbare geotechnieken</i>	93
5.4	TERTIAIRE SECTOR.....	96
5.4.1	<i>Beschrijving warmte- en koudebehoeften</i>	96
5.4.2	<i>Overzicht toepasbare geotechnieken</i>	97
6	TAAK 4 : TECHNISCH POTENTIEEL	99
6.1	INLEIDING	99
6.2	POTENTIEEL RESIDENTIELE SECTOR	99
6.2.1	<i>Appartementen</i>	99
6.2.2	<i>Woningen</i>	102
6.2.3	<i>Samenvatting</i>	104
6.3	POTENTIEEL TERTIAIRE SECTOR.....	108
6.3.1	<i>Samenvatting</i>	111
6.4	EXTRAPOLATIE NAAR GEHELE BRUSSELSE SECTOR.....	115
6.4.1	<i>Residentiele sector</i>	115
6.4.2	<i>Tertiaire sector</i>	116
7	TAAK 5 – 6: ECONOMISCHE RENDABILITEIT EN POTENTIEEL	118
7.1	INLEIDING	118
7.2	POTENTIEEL RESIDENTIELE SECTOR	118
7.2.1	<i>Initiële meerinvesteringen en primaire energieverbruik</i>	118
7.2.2	<i>Meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte</i>	120
7.2.3	<i>Meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte</i>	122
7.2.4	<i>Samenvatting</i>	123
7.3	POTENTIEEL TERTIAIRE SECTOR.....	128
7.3.1	<i>Initiële meerinvesteringen en primaire energieverbruik</i>	128
7.3.2	<i>Meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte</i>	128
7.3.3	<i>Meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte</i>	129
7.3.4	<i>Samenvatting</i>	131
7.4	EXTRAPOLATIE NAAR GEHELE BRUSSELSE SECTOR.....	136

7.4.1	<i>Residentiele sector</i>	136
7.4.2	<i>Tertiaire sector</i>	136
8	TAAK 7 : WETTELIJKE CONTEXT	137
8.1	INLEIDING	137
8.2	VLAAMSE WETGEVING	137
8.2.1	<i>Open systemen</i>	137
8.2.2	<i>Gesloten systemen</i>	139
8.3	WAALSE WETGEVING	140
8.4	BUITENLANDSE WETGEVING	141
8.4.1	<i>Nederland</i>	141
8.4.2	<i>Duitsland</i>	142
8.5	RICHTLIJNEN EN AANBEVELINGEN VOOR TOEKOMSTIGE WETGEVING	143
8.6	RICHTLIJNEN VOOR AANVULLENDE HYDROGEOLOGISCHE STUDIE LANDENIAAN	145
8.7	RICHTLIJNEN VOOR HAALBAARHEIDSSSTUDIES OPEN EN GESLOTEN SYSTEMEN.....	147
9	TAAK 8 : MILIEU-IMPACT	148
9.1	INLEIDING	148
9.2	MILIEUEFFECTEN	148
9.2.1	<i>Van emissie tot blootstelling</i>	148
9.2.2	<i>Overige toestandsveranderingen</i>	150
9.2.3	<i>Milieueffecten</i>	153
9.3	PREVENTIEVE EN CORRECTIEVE MAATREGELLEN	161
9.3.1	<i>Overzicht preventieve en correctieve maatregelen</i>	161
9.3.2	<i>Overzicht haalbaarheid, effectiviteit en kosten maatregelen</i>	165
9.4	VOORSTEL ONDERZOEKSMOGELIJKHEDEN VOLGENDE STUDIE.....	168
10	TAAK 9 : GOEDE PRAKTIJK	169
10.1	TECHNISCHE VOORWAARDEN MILIEUVERGUNNING	169
10.2	BEORDELINGSCRITERIA EN MINIMUM EISEN	171
10.2.1	<i>Beoordelingscriteria</i>	171
10.2.2	<i>Minimum eisen</i>	172
10.3	REGELS OF ADVIEZEN AAN ONTWERPER, INSTALLATEUR OF EXPLOITANT.....	173
10.3.1	<i>Projectverloop</i>	173
10.3.2	<i>Algemene regels of adviezen</i>	174
10.3.3	<i>Voorbeeldprojecten rond geotechnieken</i>	175
11	BESLUIT	176
	BIJLAGE 1: MSDS ETHYLEEN- EN MONOPROPYLEENGLYCOL	178
	BIJLAGE 2: GRAFIEKEN TERTIAIRE SECTOR – ZIEKENHUIZEN / TEHUIZEN	180
	BIJLAGE 3: GRAFIEKEN TERTIAIRE SECTOR – WINKELS	182
	BIJLAGE 4: VOORBEELDPROJECTEN	184
	REFERENTIES	197

LIJST VAN TABELLEN

<i>Tabel 1: Toepassingsmogelijkheden koude-warmteopslag in de verschillende sectoren</i>	24
<i>Tabel 2: Toepassingsmogelijkheden warmteonttrekking met grondwater</i>	29
<i>Tabel 3: Toepassingsmogelijkheden horizontale bodemwarmtewisselaars</i>	32
<i>Tabel 4: Toepassingsmogelijkheden verticale bodemwarmtewisselaars</i>	35
<i>Tabel 5: Toepassingsmogelijkheden warmteonttrekking met verticale bodemwarmtewisselaars</i>	39
<i>Tabel 6: Toepassingsmogelijkheden energiepalen in de verschillende sectoren</i>	41
<i>Tabel 7: Toepassingsmogelijkheden grondbuizen in de verschillende sectoren</i>	44
<i>Tabel 8: Samenvatting van de geo-technieken</i>	46
<i>Tabel 9: Hydrogeologische schematisatie in Brussel [1]</i>	56
<i>Tabel 10: Geschiktheidscriteria voor open systemen in Brussel</i>	57
<i>Tabel 11: Geschiktheidscriteria voor gesloten systemen in Brussel</i>	65
<i>Tabel 12: Bekende geo-thermieprojecten in Brussel [lijst BIM]</i>	71
<i>Tabel 13: Brandstof-, elektriciteitsverbruik en totale CO₂ uitstoot per sector [20]</i>	75
<i>Tabel 14: Specificaties van de residentiële referentiegebouwen</i>	83
<i>Tabel 15: Specificaties van de tertiaire referentiegebouwen</i>	84
<i>Tabel 16: Rendementen koeling en verwarming verschillende geotechnieken in combinatie met een warmtepomp (EPB/VDI4650 + VITO meetresultaten)</i>	87
<i>Tabel 17: Onderhoudskosten verschillende technologieën</i>	89
<i>Tabel 18: Elektriciteitsstarieven exclusief BTW (tenzij anders vermeld)(anno 2007)</i>	89
<i>Tabel 19: Brandstofstarieven exclusief BTW (tenzij anders vermeld)(anno 2007)</i>	90
<i>Tabel 20: Specificaties warmte- en koudebehoefte residentiële sector</i>	92
<i>Tabel 21: Overzicht toepasbare geotechnieken in de residentiële sector</i>	95
<i>Tabel 22: Overzicht toepasbare geotechnieken in de tertiaire sector</i>	98
<i>Tabel 23: Primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor residentiële gebouwen (in kWhp/m²)</i>	105
<i>Tabel 24: Primaire energiebesparing (in % ten opzichte van referentiegebouw) voor residentiële gebouwen (in %)</i>	105
<i>Tabel 25: Overzicht CO₂ emissiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor residentiële referentiegebouwen (in kg CO₂/m²)</i>	106
<i>Tabel 26: Overzicht CO₂ emissiebesparing (in % ten opzichte van referentiegebouwen) voor residentiële referentiegebouwen (in %)</i>	106
<i>Tabel 27: Jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor tertiaire referentiegebouwen (kWhp/m²)</i>	112
<i>Tabel 28: Primaire energiebesparing voor tertiaire gebouwen (in % ten opzichte van referentiegebouw)</i>	112
<i>Tabel 29: CO₂ emissiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor tertiaire referentiegebouwen (in kg CO₂/m²)</i>	113
<i>Tabel 30: CO₂ emissiebesparing voor tertiaire referentiegebouwen (in % ten opzichte van referentiegebouwen)</i>	113
<i>Tabel 31: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse residentiële sector</i>	115
<i>Tabel 32: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector</i>	116
<i>Tabel 33: Initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte (in EURO/m²)</i>	124

<i>Tabel 34: Intern rendement (in %)</i>	124
<i>Tabel 35: Totale actuele kost per bespaarde primaire energie (in EURO/kWhp)</i>	125
<i>Tabel 36: Totale actuele kost per bespaarde ton CO₂ (in EURO/ton CO₂)</i>	125
<i>Tabel 37: Statische terugverdientijd (in jaar)</i>	126
<i>Tabel 38: Dynamische terugverdientijd (in jaar)</i>	126
<i>Tabel 39: Initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte (in EURO/m²)</i> . 132	
<i>Tabel 40: Intern rendement (in %)</i>	132
<i>Tabel 41: Totale actuele kost per bespaarde primaire energie (in EURO/kWhp)</i>	133
<i>Tabel 42: Totale actuele kost per bespaarde ton CO₂ (in EURO/ton CO₂)</i>	133
<i>Tabel 43: Statische terugverdientijd (in jaar)</i>	134
<i>Tabel 44: Dynamische terugverdientijd (in jaar)</i>	134
<i>Tabel 45: Extrapolatie economisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse residentiële sector</i>	136
<i>Tabel 46: Extrapolatie economisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector</i>	136
<i>Tabel 47: Overzicht aardkundige toestandsveranderingen</i>	151
<i>Tabel 48: Overzicht (hoofd)onderdelen geotechnieken</i>	153
<i>Tabel 49: Overzicht beschouwde milieueffecten bij grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars</i>	155
<i>Tabel 50: Overzicht preventieve en correctieve maatregelen bij grondwatersystemen</i>	161
<i>Tabel 51: Overzicht preventieve en correctieve maatregelen bij bodemwarmtewisselaars</i> 164	
<i>Tabel 52: Overzicht toetsing preventieve en correctieve maatregelen bij grondwatersystemen</i>	165
<i>Tabel 53: Overzicht toetsing preventieve en correctieve maatregelen bij bodemwarmtewisselaars</i>	166
<i>Tabel 54: Overzicht technische voorwaarden milieuvergunningen</i>	169
<i>Tabel 55: Beoordelingscriteria grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars</i>	171
<i>Tabel 56: Minimumeisen grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars</i>	172

LIJST VAN FIGUREN

<i>Figuur 1: Indeling geo-energietechnieken</i>	18
<i>Figuur 2: Principeschema koude-warmteopslag (KWO)</i>	21
<i>Figuur 3: Principe monobron [5]</i>	23
<i>Figuur 4: Principe koudeopslag/recirculatie</i>	24
<i>Figuur 5: Principe warmteonttrekking grondwater [6]</i>	28
<i>Figuur 6: Principe horizontale bodemwarmtewisselaars [6]</i>	31
<i>Figuur 7: Principeschema Boorgat-energieopslag (BEO)</i>	34
<i>Figuur 8: Principe warmteonttrekking met verticale wisselaars [6]</i>	38
<i>Figuur 9: Principe energiepalen [8]</i>	40
<i>Figuur 10: Principe grondbuizen [10]</i>	43
<i>Figuur 11: Eenvoudig schema met formaties te Brussel</i>	51
<i>Figuur 12: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 1) [15]</i>	52
<i>Figuur 13: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 2) [15]</i>	53
<i>Figuur 14: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 3) [15]</i>	54
<i>Figuur 15: Schema met boringen (diepte > 150 m) op het Brussels grondgebied [14]</i>	55
<i>Figuur 16: Schema van grondwaterstroming [16]</i>	60
<i>Figuur 17: Kansenskaart KWO en grondwatersystemen in Brussel (VITO)</i>	63
<i>Figuur 18: Kansenskaart BEO en verticale bodemwarmtewisselaars in Brussel (VITO)</i>	68
<i>Figuur 19: Leidraad kansenskaarten open en gesloten hydrothermiesystemen in Brussel</i>	70
<i>Figuur 20: Schema van de Brusselse energiestromen in 2004 [20]</i>	74
<i>Figuur 21: Verdeling totaal energieverbruik per energiedrager [20, 2004]</i>	74
<i>Figuur 22: Verdeling aantal woningen volgens bouwtype [21]</i>	76
<i>Figuur 23: Verdeling aantal woningen volgens woningtype en oppervlakte [21]</i>	77
<i>Figuur 24: Verdeling nieuwbouw versus verbouwing [21]</i>	78
<i>Figuur 25: Verdeling aantal kantoren per oppervlakte [22]</i>	78
<i>Figuur 26: Verdeling aantal handelszaken per verkoopsoppervlakte [20]</i>	79
<i>Figuur 27: Aantal erkende ziekenhuizen volgens beddenscapaciteit [20]</i>	80
<i>Figuur 28: Referentie buitentemperatuur te Ukkel</i>	85
<i>Figuur 29: Rendementen van verschillende soorten warmtepompen [test center Zurich] ...</i>	86
<i>Figuur 30: Appartementen : jaarlijkse primaire energieverbruik referentie en geotechnieken</i>	100
<i>Figuur 31: Appartementen : jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken</i>	100
<i>Figuur 32: Appartementen : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken</i>	101
<i>Figuur 33: Woningen: jaarlijkse primaire energieverbruik referentie en geotechnieken ..</i>	102
<i>Figuur 34: Woningen : jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken</i>	103
<i>Figuur 35: Woningen : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken</i>	103
<i>Figuur 36: Tertiaire sector: jaarlijkse primaire energieverbruik referentie en geotechnieken</i>	108
<i>Figuur 37: Tertiaire sector: jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken</i>	109

<i>Figuur 38: Tertiaire sector : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken.....</i>	110
<i>Figuur 39: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele residentiële Brusselse sector.....</i>	116
<i>Figuur 40: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector</i>	117
<i>Figuur 41: Appartementen : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur</i>	119
<i>Figuur 42: Woningen : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur</i>	119
<i>Figuur 43: Appartementen : meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken.....</i>	120
<i>Figuur 44: Woningen : meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken.....</i>	121
<i>Figuur 45: Appartementen : meerinvesteringen versus jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte.....</i>	122
<i>Figuur 46: Woningen : meerinvesteringen versus jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte</i>	122
<i>Figuur 47: Kantoren : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur</i>	128
<i>Figuur 48: Meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken</i>	129
<i>Figuur 49: Kantoren: meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken</i>	130
<i>Figuur 50: Schematische weergave van oorzaak en gevolg van emissie tot blootstelling..</i>	149
<i>Figuur 51: Schematische weergave van de verschillende toestandsveranderingen</i>	152

LIJST MET AFKORTINGEN

BIM	: Brussels Instituut voor Milieubeheer
VITO	: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
KWO	: Koude-warmteopslag
BEO	: Boorgat-energieopslag
TEO	: Thermische energieonttrekking
EP	: Energiepalen
LTV	: Lage temperatuursverwarming
HTK	: Hoge temperatuurskoeling

SAMENVATTING

Het BIM heeft de onderzoeksinstelling VITO te Mol aangeduid om de studie van het bijzonder bestek Energie E05-087 "Studie van de geothermische en hydrothermische technieken die toepasbaar zijn in Brussel: wettelijke context, milieu-impact, goede praktijk en economisch potentieel" uit te voeren. Deze studie geeft de opdrachtgever een duidelijk beeld van de beschikbare geothermische technieken, hun technisch en economisch potentieel in Brussel en de nodige randvoorwaarden naar oa. milieu-impact en wettelijke context. Bovendien kan deze studie als leidraad dienen in de beoordeling van komende geothermie projecten en dan vooral in de vergunningsverlening. Deze studie richt zich op de technieken van ondiepe geothermie (en meer bepaald de hydrothermie en aërothermie) en dit in de residentiële, tertiaire en industriële sector. De diepe geothermie wordt in het kader van deze studie niet opgenomen.

Geothermische en hydrothermische technieken

Geothermische systemen kunnen in 2 grote categorieën ingedeeld worden: de z.g. "**hoge-enthalpie**" en "**lage-enthalpie**" systemen. De bodem heeft ideale eigenschappen om thermische energie enerzijds (1) op te slaan, de **energieopslagsystemen** of anderzijds (2) te onttrekken, de **energieonttrekkingssystemen**. Energieopslagsystemen kunnen verder ingedeeld worden in open en gesloten systemen (**hydrothermie**). Bij open systemen wordt grondwater gebruikt als transportmedium. Met name aan de grondwatersystemen zijn meer geohydrologische voorwaarden verbonden oa. beschikbaarheid aquifer, voldoende doorlatendheid van de bodem, ... Bij gesloten systemen spelen deze voorwaarden minder een rol. Het warmteuitwisselend medium circuleert doorheen verticale bodemwarmtewisselaars en kan zo voor een opslag van warmte of koude in de bodem zorgen. Daarnaast bestaan er nog de **aërothermie** systemen die gebruik maken van lucht als medium.

Volgende geotechnieken zijn in deze studie in detail behandeld:

- TECH 1: Koude-warmteopslag (verwarmen en koelen)
- TECH 2: Grondwateronttrekking (enkel warmteonttrekking)
- TECH 3: Horizontale bodemwarmtewisselaars (louter verwarmen)
- TECH 4: Verticale bodemwarmtewisselaars of BEO (verwarmen en koelen)
- TECH 5: Verticale bodemwarmtewisselaars (enkel warmteonttrekking)
- TECH 6: Energiepalen (verwarmen en koelen)
- TECH 7: Grondbuizen

Kenmerken en geschiktheid Brusselse bodem

De bodemopbouw in Brussel is sterk variërend in formaties en samenstellingen en heeft een zeer sterk reliëf. Dit maakt dat open systemen met grondwater enkel toepasbaar zijn in het oosten van Brussel. Gesloten systemen met bodemwarmtewisselaars zijn overal toepasbaar. Op basis van de beschikbare geologische informatie zijn voor de hydrothermiesystemen 2 kanskaarten voor Brussel opgemaakt, één voor open systemen met grondwater en één voor gesloten verticale bodemwarmtewisselaars. De kanskaarten geven een eerste ruwe indicatie van een mogelijke toepassing van deze technieken op de locatie.

Technisch en economisch potentieel

Na definitie van een 13-tal type gebouwen (appartementen, woningen, kantoren, ziekenhuizen, tehuizen en winkels) werd het technisch en economisch potentieel berekend voor een 7-tal geotechnieken. Niet alle geotechnieken zijn toepasbaar in elk type gebouw.

In de **residentiele sector** zijn een rijwoning, een herenhuis, een klein en groot appartementsgebouw onderzocht en dit gaf volgende resultaten:

- Voor alle toepasbare geotechnieken kan een primaire energiebesparing van gemiddeld 46% gerealiseerd worden ten opzichte van een referentie-installatie zonder geotechniek. Dit zijn zeer hoge primaire energiebesparingen die met geen enkel andere maatregel kunnen worden geëvenaard en resultaat zijn van een energiesysteem dat met zeer hoge rendementen werkt (gemiddelde COP = 4). Enkel de grondbuis valt uit de boot met een kleine 8%. De gemiddelde CO₂ reductie bedraagt zelfs 74%;
- Voor de appartementsgebouwen ligt de gemiddelde meerinvestering per m² vloeroppervlakte rond de 36 EURO/m². Dit geeft een primaire energiebesparing van ongeveer 54 kWhp/m². Een gemiddelde meerinvestering van ongeveer 37.000 Euro per project is nodig. Zowel statische en dynamische terugverdientijden liggen echter voor alle geotechnieken hoger dan 20 jaar vermist geen actieve koeling in deze gebouwen werd gekozen en de energiewinst dus louter en alleen gerealiseerd wordt op de energiebesparing voor verwarming;
- Bij de woningen liggen de cijfers een stuk hoger en bedraagt de meerinvestering factor 3 hoger voor eenzelfde primaire energiebesparing dan bij de appartementen. Ondanks de lage initiële meerinvestering van ongeveer 19.000 Euro per project (uitgezonderd grondbuis) liggen de statische als dynamische terugverdientijden voor alle geotechnieken echter hoger dan 20 jaar. Voornaamste reden is dat geen actieve koeling werd voorzien en het lage energieverbruik.
- Enkel de grondwatersystemen in appartementen geven een totale actuele kost die ongeveer 10% lager is (over de gehele levensduur van 40 jaar) dan de referentie.

In de **tertiaire sector** werden 4 kantoorgebouwen, een winkel, een ziekenhuis en een rusthuis nader onderzocht. In deze sector kunnen we volgende conclusies trekken:

- Voor alle toepasbare geotechnieken kan een primaire energiebesparing van gemiddeld 43% gerealiseerd worden ten opzichte van een referentie-installatie zonder geotechnieken. Ook hier geeft de grondbuis een kleinere waarde (16%). De gemiddelde CO₂ reductie bedraagt zelfs 48% (zonder grondbuis);
- Voor de kantoren ligt de gemiddelde meerinvestering rond 23 EURO/m² wat een primaire energiebesparing van ongeveer 70 kWhp/m² geeft. Een gemiddelde meerinvestering van ongeveer 165.000 Euro per project is nodig die binnen de 10 jaar (zowel statisch als dynamisch) terugverdiend wordt.
- Voor het ziekenhuis en het rusthuis wordt met een gemiddelde meerinvestering van 18 EURO/m² een primaire energiebesparing van ongeveer 95 kWhp/m² technisch mogelijk. Het is duidelijk dat voor kantoren en verzorginginstellingen het gebruik van geotechnieken een kleinere specifieke meerinvestering vraagt maar een maximale primaire energiebesparing geeft vanwege de warmte en (hoge) koudevraag.
- Toepassing van geotechnieken in winkels vraagt de hoogste meerinvestering en geeft de laagste primaire energiebesparing.
- Een efficiënte productie van warmte en koude kan optimaal geproduceerd worden met een bodemopslagsysteem in combinatie met een warmtepomp. Verticale gesloten bodemwarmtewisselaars vragen een hogere meerinvestering dan grondwatersystemen

maar bereiken ook een groter geografisch gebied. Grondwatersystemen halen gemiddeld een totale actuele kost die 20% lager is dan de referentie op de voet gevolgd door de verticale bodemwarmtewisselaars, energiepalen en als laatste grondbuizen.

Wetgeving

Voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is nog geen wetgeving in gebruik rond geothermieprojecten (anno 2006). Er is wel een grondwaterwetgeving die een deel dekt van de open systemen. In de studie werden adviezen opgenomen op welke manier een toekomstige wetgeving kan opgebouwd worden door oa. het opzetten van een systeem voor inventarisatie van boringen en grondwateronttrekkingen, monitoring van energieopslagprojecten, informatieverbreiding rond gebruik van kanskaarten en verder onderzoek naar mogelijkheden Landenianaan.

Milieu-impact

Het onttrekken van grondwater en het gebruiken van bodemwarmtewisselaars kan aanleiding geven tot het ontstaan van een milieueffect bij foutief of soms zelfs normaal gebruik. Door het toepassen van een aantal preventieve en correctieve maatregelen kan de milieu-impact verwaarloosbaar of onbestaand worden met als enig doel om de natuurlijke rijkdommen (de bodem) te beschermen voor een jaarlang gebruik. Deze maatregelen vragen over het algemeen geen extra investeringen maar zijn een onderdeel van goed en doordacht ontwerp dat door gespecialiseerde firma's kan worden uitgevoerd.

Algemeen besluit

Als algemeen besluit kan men stellen dat het gebruik van geotechnieken zeker in de tertiaire sector een zeer goede optie is die quasi meerinvesteringen een iets hogere inspanning vraagt maar die energetisch (en dan vooral primair) de nodige energiewinsten oplevert. Een ondersteuning vanuit de overheid naar deze sectoren is dan ook gewenst wil men het potentieel kunnen realiseren. Grondwatersystemen leveren de grootste primaire energiebesparing tegen de laagste meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte op ten opzichte van verticale bodemwarmtewisselaars maar grondwater is niet overal in Brussel aanwezig op economische dieptes. De gesloten systemen zijn overal in Brussel mogelijk zij het dat er locale verschillen kunnen optreden ten gevolge van de bodemopbouw (meer of minder wisselaars benodigd voor éénzelfde onttrekkingvermogen). Aandachtspunt bij het gebruik van grondbuizen is dat deze hun toepassing vinden in lage energiegebouwen maar dat aanvullende productie van warmte en of koude steeds nodig zal zijn. Andere geotechnieken komen hier veel beter tot hun recht.

Belangrijke noot

Om een evaluatie te maken van een welbepaald gebouw met een welbepaalde geotechniek in Brussel is steeds een specifieke analyse. Zo is bijvoorbeeld de geohydrologie in Brussel niet overal dezelfde en kan één geotechniek wel in het oosten van Brussel maar niet in het westen worden toegepast. Ook gebouwzijdige aspecten qua afgiftesystemen, temperatuurniveaus, renovatie of nieuwbouwprojecten, ... spelen een belangrijke rol. Veelal dan de exacte getallen geeft deze studie een inzicht in de mogelijkheden van geotechnieken in Brussel en kunnen beleidsrelevante trends afgeleid worden.

1 INLEIDING

Het BIM heeft de onderzoeksinstelling VITO aangeduid om de studie van het bijzonder bestek Energie E05-087 “Studie van de geothermische en hydrothermische technieken die toepasbaar zijn in Brussel: wettelijke context, milieu-impact, goede praktijk en economisch potentieel” uit te voeren.

Deze studie geeft de opdrachtgever een duidelijk beeld van de beschikbare geothermische technieken, hun technisch en economisch potentieel in Brussel en de nodige randvoorwaarden naar oa. milieu-impact en wettelijke context. Bovendien kan deze studie als leidraad dienen in de beoordeling van komende geothermie projecten en dan vooral in de vergunningsverlening. Deze studie richt zich op ondiepe geothermietechnieken (en meer bepaald de hydrothermie en aërothermie) en voor residentiele, tertiaire en industriële sector.

In de volgende hoofdstukken worden volgende vragen beantwoord:

- Wat zijn de behoeften van de Brusselse gebouwen die in aanmerking komen voor toepassing van geotechnieken?
- Wat zijn de meest geschiktste geotechnieken per sector of per type gebouw?
- Wat is het technisch potentieel van deze geotechnieken in Brussel?
- Wat zijn de voornaamste economische parameters van deze geotechnieken?
- Wat is het economisch potentieel van deze geotechnieken in Brussel?
- Wat zijn de milieueffecten bij normale en niet-normale werking van de geotechnieken?
- Wat zijn de ervaringen uit de goede praktijkvoorbeelden?

2 TAAK 1 : BESCHRIJVING TECHNOLOGIEËN

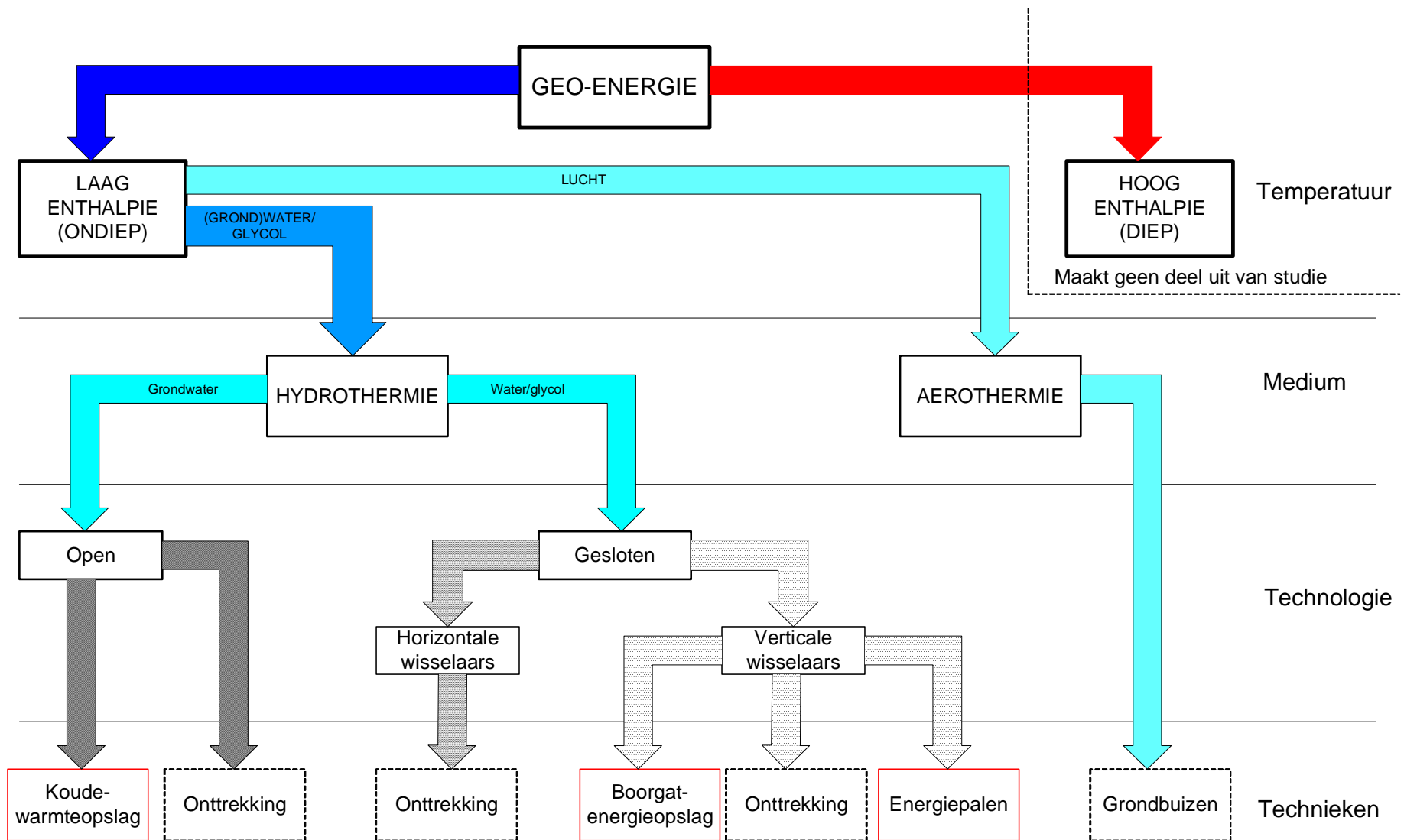
2.1 Inleiding

Om in de dagelijkse energiebehoefte te voldoen levert de natuur ons meer dan voldoende energie, onder de vorm van zon, wind, getijdenenergie, ... Jammer genoeg gaat er nog te veel energie verloren omdat de energievraag niet overeenkomt met het energieaanbod. Denk bijvoorbeeld maar aan de zonne-energie die vooral in de zomer wordt aangeboden wanneer de warmtevraag minimaal is en die we in de winter graag zouden willen benutten. Hetzelfde geldt voor proceswarmte die 's zomers weggekoeld wordt met koeltorens, terwijl die kan worden aangewend voor de verwarming van de gebouwen in de winter. Het gebruiken van ondergrondse energieopslag kan aan dit probleem een oplossing bieden.

Geothermische systemen kunnen in 2 grote categorieën ingedeeld worden: de z.g. "**hoge-enthalpie**" systemen voor het genereren van elektriciteit, en de z.g. "**lage-enthalpie**" systemen (met temperaturen lager dan 100°C) die benut worden voor verwarming en koeling van gebouwen, woningen, serres ed. of voor andere industriële toepassingen. De bodem heeft ideale eigenschappen om thermische energie enerzijds (1) op te slaan of anderzijds (2) te onttrekken. In het eerste geval spreken we over **energieopslagsystemen** en in het tweede over (thermische) **energieonttrekkingssystemen**. Energieopslag via de bodem biedt de mogelijkheid energiebronnen efficiënter te gebruiken door het, soms erg fluctuerend, aanbod aan energie om te zetten in een voorraad die beter kan afgestemd worden op de behoefte. In het vervolg van de studie worden deze onder de noemer **hydrothermiesystemen** verder behandeld. Daarnaast bestaan er nog de **aërothermie** systemen die gebruik maken van lucht als medium.

Geothermie projecten kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden (naargelang de temperatuur, gebruikte medium, technologie, ...) en het is niet eenvoudig om een eensluitende indeling/classificatie te maken waar elke techniek kan in ondergebracht worden. Temeer dient voor sommige technieken nog een onderscheid gemaakt te worden tussen enerzijds de louter onttrekkingsystemen en anderzijds de energieopslagsystemen. Zo kan één techniek zowel in het eerste als in het tweede geval voorkomen wat vaak aanleiding geeft tot verwarring in het taalgebruik of benamingen van technieken.

We trachten hier vooralsnog een indeling te maken die gebaseerd is op de eerste indeling in laag en hoog enthalpiesystemen en dan verder uitgesplitst wordt naar medium en technologie. De verschillende geo-energie technieken kunnen ingedeeld worden volgens Figuur 1. Op het laagste niveau staan de beschouwde geo-energie technieken.



Figuur 1: Indeling geo-energietechnieken

Vooreerst worden de geothermiesystemen opgedeeld in laag enthalpie (= ondiepe systemen) en hoog enthalpiesystemen (= diepe geothermie).

Diepe geothermie

De **diepe geothermie** is de energie die als warmte in de aarde is opgesloten. De oorsprong van deze warmte is verbonden met de interne structuur van de aarde en met fysische processen die hierin optreden. De warmte die in de aarde is opgesloten is gedeeltelijk te danken aan de nog steeds zeer hete kern van de aarde (4000°C) die haar warmte afvoert naar de koelere buitenkant. Deze hitte is een restant van het vormingsproces van de aarde waarbij ze in het begin van haar ontstaan volledig opsmolt. Het is ook door deze warmte dat de gesteenten in het diepste van de aarde een trage kruip ontwikkelen waardoor de beweging van de bovenliggende tektonische platen wordt aangedreven. Een ander belangrijk deel van deze aardwarmte is afkomstig van de verval van radioactieve elementen in de aardkorst. Karakteristiek is het voorkomen in de aardkorst van een z.g. geothermische gradiënt: d.w.z. dat de temperatuur van de gesteenten met toenemende diepte stijgt, namelijk met ongeveer 30°C per km of 3°C per 100m. Geothermische energiebronnen met het hoogste energiepotentieel liggen meestal geconcentreerd op z.g. tektonische plaatranden van de lithosfeer. De geothermische activiteit is hier meestal ook duidelijk zichtbaar onder de vorm van warmwaterbronnen, geisers, fumarolen, of zelfs vulkanen. Typische Europese voorbeelden van zulke gebieden zijn Larderello in Italië en Reykjavik in IJsland. *In het vervolg van de studie gaan we niet verder in op de diepe geothermie daar dit geen deel uitmaakt van onze offerte temeer het potentieel van diepe geothermie in Brussel is gering wegens de geologische ligging en de te lage temperatuur voor dergelijke toepassingen [1].*

Ondiepe geothermie

De **ondiepe geothermie** daarentegen wordt opgedeeld in 2 subcategorieën: de hydrothermie en aërothermie. Onder de **aërothermie** valt de lucht-lucht grondwarmtewisselaar of beter bekend als de grondbuis, wat ook enkel een onttrekkingsstelsel is. Deze techniek gebruikt lucht als energietransportmedium.

Onder de **hydrothermie** worden de open systemen (grondwater) en de gesloten systemen (water/glycol in wisselaars) beschouwd. De **open systemen** kunnen nog verder onderverdeeld worden in enerzijds thermische energieonttrekkingssystemen en anderzijds energieopslagsystemen en onderscheiden zich van de andere door grondwater als energietransportmedium. Bij thermische onttrekkingsystemen (TEO) wordt het grondwater opgepompt en bijvoorbeeld door een warmtepomp opgepompt tot een bruikbare temperatuurniveau. Het grondwater heeft van nature een temperatuur van 10 à 12°C en dit temperatuurniveau is niet bruikbaar voor verwarmingstoepassingen. Het grondwater wordt niet terug geïnjecteerd in de formatie maar geloosd in het oppervlakte water. Dergelijke systemen zijn niet de meest energie en milieuefficiëntste.

Energieopslagsystemen waaronder de techniek van koude-warmteopslag (KWO) gebruikt het grondwater en het gebruikte grondwater wordt terug geïnjecteerd in dezelfde formatie. Bij deze techniek wordt dus geen grondwater verbruikt maar gebruikt. Een wezenlijk verschil qua energie en milieuefficiëntie ten opzichte van de pure onttrekkingsystemen.

In de **gesloten systemen** gebeurt een eerste classificatie volgens de oriëntatie: horizontale of verticale systemen. Deze gesloten systemen kenmerken zich door het gebruik van een warmte-uitwisselend medium (oa. water, glycol, monpropyleenglycol, ..) dat door verticale

of horizontale buizen wordt gestuurd. Belangrijk extra aandachtspunt is dat dergelijke systemen geen grondwater gebruiken of verbruiken.

De **gesloten verticale systemen** kunnen verder onderverdeeld worden in verticale energieopslagsystemen via verticale wisselaars die in een boorgat worden ingebracht zoals boorgat-energieopslag, energiepalen en in thermische onttrekkingsystemen (louter om warmte te onttrekken). Een energiepaal is een thermisch geactiveerde funderingspaal.

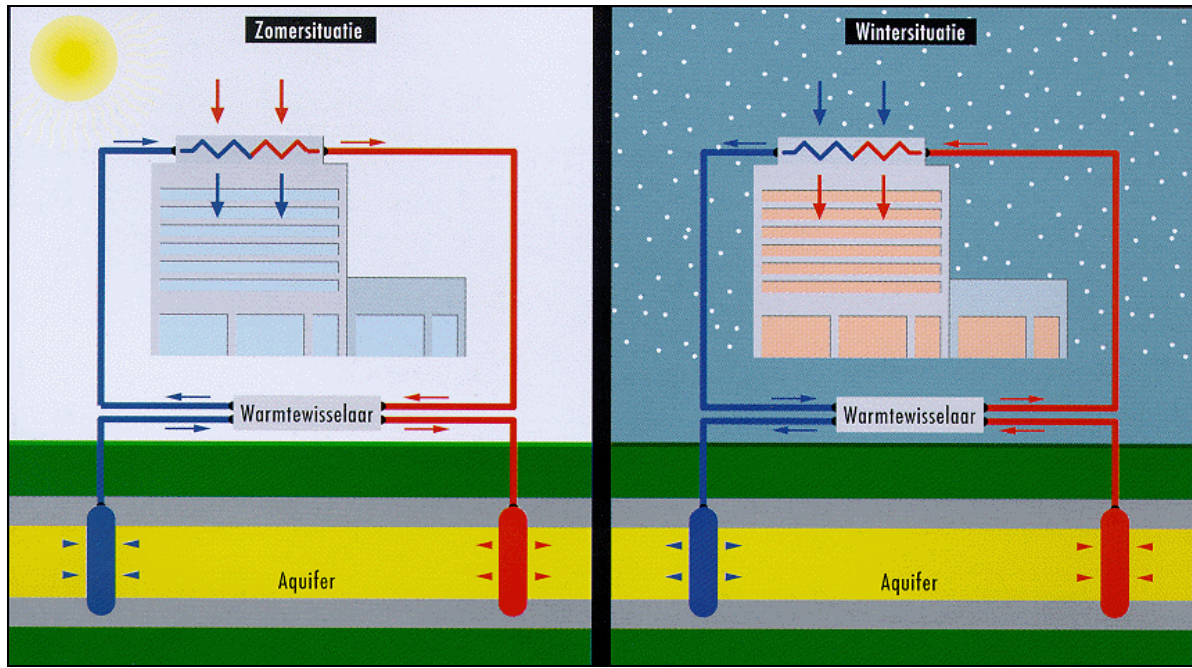
Bij een **horizontaal gesloten systeem** is enkel sprake van warmteonttrekking uit de bodem. Daarom wordt ook deze techniek gedefinieerd als thermische energieonttrekkingssysteem.

In de volgende paragrafen gaan we voor elk van deze technieken een korte beschrijving geven van de werking, toepassingsmogelijkheden, energieprestaties en milieu-impact.

2.2 Koude-warmteopslag

2.2.1 Werking

Figuur 2 geeft het prinsipeschema van een koude-warmteopslag (KWO) weer.



Figuur 2: Prinsipeschema koude-warmteopslag (KWO)

De techniek van KWO wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie open systemen. Het betreft hier een louter energieopslagsysteem.

Koude-warmteopslag is een energieopslagsysteem dat gebruik maakt van ondergrondse watervoerende zandlagen, ook wel aquifers genoemd, om thermische energie op te slaan. Koude-warmteopslag is één der bekendste vormen van UTES of Underground Thermal Energy Storage, die door het Implementing Agreement van het IEA (International Energy Agency) mee worden ondersteund.

In de meest courante configuratie bestaat een KWO uit twee bronnen: een warme en een koude bron, die samen een doublet vormen. De bronnen bevinden zich op een onderlinge afstand van 50 tot 150 meter uit elkaar, dit om thermische kortsluiting tussen de bronnen (menging van koud en warm water) te voorkomen. De diepte, die doorgaans varieert tussen 50 en 150 m, en de diameter van de bronnen zijn afhankelijk van de plaatselijke geologie en het gevraagde energieprofiel.

In de zomer wordt, als er vraag naar koeling is, koud grondwater (gemiddeld 8 - 12°C) uit één van de putten opgepompt (de "koude" bron) en wordt de koude via een warmtewisselaar aan het gebouwencircuit afgegeven. De koude wordt dus onttrokken aan het opgepompte grondwater. Het vervolgens opgewarmde grondwater wordt in een tweede bron, de "warme"

bron, geïnjecteerd. In de winter, als er behoefte is aan warmte, wordt het opgeslagen warme grondwater weer opgepompt. Via dezelfde warmtewisselaar wordt de warmte afgegeven aan het watercircuit in het gebouw zodat het bijvoorbeeld als voorverwarming van de ventilatielucht kan gebruikt worden. Het grondwater koelt door deze afgifte van warmte af en wordt terug in de "koude" bron geïnjecteerd. Hier blijft het opgeslagen tot in de volgende zomer weer behoefte is aan koeling. De gratis winterkoude en zomerwarmte van de omgevingslucht worden dus in ondiepe aquifers opgeslagen. Hier is sprake van seizoenale of seizoenoverschrijdende opslag. Zowel in de koude als in de warme bron blijft de energie opgeslagen totdat er weer behoefte is aan koude of warmte. Bovendien wordt het grondwater enkel **gebruikt** (en **niet verbruikt**) als transportmedium, om thermische energie van de buffer naar het gebouw te verplaatsen.

De aard van de aquifer speelt voor de toepassing van KWO in principe geen rol, op voorwaarde nochtans dat deze niet op een te grote diepte wordt aangeboord (economische reden) of niet te anisotroop is (fysische eigenschappen in verschillende richtingen niet gelijk, spleten volgens een voorkeurrichting). Als een geschikte watervoerende laag op een diepte van meer dan 200 m voorkomt, zal de installatie van een KWO-systeem nog weinig economisch zijn [2, 3,4].

Zoals hierboven vermeld bestaat een KWO doorgaans uit twee bronnen: een koude en een warme. Maar dat is niet altijd zo. Het maximale vermogen dat de KWO kan leveren, is afhankelijk van het debiet dat kan onttrokken worden. Dat is op zijn beurt geologisch bepaald. Dus is het goed mogelijk dat bij grote warmte- of koelvermogens één doublet niet het gewenste vermogen kan leveren. Als oplossing kunnen twee of meerdere doubletten voorzien worden, waardoor het op te pompen debiet meteen verhoogt en dus ook het onttrekkingsvermogen.

Monobron systeem

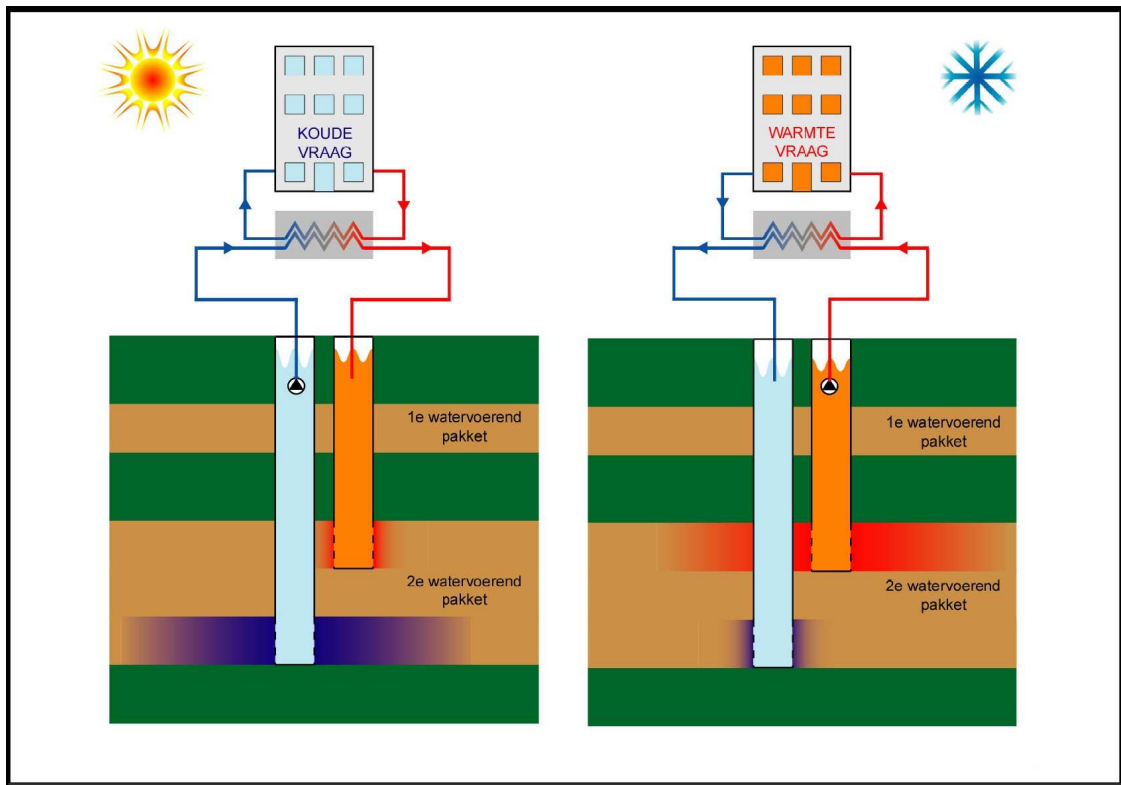
Het is daarentegen ook mogelijk om, bij kleine projecten, slechts één bron te voorzien, de zogenaamde monobronconfiguratie. Dan wordt één bron geboord, waar zowel warmte als koude kan opgeslagen en onttrokken worden. Praktisch gezien bevinden de warme en koude bron zich boven elkaar. De afscheiding gebeurt dan door een minder doorlatende laag in de aquifer zelf. Voorwaarde voor toepassing is natuurlijk een voldoende dikte van de aquifer. Groot voordeel van deze configuratie is de beperkte investeringskost ten opzichte van een doubletstructuur. Bijgevolg vormt deze techniek een interessante opstelling voor installaties met kleinere vermogens.

Figuur 3 toont het principe van een monobronopstelling.

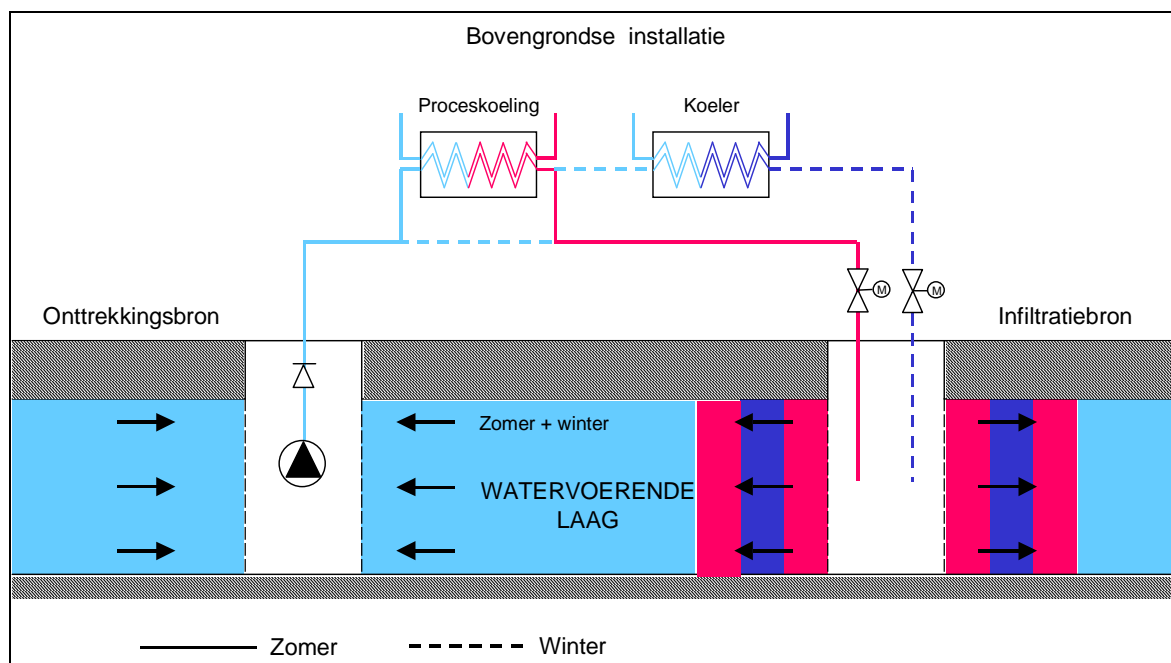
Recirculatiesysteem

Een variant op koude-warmteopslag is een koudeopslag/recirculatiesysteem, waar er, in tegenstelling tot een opslagsysteem, altijd grondwater onttrokken wordt uit dezelfde bron. Er is dus geen sprake van een warme en een koude bron, maar van een onttrekkings- en injectiebron. Het grondwater stroomt bijgevolg in één richting: van onttrekkingsbron naar injectiebron. Koudeopslag/recirculatie maakt dan ook voornamelijk gebruik van de natuurlijke bodemtemperatuur van 12°C. Het opgepompte grondwater kan jaarrond gebruikt worden voor koeling. Indien we dit proces jaar in jaar uit volhouden, gaan we de ondergrond thermisch verontreinigen. Na enige tijd zou de koude onttrekkingsbron gaan opwarmen. Om dit te voorkomen gaat men in de winter de bodem onder de natuurlijke bodemtemperatuur

afkoelen. Hiervoor wordt grondwater, door middel van een koeltoren, een droge koeler, een luchtbehandelingskast, met oppervlaktewater, ... afgekoeld en in de infiltratiebron geïnjecteerd. Het recirculatiesysteem heeft een constante stroomrichting, hetgeen geringere investeringskosten vraagt en is minder afhankelijk van de stroomrichting en stroomsnelheid van het grondwater. Figuur 3 toont een voorbeeldopstelling voor een koudeopslag/recirculatiesysteem.



Figuur 3: Principe monobron [5]



Figuur 4: Principe koudeopslag/recirculatie

2.2.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 1 geeft een eerste ruwe indicatie in welke sectoren koude-warmteopslag en koude-warmteopslag met recirculatie kan toegepast worden indien aan de randvoorwaarden werd voldaan.

Tabel 1: Toepassingsmogelijkheden koude-warmteopslag in de verschillende sectoren

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Koude-warmteopslag	-	+	+
Koudeopslag/recirculatie	-	0	+

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

Door de toepassing van frequentiegestuurde pompen kan een KWO-installatie een flexibele vermogensrange leveren en dus niet altijd de 100% capaciteit. De techniek van KWO heeft lagere energiekosten in vergelijking met een compressiekoelmachine vanwege de beperkte elektriciteitsvraag voor de productie van koude. Bij KWO-installaties ligt de nadruk meer op de koudeproductie dan op de warmteproductie vanwege de besparing op de elektriciteitsrekening. Men drukt de energieprestatie vaak uit in een coëfficiënt of performance (COP) of rendement (zie energieprestaties). Vanwege het geringe aantal bewegende delen in een KWO-systeem (bronnepompen, kleppen, afsluiters, ...) zijn er lage onderhoudskosten vergeleken met compressiekoelmachines wat de bedrijfszekerheid dan

weer vergroot. Deze toestellen nemen slechts een beperkte oppervlakte in van de technische ruimte vermits bijna alles onder de grond zit.

Geologie

Een eerste voorwaarde voor de toepassing van KWO betreft de lokale afhankelijkheid van de geologie of het aanwezig zijn van de benodigde aquifers. Grote delen van Brussel komen niet in aanmerking wegens de onbeschikbaarheid van grondwater op economisch haalbare dieptes of de ontoereikende doorlatendheid van de bodem om voldoende grote debieten op te halen voor langere tijd. Voor de toepassing van een goed KWO-systeem is een doorlatendheid van tenminste 15 m/d nodig. Algemeen geldt ook dat hoe dikker de laag en hoe groter de doorlatendheid, des te meer deze geschikt is voor de installatie van KWO-systemen.

Indien alle voorwaarden vervuld zijn, d.w.z. dat er op een economische diepte, een waterlaag wordt aangeboden met een voldoende grote capaciteit, kunnen er toch nog beperkingen optreden [3, 4]:

- Alhoewel zout of brakwater technisch gezien geen enkel bezwaar is voor de techniek kan door de exploitatie van een KWO-installatie, een verzilting van de bovenliggende zoetwaterlaag optreden.
- Toch zal voor de installatie van een KWO-systeem in een freatische laag worden nagegaan in hoeverre de injectie aanleiding kan geven tot z.g. verzomping (hiermee wordt bedoeld dat het grondwater tot aan of boven het maaiveld komt).
- Injectie van grondwater op de flanken van heuvels kan door verhoogde poriëndruk een massabeweging van de grond met zich mee brengen (slumping).
- De hydraulische gradiënt, die mede de natuurlijke grondwatersnelheid bepaalt, bedraagt ongeveer 0,1 % tot 0,3 %. Daardoor is de natuurlijke stroming traag. Lokaal kan deze gradiënt groter zijn. Voor deze weliswaar beperkte zones moet vooraf de natuurlijke grondwaterstroming nauwkeurig worden nagegaan. Een grondwaterstroming mag niet groter zijn dan 10 tot 25 m/j.
- Voor de installatie en de efficiëntie van KWO-systemen is vooral de concurrentie van naburige grondwateronttrekkingen te vrezen. Deze laatste onttrekkingen kunnen de grondwatersnelheid sterk doen stijgen en kunnen er voor zorgen dat de bel met koud of warm water als het ware wordt weggezogen. Bij elke installatie van KWO moeten dus vooraf de waterwinningen in de omtrek nauwkeurig geïnventariseerd worden.

KWO in residentiële sector

De toepassing van KWO in de residentiële sector ligt minder voor de hand vanwege de hoge investeringskost.

KWO in tertiaire sector

Indien aan deze voorwaarde voldaan is kan KWO toegepast worden in kantoorgebouwen, ziekenhuizen, winkelcentra en werkruimten waar klimaatregeling of comfortregeling nodig is. KWO kan zowel ingezet worden bij beperkte koelsystemen (met ventilatielucht) als bij meer uitgebreide systemen met plaatselijke koeling, zoals koelplafonds en topkoeling [3].

KWO in industriële sector

Ook voor de koeling van industriële processen kan KWO economisch gezien interessant zijn. Er vindt immers geen nettoverbruik van grondwater plaats met als bijkomend voordeel dat het ganse jaar door een lagere koeltemperatuur kan worden gegarandeerd zonder een hoge elektriciteitsrekening. Het energieverbruik en de exploitatiekosten zijn 40 tot 80% lager dan bij toepassingen van koelmachines en koeltorens. Gezien de vele bedrijfsuren is KWO in industriële processen rendabel vanaf een koelcapaciteit van 150 kW [3]. De combinatiemogelijkheden van een KWO-systeem met andere systemen zijn uiteraard ook interessant. Zo zijn combinaties mogelijk met koelbatterijen, droge koelers of koeltorens en warmtepompen.

2.2.3 Energieprestaties

De energieprestatie is rechtstreeks gelinkt aan de randvoorwaarden van het project. De meest invloedrijke randvoorwaarden zijn de volgende:

- Hydrogeologische ligging
- Aanwezigheid en grootte van andere grondwateronttrekkingen in de omgeving
- Afgiftesysteem voor warmte en koude
- Gevraagde vermogens en tijdsduur van dit vermogen
- Evenwicht in de energiehoeveelheden koude en warmte
- ...

De eerste twee parameters zijn in vorige paragraaf reeds behandeld.

Afgiftesysteem en temperatuurstraject KWO

Om met behulp van koude-warmteopslag gedurende de gehele zomer water van 6 °C te maken, is het noodzakelijk grondwater van 5 °C uit de bodem te onttrekken (ΔT van 1 °C over de warmtewisselaar). Het verkrijgen van een koude brontemperatuur van 5 °C in de zomer vereist dat, vanwege thermische verliezen in de bodem, er in de winter grondwater van circa 2 °C in de koude bron moet worden geïnjecteerd. Het aantal uren dat er in een winter met behulp van buitenlucht dergelijk koud grondwater kan worden geproduceerd is in België dermate gering dat er niet voldoende koude kan worden gemaakt. Gevolg is dat met koudeopslag alleen voldoende koude kan worden geleverd indien dit kan plaatsvinden op een hoger temperatuurniveau. In zijn algemeenheid wordt voor het gekoeld waternet gekozen voor een 10/18 °C regime, een hoger temperatuurniveau dan het klassieke 6/12°C-ijswaterregime. Het afgiftesysteem in het gebouw moet het tevens mogelijk maken op een dergelijk hoog temperatuursregime nog voldoende koude te kunnen leveren zoniet zijn bijkomende investeringen nodig (bijv. bijplaatsen van extra luchtbatterijen). Dit kan vooral een probleem geven bij renovatie minder bij nieuwbouw.

Ook het temperatuurstraject van de KWO-installatie is van belang. Dit hangt ook nauw samen met de interne HVAC-installatie. Een KWO-systeem heeft voor een vermogenlevering van bijv. 100 kW aan een temperatuursverschil van 5°C ongeveer een debiet van 20 m³/h nodig. Hetzelfde systeem en vermogen met een temperatuursverschil van 10°C heeft maar 10 m³/h grondwater nodig. Dit heeft een positief gevolg voor de energiebalans.

Ook de tijdsduur van een bepaald vermogen heeft een invloed op de energieprestaties van een KWO-systeem. Een systeem dat maar gebruikt wordt voor piekkoeling in de zomer zal veel lagere prestaties hebben dan een systeem gedimensioneerd op de basislast.

Voor de dimensionering van een KWO-installatie is het van belang om de energiehoeveelheden voor koude en warmte te berekenen, een overgedimensioneerd systeem met bijv. meerdere kleine bronnen leidt vaak tot een slecht werkend systeem met ondermaatse prestaties.

Rendement

De coëfficiënt of performance (COP of rendement) van een KWO-systeem bedraagt typisch 20 à 40 (koeling) dit in vergelijking met een COP van een koelmachine 2,5 à 3,5 wat neerkomt op een factor 10 maal efficiënter.

Energie-evenwicht

Bij het toepassen van KWO-installaties is het van belang om een min of meer evenwicht te creëren tussen de energiehoeveelheden voor koude en warmte. Vaak komt men in gebouwen een onevenwicht tussen beide energiehoeveelheden voor en zijn soms additionele koudeproducenten nodig bijv. een droge koeler om voldoende koude te laden tijdens de winter. Door een onbalans in de energiebalans zal de temperatuur in de ondergrond na verloop van tijd structureel gaan wijzigen en opwarmen. Bij lozing van 20% warmte per jaar in de bodem kan deze ongeveer 4,5°C opgewarmd worden. Een (ongeveer evenwichtige) energiebalans dient dus gevraagd te worden bij de milieuvergunningen voor een correcte toepassing van KWO.

2.2.4 Milieu-impact

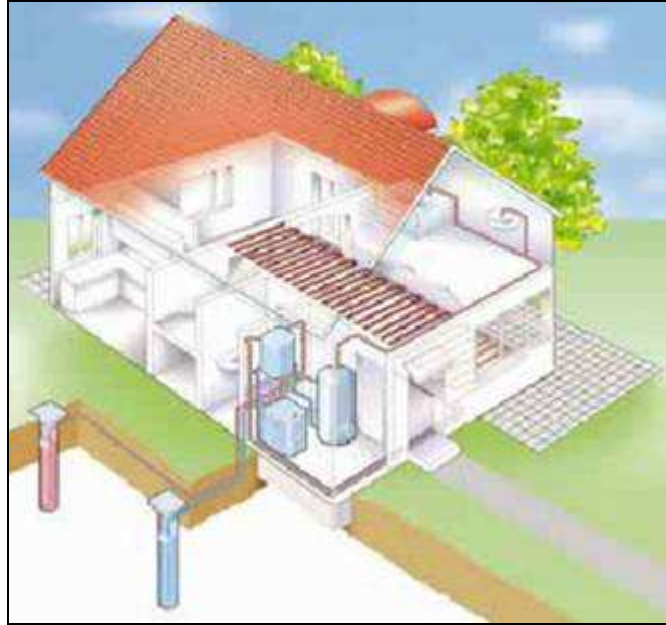
De toepassing KWO wordt aanzien als een milieuvriendelijk en duurzaam alternatief voor de klassieke koelmachine wegens de primaire energiebesparing en CO₂ emissiereductie. De afwezigheid van milieuonvriendelijke koudemiddelen als HCfk's die in het algemeen in koelmachines gebruikt worden geeft een ontegensprekelijk milieuvoordeel.

Het gebruik van grondwater als transportmedium in plaats van een water/glycol mengsel is een bijkomende troef temeer daar er geen grondwater verbruikt maar alleen gebruikt wordt. Met dien verstande dat de menging van allerlei waterkwaliteiten (zoet, brak, ...) zoveel mogelijk dient vermeden te worden. Dit wordt bestudeerd aan de hand van een effectenstudie die de invloeden op de grondwaterkwaliteit, het grondwaterpeil, ... en andere parameters gaat evalueren. Alles hangt natuurlijk samen met de wijze waarop de KWO-installatie wordt bedreven maar hier meer in de taak 8 (milieu-impact).

2.3 Warmteonttrekking met grondwater

2.3.1 Werking

Figuur 5 geeft het principe weer van zulk warmteonttrekkingsysteem met grondwater voor een huishoudelijke toepassing.



Figuur 5: Principe warmteonttrekking grondwater [6]

De techniek van warmteonttrekking met grondwater wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie open systemen. Het betreft hier een louter onttrekkingsysteem.

Voor toepassingen met enkel een warmtebehoefte, is de investering voor een energieopslagsysteem als KWO onrendabel. Voor die toepassing bestaat er dan ook een variant, die enkel warmte onttrekt uit de ondergrond en dus geen thermische energie opslaat. De opstelling is in feite vergelijkbaar met een koudeopslag/recirculatie: het grondwater wordt altijd onttrokken uit dezelfde bron, in dit geval de pompput, en wordt, na warmte-uitwisseling met een warmtewisselaar, geïnjecteerd in de retourput. Aan de warmtewisselaar wordt bijgevolg een temperatuur aangeboden van ongeveer 12°C, zijnde de constante bodemtemperatuur. In dit geval wordt die enkel gebruikt voor verwarmingsdoeleinden. Daarvoor wordt deze techniek meestal gecombineerd met een warmtepomp om het temperatuurniveau te verhogen. Dit onttrekkingsysteem is dus qua installatie maar zeker qua regeling ook een stuk eenvoudiger dan KWO, wat zo zijn impact heeft op de prijs.

Er dient aandacht geschonken te worden aan de kwaliteit van het opgepompte grondwater zeker in relatie tot de eigenschappen van de warmtewisselaar.

Er bestaan toepassingen waar het opgepompte grondwater niet terug geïnjecteerd wordt in de retourput maar geloosd wordt in de riool of op oppervlaktewateren of gebruikt wordt in productieprocessen als proceswater. Het lozen van opgepompt grondwater zou verboden moeten worden.

2.3.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 2 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek warmteonttrekking met grondwater voor de verschillende sectoren.

*Tabel 2: Toepassingsmogelijkheden warmteonttrekking met grondwater
in de verschillende sectoren*

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Warmteonttrekking grondwater	+	+/0	+

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

Deze techniek maakt voornamelijk gebruik van de natuurlijke bodemtemperatuur van 12°C. Aangezien deze temperatuur ongeschikt is voor rechtstreekse verwarmingstoepassingen, wordt er vaak een warmtepomp ingezet. Het grondwater wordt aan de verdamper van de warmtepomp aangeboden. Deze zorgt voor een opwaardering van de temperatuur naar een geschikte temperatuur voor verwarmingstoepassingen. Deze configuratie komt vooral voor in de residentiële en industriële sector.

Er is weinig oppervlakte nodig om een dergelijk systeem te installeren. Zoals bij KWO zit het meest gedeelte onder de grond. De randvoorwaarden van het KWO systeem zijn hier eveneens geldig zijnde een aangepast temperatuurstraject, beschikbaarheid van grondwater op een aanvaardbare diepte, rekening houden met naburige grondwaterwinningen, ... Er dient wel rekening gehouden te worden met de kwaliteit van de retourput en deze zal in de tijd wel eens dienen geregenereerd worden. Men moet vermijden dat deze gaat dichtslibben.

2.3.3 Energieprestaties

De aangeboden temperatuur is vrij hoog en constant gedurende het jaar door zodat bijvoorbeeld een warmtepomp gekoppeld aan een grondwatersysteem een zeer hoog rendement (COP van 4 à 5) haalt indien de warmtelevering op een temperatuur van maximaal 45°C geschiedt. Het verschil tussen de bron- en afgiftetemperatuur van een warmtepomp is een maat voor het rendement, hoe kleiner dit temperatuursverschil des te hoger het rendement.

Indien uit de bodem continu warmte wordt onttrokken gaat deze in de loop van de jaren te sterk afkoelen en dient deze geregenereerd te worden. De natuurlijke bodemtemperatuur zou dan te ver onder de 12°C dalen. Om dit te vermijden wordt het evenwicht in de bodem terug

hersteld met bijv. een koeltoren. Dit wordt enkel uitgevoerd bij grotere projecten, bij kleinere projecten wordt de bodem op een natuurlijke manier geregenereerd door de grondwaterstroming.

2.3.4 Milieu-impact

Enige milieuonvriendelijkheid is het lozen van grondwater bij dergelijke toepassingen wat absoluut niet toegelaten mag worden. De milieu-impacten zijn vergelijkbaar met deze van de KWO-techniek.

2.4 Horizontale bodemwarmtewisselaars

2.4.1 Werking

Figuur 6 geeft het prinsipeschema van de configuratie met horizontale bodemwarmtewisselaars weer.



Figuur 6: Principe horizontale bodemwarmtewisselaars [6]

De techniek van horizontale bodemwarmtewisselaars wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie gesloten horizontale wisselaars. Het betreft hier een louter onttrekkingsstelsel en geen opslagsysteem.

Dit systeem bestaat uit een gesloten horizontaal circuit van warmtewisselaars die ingegraven worden tot op een diepte van minstens 1 m onder het maaiveld en wordt hydraulisch met elkaar verbonden tot een gesloten netwerk. Door de wisselaars wordt een mengsel van water en glycol gestuurd, dat dienst doet als circulatie- en transportmedium voor de overdracht van thermische energie. Dit netwerk kan gekoppeld worden met een warmtepomp aan een laag temperatuursysteem bestaande uit vloerverwarming, overgedimensioneerde radiatoren of als voorverwarming voor ventilatielucht.

Bij grondgekoppelde warmtepompen bestaat het gevaar dat bij overexploitatie (te veel warmte onttrekking op te korte tijd) de grondlagen rond de buizen gaan bevriezen (d.i. het z.g. "toendra-effect", vergelijkbaar met de ontwikkeling van een permafrost). De ondergrondse temperatuur zal in de loop van het stookseizoen dalen, om tot een minimum te komen op het eind van het stookseizoen. Bij normale warmteafname echter zijn deze systemen duurzaam: tijdens de zomer gebeurt immers regeneratie van warmte die tijdens de winter aan de ondiepe bodem werd ontnomen. De grondlagen rond de warmtewisselaars, die

kort bij het oppervlak gelegen zijn, worden door de zonne-energie en aardwarmte terug opgewarmd.

2.4.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 3 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek horizontale bodemwarmtewisselaars voor de verschillende sectoren.

Tabel 3: Toepassingsmogelijkheden horizontale bodemwarmtewisselaars

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Horizontale bodemwarmtewisselaars	+	0/-	-

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

De eenvoudige installatie en de beperkte vermogenuitwisseling van horizontale bodemwarmtewisselaars maakt dat deze techniek zich enkel leent voor onttrekking van warmte (met aandacht voor een bepaalde temperatuursgrens) en voornamelijk geschikt is in de residentiële sector. Voor de andere sectoren tertiair en industrieel is de toepassing van deze techniek niet vanzelfsprekend wegens de noodzaak tot grote oppervlakten om voldoende warmte te kunnen onttrekken. Deze zijn niet altijd beschikbaar bijv. bij grote kantoorgebouwen in een stad en er dient eveneens rekening gehouden te worden met latere werkzaamheden in bijv. de tuin.

2.4.3 Energieprestaties

De energieprestaties van horizontale bodemwarmtewisselaars zijn afhankelijk van een continu wijzigende brontemperatuur in functie van het stookseizoen. Dit bepaalt ook het dalende rendement van de warmtepomp tijdens het stookseizoen. Deze systemen zijn wel goedkoper in aanschaf dan bijvoorbeeld de verticale systemen maar worden dus enkel gebruikt als warmteonttrekking en niet als opslag. Deze systemen vallen dus qua energieprestaties tussen de systemen met grondwater en de verticale systemen.

2.4.4 Milieu-impact

Deze techniek heeft een milieuvriendelijke en duurzame uitstraling vanwege zijn efficiëntie bij het gebruik van een warmtepomp.

In het algemeen kan men stellen dat horizontale leidingen meer lekken dan verticale door de standaard toepassing van lektesten bij deze laatste. De lekverliezen van dergelijke systemen naar de bodem zijn echter zeer gering indien de installatie goed geïnstalleerd wordt [7]. Hiervoor dienen bij de installatie voldoende garanties door de leverancier gegeven te worden. Het gebruik van monopropyleenglycol wordt aangeraden boven het gebruik van ethyleenglycol (zie volgende paragraaf).

2.4.5 Afgeleide techniek: asfaltcollectoren

Een afgeleide techniek van horizontale bodemwarmtewisselaars is het gebruik van asfaltcollectoren. In deze paragraaf wordt kort de techniek van asfaltcollectoren beschreven.

Het wegdek kan aanzien worden als een goedkope zonnecollector. Een asfaltoppervlak verkrijgt al snel een temperatuur van $\pm 60^{\circ}\text{C}$ tijdens een warme zomerdag. Een systeem voor het capteren van de zonnewarmte is een alternatief voor de klassieke thermische zonnepanelen. Tevens zal door het afvoeren van de warmte in de zomer spoorvorming, door verweking van het asfaltoppervlak onder invloed van zware aslasten, verminderd of voorkomen worden. Men kan hierin nog verder gaan door de gewonnen zomerwarmte te stockeren in de ondergrond (via verticale warmtewisselaars of in watervoerende lagen) om deze te “bewaren” voor later gebruik, bv. in de winter voor het sneeuw- en ijsvrij houden van het wegdek.

Om dit praktisch te realiseren kan men een buizenregister in het asfalt aanbrengen of rechtstreeks een vloeistof doorheen een open asfaltbeton (fluisterasfalt) sturen. Onderzoek wijst op specifieke mogelijkheden/problemen bij beide technieken. Buizen zijn immers moeilijk in het warme asfalt aan te brengen en creëren belangrijke spanningen in het asfalt. Zo is men ertoe gekomen om de buizen in een staalvezelversterkte betonlaag onder het asfalt aan te brengen. De haalbare opbrengsten (150 à 200 kWh/m^2) zijn sterk afhankelijk van de gewenste uitgaande temperatuur. Bij temperaturen boven 20°C neemt de totale energieopbrengst belangrijk af.

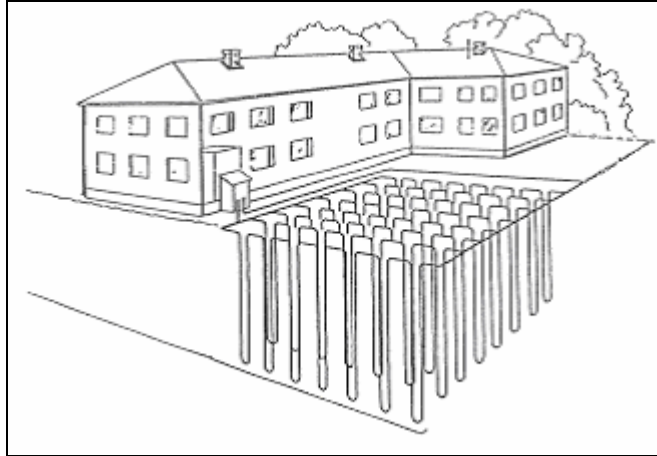
In functie van de specifieke doelstellingen kunnen uitvoeringsmogelijkheden uitgewerkt worden. Hierbij kan het accent liggen op wegdekbescherming, energiewinning voor klimatisatiedoelinden of op combinaties hiervan. Het blijkt immers dat slechts een klein gedeelte (20%) van de 's zomers gestockeerde warmte nodig is voor het ijsvrij houden van de wegen in de winter in Vlaanderen. Energieoverschotten kunnen direct of indirect (via warmtepomp) aangewend worden. Een optimaal systeem wordt bereikt indien in de winter de energieopslag ontladen wordt via de warmtepomp, waarna doorstroming door het wegdek kan gebeuren voor het ijsvrij houden van het wegdek. In de zomer wordt de opslag geladen, doch vooraleer zonnewarmte wordt opgenomen via de asfaltcollector zal de ondergrondse koude benut worden voor klimatisatietoepassingen.

Om een economisch rendabel systeem te bekomen, is het belangrijk dat de voordelen naar het wegdek toe goed benut kunnen worden. Dit impliceert dat vooral belangrijke wegen in aanmerking komen (autosnelwegen, gewestwegen,...). Door een verlenging van de onderhoudsintervallen met een factor 1,5 tot 3 kunnen de belangrijke meerinvesteringen verantwoord worden. Milieuvoordelen (minder strooizouten) en economische voordelen door vermindering van wegonderhoud (minder files en ongevallen) zijn bijkomende belangrijke troeven.

2.5 Boorgat-energieopslag

2.5.1 Werking

Een schematische opstelling van boorgat-energieopslag (BEO) wordt voorgesteld in Figuur 7.



Figuur 7: Principeschema Boorgat-energieopslag (BEO)

De techniek van verticale bodemwarmtewisselaars of boorgat-energieopslag wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie gesloten verticale wisselaars. Het betreft hier een energieopslagsysteem maar het kan ook toegepast worden voor louter warmteonttrekking (zie techniek volgende paragraaf).

Warmte en/of koude kan in de grond gebracht of onttrokken worden met behulp van een gesloten hydraulisch circuit bestaande uit een aantal verticale warmtewisselaars. Deze laatste zijn kunststofbuizen die als een lus, verticaal, in een 20 tot 150 m diep boorgat worden ingebracht. Door meerdere wisselaars op een afstand van 2 tot 10 m van elkaar aan te brengen, wordt een zeker opslagvolume gecreëerd. Het medium in de kunststofleidingen is een water/glycol mengsel in een bepaalde verhouding. De toevoeging van glycol aan het water is noodzakelijk om bevriezing te voorkomen. De techniek laat toe om zowel koude als warmte te stockeren, zelfs hoge temperatuuropslag is mogelijk (tot 90°C). De techniek is overall in Brussel toe te passen, afhankelijk van de thermische geleidbaarheid van de bodem zullen minder of meer verticale warmtewisselaars geplaatst moeten worden voor het bereiken van hetzelfde onttrekkings- of dissipatievermogen. Daarbij geldt als vuistregel: in een waterverzadigde laag kan meer thermische energie opgeslagen worden dan in een kleilaag.

Een ander systeem is gebaseerd op de grondgekoppelde warmtepomp met mogelijkheid tot “natural cooling” in de zomer. Dit zorgt enerzijds voor duurzame koeling en vermijdt anderzijds uitputting van de bodem door regeneratie. Hierbij wordt een BEO-veld gekoppeld aan een warmtepomp waarbij deze warmte onttrekt aan de bodem tijdens het stookseizoen. Dit proces leidt tot een globale afkoeling van de ondergrond met een minimum temperatuur aan het eind van het stookseizoen. Mits goede dimensionering kan dit systeem de bodemkoude vrij (zonder koelmachine) benutten tijdens periodes met koudevraag. De

warmtepomp wordt wel best omkeerbaar uitgevoerd om grote pieken in de koudevraag tijdens langere warme periodes op te vangen. De condensorwarmte wordt dan naar de ondergrond gebracht of via een koeltoren of droge koeler afgegeven aan de omgeving. Dit systeem levert een dubbele energiewinst op. Enerzijds zal de “natural cooling” een belangrijke besparing opleveren op de energiefactuur voor koeling, anderzijds zal de bodem geregenereerd (terug opgewarmd) worden met het oog op een verbeterd warmtepompbedrijf (hogere COP's) tijdens het volgende stookseizoen.

2.5.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 4 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek verticale bodemwarmtewisselaars (of BEO) voor de verschillende sectoren.

Tabel 4: Toepassingsmogelijkheden verticale bodemwarmtewisselaars

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
BEO	0	+	+

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

Voor BEO zal de temperatuur van de ondergrondse buffer afhankelijk zijn van de periode van het jaar. Zo zal er gedurende het stookseizoen koude worden opgebouwd, met een piek aan het eind van het stookseizoen. De ondergrondse temperatuur zal dan meestal schommelen rond het vriespunt. Gedurende de zomer zal er koude worden onttrokken uit de bodem, waardoor de temperatuur zal toenemen totdat het stookseizoen terug start. De temperatuur kan oplopen tot 18°C op het einde van de zomer.

De meest gebruikte configuratie van BEO wordt gevormd door de combinatie met een grondgekoppelde omkeerbare warmtepomp. In de winter staat de warmtepomp in voor de warmtelevering, waarbij het water-glycolmengsel aan de verdamper van de warmtepomp aangeboden wordt. In de zomer daarentegen wordt de opgebouwde koude voor het overgrote deel gevaloriseerd via natuurlijke koeling of “free cooling”. Wanneer het temperatuurstraject of het nodige vermogen niet volledig geleverd kan worden via natuurlijke koeling, kan de warmtepomp, werkend als koelmachine, bijspringen.

De toepassing van hoge temperatuuropslag is uitermate geschikt voor de opslag van warmte die jaarrond voorhanden is. Die warmte is dan mogelijk afkomstig van een WKK, zonnecollectoren, afvalwarmte,... Wanneer de warmte dan niet nuttig kan gebruikt worden, wordt ze opgeslagen in de ondergrond. Dit heeft vooral zijn toepassing bij industriële projecten.

2.5.3 Energieprestaties

De energieprestaties van een BEO hangen af van de uitbating van de installatie maar zijn in combinatie met een warmtepomp zeer hoog. Door het onttrekken van warmte wordt er koude opgebouwd in de bodem die dan in de zomermaanden kan gebruikt worden als “vrije cooling”. Hiervoor is enkel een circulatiepomp in dienst om de koude tot in het gebouw te brengen. We spreken hier dan over een COP voor koeling die gemakkelijk rond 30 kan liggen wat 10 maal efficiënter is dan een klassieke koelmachine.

Deze techniek leent zich uitstekend voor systemen die gedimensioneerd zijn op lage temperatuur voor verwarming (met een warmtepomp) en voor hoge temperatuurkoeling op een temperatuurniveau van 14/18°C. Een hoger temperatuurniveau dan de klassieke 6/12°C vereist een aantal aanpassingen aan de technische HVAC-installatie bijv. meer luchtbatterijen voor koudelevering aan het gebouw. De combinatie van BEO met betonkernactivering voor koeling en verwarming of vloerverwarming gaan prima samen.

Bij de dimensionering van dergelijke systemen is het van belang om de thermische bodemkarakteristieken oa. warmtegeleidingcoëfficiënt, warmtecapaciteit, natuurlijke bodemtemperatuur, .. in te schatten (of te meten met een thermische respons test) en om het energievraagprofiel voor warmte en koude doorheen het jaar te kennen. Dit zijn geen eenvoudige zaken en is specialistenwerk.

De energiehoeveelheden voor verwarming en koeling zijn best op elkaar afgestemd om een evenwicht in de bodem te verkrijgen. Bij gebouwen met een grotere koudevraag dan warmtevraag stellen zich problemen andersom is geen probleem omdat gedurende de wintermaanden voldoende koude kan opgebouwd worden in de bodem. De techniek wordt best gedimensioneerd op de basislast van het gebouw (volgend uit de jaarbelastingduurcurves voor verwarming en koeling) en eventuele pieklasten dienen verminderd of afgevlakt te worden of opgevangen te worden met klassieke verwarmings- en/of koeltechnieken.

De technische prestaties van de techniek BEO hangt onder andere af van:

- De bodemkarakteristiek, die geologisch bepaald is;
- Het gevraagde energieprofiel;
- De temperatuurregimes voor verwarming en koeling;
- ...

2.5.4 Milieu-impact

De BEO techniek wordt aanzien als een milieuvriendelijk en duurzaam alternatief voor de productie van warmte en koude. Het gebruikte koelmiddel doet tevens dienst als bescherming voor de verdamper van de warmtepomp. De gebruikte koelmiddelen zijn bij voorkeur monopropyleenglycol en ethyleenglycol. Soms wordt ook water gebruikt maar let op voor het bevriezingsgevaar. Andere mogelijke antivries mengsel worden niet beschouwd of gebruikt.

De thermische eigenschappen van het medium heeft een effect op de pompeigenschappen (met name de viscositeit) en deze gegevens zijn afhankelijk van de temperatuur. Bij de dimensionering houdt men best rekening met deze temperatuursvariatie bij koel en

verwarmingsregime. De viscositeit van 30% monopropyleenglycol (-5°C) is 8 maal hoger dan de viscositeit van water bij 15°C en dit vereist dus meer pompenergie.

Zowel ethyleenglycol als monopropyleenglycol zijn zeer goed oplosbaar in water en breken in de bodem snel af. Ethyleenglycol geldt als toxisch terwijl monopropyleenglycol als niet toxisch wordt geclassificeerd. Ethyleenglycol is een heldere, kleurloze, geurloze, olieachtige medium bij kamertemperatuur. Gezondheidsproblemen kunnen ontstaan bij orale inname met braken, misselijkheid, hoofdpijn, ... tot gevolg. Monopropyleenglycol is goed afbreekbaar in de bodem op aerobe als anaerobe wijze. Indien het vrijkomt in de bodem breekt het binnen afzienbare tijd af. Deze stoffen worden als niet belastend voor het milieu beschouwd en worden zelfs gebruikt in de voedingsindustrie. De concentratie van het medium wordt zo gekozen dat er een vorstbescherming is van tenminste -10°C ofwel een 25% oplossing.

De levensduur van een dergelijk systeem in de bodem staat garant voor een lang gebruik. Fabrikanten van PE-leidingen geven een garantie op het materiaal van minstens 50 jaar. Bij een correcte dimensionering en gebruik van het BEO-veld kan het dus gemakkelijk 2 à 3 warmtepompen (levensduur ongeveer 15 jaar) overleven.

Bijlage 1 geeft de MSDS (material safety data sheets) weer voor ethyleenglycol en monopropyleenglycol.

2.6 Warmteonttrekking met verticale wisselaars

2.6.1 Werking

Figuur 8 is een afbeelding van een warmteonttrekkingssysteem met verticale wisselaars.



Figuur 8: Principe warmteonttrekking met verticale wisselaars [6]

De techniek van warmteonttrekking met verticale bodemwarmtewisselaars wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie gesloten verticale wisselaars. Het betreft hier een louter warmteonttrekkingssysteem en geen energieopslagsysteem (zie techniek vorige paragraaf). Principieel is deze techniek vergelijkbaar met BEO. Alleen wordt deze toepassing meestal voor kleinere projecten gebruikt.

In de winter zal de warmtepomp warmte uit de bodem onttrekken. Dit gebeurt ook door het circuleren van een water-glycolmengsel. De in de bodem heersende temperatuur hangt af van de diepte maar zal vermoedelijk schommelen tussen de 10 en 13°C. Onder invloed van die warmteonttrekking zal deze temperatuur zakken om uiteindelijk meestal rond het vriespunt uit te komen op het eind van het stookseizoen. Tijdens de zomer zal de bodem natuurlijk regenereren om terug op het oorspronkelijke niveau te komen aan het begin van het stookseizoen.

2.6.2 Toepassingsmogelijkheden

De thermische energie die door de ondergrondse installatie aangeleverd wordt, varieert qua temperatuur aangezien deze afhankelijk is van de heersende bodemtemperatuur. En deze laatste is dan weer gerelateerd aan de diepte. Maar meestal situeert die bodemtemperatuur

zich tussen de 10 en 13°C. In de meeste toepassingen wordt het ondergronds gesloten netwerk van verticale wisselaars dan ook gekoppeld aan een warmtepomp die de ruimteverwarming verzorgt. Deze techniek wordt veelal gebruikt voor residentiële systemen. Voor grotere toepassingen is het onttrekkingsvermogen te beperkt.

Tabel 5 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek warmteonttrekking met verticale bodemwarmtewisselaars voor de verschillende sectoren.

Tabel 5: Toepassingsmogelijkheden warmteonttrekking met verticale bodemwarmtewisselaars

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Onttrekking met verticale bodemwarmtewisselaars	+	+/0	-

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

2.6.3 Energieprestaties

De energieprestaties van deze techniek is vergelijkbaar met de techniek boorgat-energieopslag zijnde dat hier enkel warmte wordt onttrokken en dat daardoor het rendement iets lager zal liggen dan bij deze laatste. De variatie op de brontemperatuur onder invloed van de omgevingstemperatuur is kleiner dan bij een horizontaal systeem.

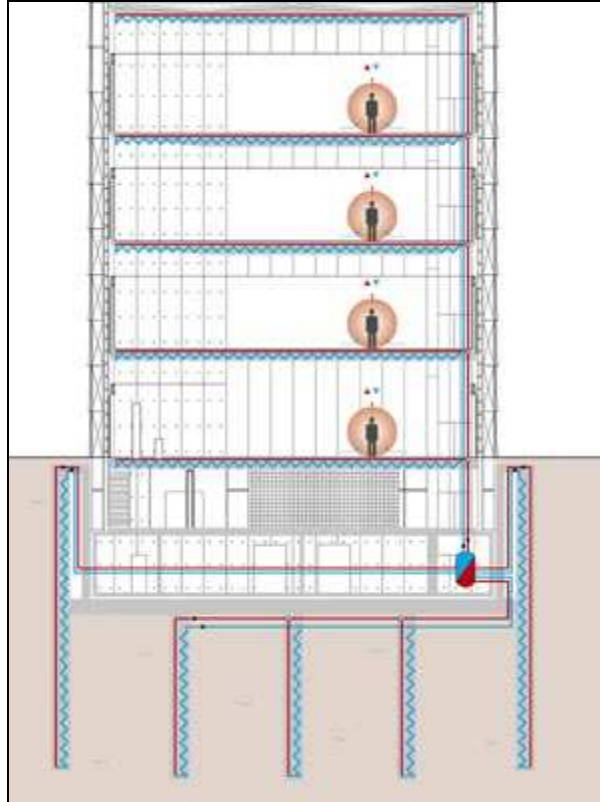
2.6.4 Milieu-impact

De milieu-impact van deze techniek is vergelijkbaar met de techniek boorgat-energieopslag.

2.7 Energiepalen

2.7.1 Werking

Figuur 9 toont een eenvoudige configuratie van een installatie met energiepalen.



Figuur 9: Principe energiepalen [8]

De techniek van energiepalen (EP) wordt ingedeeld onder de hydrothermie subcategorie gesloten verticale wisselaars. Het betreft hier een energieopslagsysteem. Een energiepaal is een variant van een funderingspaal. Wanneer de bodem niet stevig genoeg is om het gebouw te dragen, worden er funderingspalen voorzien. Als die funderingspalen thermisch geactiveerd worden spreken we van energiepalen.

Energiepalen zijn betonnen funderingspalen waar in lengterichting kunststoffen leidingen zijn aangebracht. Door deze energiepalen onderling hydraulisch te koppelen, ontstaat er een opslagvolume waarin thermische energie gestockeerd of onttrokken kan worden. Warmte en/of koude kan nu onttrokken en toegevoerd worden aan de omringende bodem door het circuleren van een transportmedium, zijnde een mengsel van water met een antivriesmiddel (glycol). Daarbij is het wel belangrijk dat de thermische activatie het hoofddoel van een funderingspaal- het geven van een stabiele en stevige constructie - zeker niet nadelig beïnvloedt. Daarom moet de temperatuur van het circuliatiemedium ten alle tijden positief blijven om de draagkracht van de energiepaal te waarborgen.

Er is duidelijk een gelijkenis met BEO. Ook hier wordt energie opgeslagen. Dat gebeurt via verticale wisselaars. Het verschil is dat er bij energiepalen geen afzonderlijke boringen moeten uitgevoerd worden om de wisselaars in te plaatsen. Door het gebruik van de funderingspalen, zijn de mogelijke einddieptes wel beperkt en afhankelijk van de voorziene funderingspaal.

2.7.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 6 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek energiepalen voor de verschillende sectoren.

Tabel 6: Toepassingsmogelijkheden energiepalen in de verschillende sectoren

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Energiepalen	-	+	0

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

Aangezien de overeenkomst met BEO duidelijk is, zullen ook de toepassingsmogelijkheden overeenkomen. Meestal wordt een EP gekoppeld met een warmtepomp, om warmte aan een hoog rendement te leveren in de winter en zoveel mogelijke natuurlijke koeling in de zomer via “free cooling” te leveren. Doordat de einddieptes beperkt zijn in lengte (afhankelijk van de lengte van de funderingspaal) is ook het te onttrekken vermogen per lengte beperkt. De energiepaal kan immers maar een beperkt deel van de bodem activeren als thermische massa. Om dit op te lossen worden voor de ondersteuning van zwaardere kolommen meerdere palen naast elkaar geplaatst en geactiveerd. De afstand tussen de thermische geactiveerde palen dient bekeken te worden in functie van het type onttrekking (enkel warmte, warmte en koude) [9].

Energiepalen vinden hun toepassing in de tertiaire sector bijv. kantoorgebouwen quasi niet in de residentiële sector en minder in industriële applicaties vanwege beperkte vermogensuitwisseling.

2.7.3 Energieprestaties

De energieprestaties zijn vergelijkbaar met de BEO techniek al is het vermogen dat kan gehaald worden een stuk minder. Dit is natuurlijk afhankelijk van het aantal funderingspalen. Grote grondoppervlakten (en hoogbouw) zullen meer funderingspalen nodig hebben dan kleinere of laagbouw kantoren. De samenstelling of de stabiliteit van de ondergrond speelt hier ook een belangrijke rol. Natuurlijk vereist een dergelijke installatie een grondige dimensionering met de nodige kennis rond simulatiemodellen.

Aandachtspunt is dat de grond rond de energiepalen nooit mag bevroren zijn anders is de kleefkracht van de funderingspaal niet voldoende om de stabiliteit van het bovenliggende gedeelte te verzekeren. Dus zal er een begrenzing moeten ingebracht worden om de minimale

onttrekkingstemperatuur van het fluidum te beperken. Dit heeft een effect op de energieprestaties.

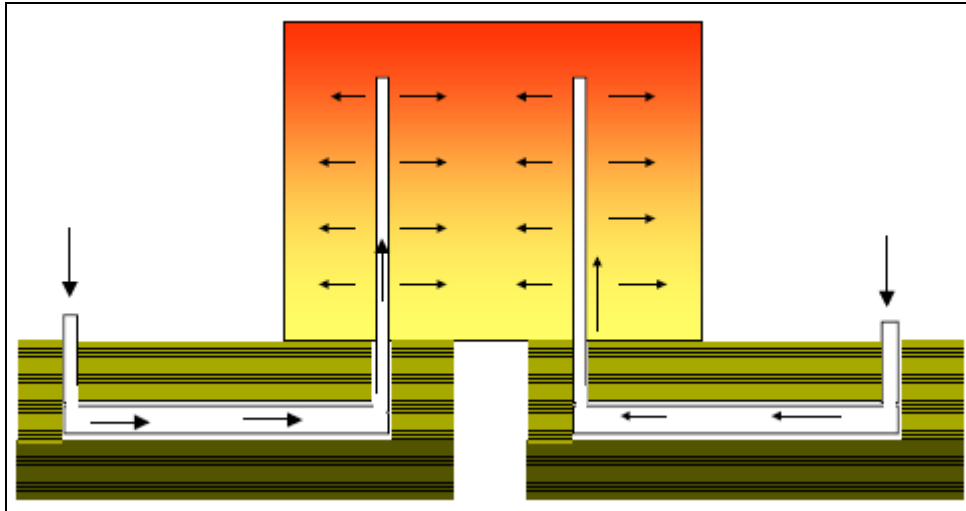
2.7.4 Milieu-impact

De milieu-impact is vergelijkbaar met deze van de BEO-techniek.

2.8 Grondbuizen

2.8.1 Werking

De werking van grondbuizen wordt uitgelegd aan de hand van Figuur 10.



Figuur 10: Principe grondbuizen [10]

De techniek van grondbuizen wordt ingedeeld onder de aërothermie systemen en zijn louter onttrekkingsystemen en geen energieopslagsystemen. Een lucht-bodemwarmtewisselaar, ook wel grondbuis genoemd, bestaat uit een ingegraven luchtkanaal, gemaakt uit beton, kunststof of metaal. Door dat horizontaal kanaal wordt ventilatielucht aangezogen via een ventilator of op natuurlijke wijze. In de grondbuis gaat die aangezogen lucht thermische energie uitwisselen met de bodem. We splitsen de werking op in een winter- en zomerwerking.

De temperatuur van de ondergrond is, tot op zekere diepte, afhankelijk van de omgevingstemperatuur. Maar de hoge thermische inertie van de bodem heeft tot gevolg dat in de bodem een eerder gematigde temperatuur heerst. De ondergrondse temperatuursvariaties nemen af bij toenemende dieptes. Dit betekent dat, in vergelijking met de buitentemperatuur, de bodemtemperatuur in de zomer lager ligt en in de winter hoger ligt. De exacte waarde van de bodemtemperatuur is afhankelijk van de diepte, de thermische bodemkarakteristiek en de oppervlaktetemperatuur.

's Winters ligt de bodemtemperatuur hoger dan de buitentemperatuur. Wanneer er door de grondbuis lucht wordt aangezogen, zal deze onder invloed van de bodem opwarmen. Daarna wordt deze eventueel na een naverwarming ingeblazen in de te ventileren ruimte. Meestal wordt de grondbuis aangesloten op een warmtewisselaar waar warmte uit de afvoerlucht van het gebouw wordt overgedragen op de verse toevoerlucht. Aangezien een grondbuis de inblaaslucht kan voorverwarmen, kan zo ook bevriezing van de warmtewisselaar in de luchtbehandelingskast voorkomen worden. Door de voorverwarming van de ventilatielucht

moet er minder energie geleverd worden door de verwarmingsinstallatie. Bijgevolg wordt er een reductie op de stookkosten gerealiseerd.

In de zomer zal overdag de bodemtemperatuur lager zijn dan de buitentemperatuur. De aangezogen verse lucht wordt bijgevolg afgekoeld waarna deze in de te ventileren ruimte wordt gebracht. De grondbuis kan niet volledig voldoen aan de verwarmings- en koellast van het gebouw en er zal altijd een extra warmte- of koudeproducerende systeem voorzien worden.

Aan de ingang van de grondbuis wordt best een filter voorzien. Er dient tevens rekening gehouden te worden met de infiltratie van regenwater en de condensatie van de aangezogen lucht. Dit moet ten alle tijden vermeden worden, omdat dit een slechte invloed heeft op de luchthygiëne. Om ervoor te zorgen dat er zo weinig mogelijk water in de ondergrondse constructie aanwezig is, dienen de afzonderlijke onderdelen van de grondbuis onderling gekoppeld te worden met afdichtingsringen. Bovendien dient de grond-luchtwarmtewisselaar lichtjes hellend geplaatst te worden, opdat het water op het laagste punt verzameld wordt, waar het dan kan worden afgevoerd. Indien nodig moet er drainage voorzien worden.

2.8.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 7 toont de toepassingsmogelijkheden van de techniek grondbuizen voor de verschillende sectoren.

Tabel 7: Toepassingsmogelijkheden grondbuizen in de verschillende sectoren

	Residentieel	Tertiair	Industrieel
Grondbuizen	+	-/0	-

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

Door de beperkte vermogens en temperatuurstrajecten die gerealiseerd kunnen worden door toepassing van een lucht-bodemwarmtewisselaar, kan dit systeem zelden of nooit instaan om de volledige warmte of koudelast op te nemen. Voornamelijk bij woningen oa. passief huizen met een beperkte warmte- en koudevraag kan een grondbuis gebruikt worden. In industriële sector zijn de toepassingen niet relevant wegens de te grote warmte- en koudevraag. In de tertiaire sector is de toepassing zeer beperkt tot lage energieverbruikende sectoren oa. kantoren met laag energieverbruik voor verwarming en koeling. Additionele koeling of verwarmingsproductie zal altijd nodig zijn.

De integratie van een grondbuis in het gebouw-circuit van de HVAC gebeurt meestal via de ventilatie: de grondbuis zorgt voor de opwarming of afkoeling van de vers ingeblazen ventilatielucht. Door deze voorbehandeling zal de verwarmings- en koelinstallatie minder energie moeten produceren, maar deze laatste zal wel nog altijd het grootste deel van de warmte- en koudevraag opnemen. En dat is meteen ook de meest voorkomende toepassing van een grondbuis.

2.8.3 Energieprestaties

Reeds uitgevoerde projecten met lucht-bodemwarmtewisselaars tonen aan dat de dimensionering en de uitvoering van de grondbuizen een belangrijk effect hebben op de rentabiliteit van het systeem [12, 13]. Daarom is het moeilijk om een globale energieprestatie te definiëren uit meetgegevens die bekomen zijn uit reeds gerealiseerde projecten. Maar we merken zeker een trend:

- Ondanks de beperkte meerinvestering is de terugverdientijd voor een grondbuis vele malen groter dan deze voor de technieken met water als transportmedium.
- De primaire energiebesparing is zeer beperkt, alsook de reductie van de CO₂-uitstoot.

De opbrengst van de grond-luchtwarmtewisselaar is afhankelijk van verschillende factoren, zoals bodemsoort, grondwaterstand, vochtgehalte, maar ook lengte en diameter. Het is evident dat grondbuizen met een kleine diameter over een lange afstand een groot rendement genereren. Daar tegenover staat wel een groter elektrisch verbruik van de ventilator door een grotere drukval, waardoor ook het debiet vermindert. Het is nu de kunst om een evenwicht te vinden tussen een hoge temperatuursopbrengst en een lage drukval.

2.8.4 Milieu-impact

De techniek van grondbuizen wordt aanzien als een milieuvriendelijk en duurzaam alternatief op de klassieke verwarmings- en koudeproducerende systemen. Een gebouw met enkel een grondbuis zal wel nooit voldoende zijn om de volledige dekking van de verwarmings- en koelbehoefte te garanderen.

2.9 Samenvatting technieken

Tabel 8: Samenvatting van de geo-technieken

TECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
	Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
	Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
CRITERIUM	KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Transportmedium	grondwater	grondwater	water-glycol	water-glycol	water-glycol	water-glycol	lucht
Onttrekking/opslag	opslag	onttrekking	onttrekking	opslag	onttrekking	opslag	onttrekking
Warmte/koude/beiden	beiden	warmte	warmte	beiden	warmte	beiden	beiden
Afgifte verwarming	LTV	LTV	LTV	LTV	LTV	LTV	ventilatie
Afgifte koeling	HTK	nvt	nvt	HTK	nvt	HTK	ventilatie
Nodige oppervlakte	klein	klein	groot	klein	klein	klein	groot
Geologische restrictie	aquifer	aquifer	geen	geen	geen	geen	geen
Fexibiliteit vermogen	groot	groot	beperkt	gemiddeld	gemiddeld	gemiddeld	zeer beperkt
Energieprestaties	Zeer goed	goed	minder	Zeer goed	goed	goed	minder
Milieu-impact	+	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+
Residentieel	-	+	+	0	+	-	+
Tertiair	+	0/+	-/0	+	0/+	+	-/0
Industrieel	+	+	-	+	-	0	-

-: niet toepasbaar, 0: kan toegepast worden maar is minder frequent, +: kan zeker toegepast worden

- KWO: koude-warmteopslag, BEO: boorgatenergieopslag, LTV: lage temperatuurverwarming, HTK: hogetemperatuurkoeling

3 TAAK 2 : KENMERKEN - GESCHIKTHEID BRUSSELSE BODEM

3.1 Inleiding

De keuze van de geschiktste geo-techniek valt of staat met de opbouw van de Brusselse bodem, de technische en geologische randvoorwaarden. De bodem heeft immers niet overal dezelfde kenmerken en lokale geografische verschillen in bodemopbouw kunnen een bepaalde geo-techniek onmogelijk maken voor toepassing. In deze paragraaf worden de kenmerken en geschiktheid van de Brusselse bodem (geologische toestand) besproken. Deze informatie is gebaseerd op het geologische kaartblad nummer 31 en 39 van Brussel (Belgisch geologische dienst), de databank ondergrond Vlaanderen (DOV), plaatselijke boorverslagen en uit ervaringsgegevens van boorfirma's. Een samenvatting van de verschillende formaties met hun samenstellingen (zand, klei, leem, ...) en kenmerken wordt eveneens gegeven.

Deze informatie vormt de basis voor het opstellen van kansenkaarten. Er werd een onderscheid gemaakt tussen een open en een gesloten hydrothermiesysteem. De kansenkaarten geven de toepassingsmogelijkheden van beide technieken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest weer. Deze twee types systemen zijn voor het merendeel van de energieopslagprojecten in Brussel goed toepasbaar afhankelijk van de randvoorwaarden per techniek (locatie, vermogen, ...). De totstandkoming van deze kaarten wordt in deze paragraaf nader behandeld.

Een kaart voor de aërothermiesystemen (lucht/lucht warmtewisselaars) werd niet opgesteld daar de toepassingsgraad zich situeert voornamelijk in de residentiële sector en gedeeltelijk in de kleinere tertiaire sector waar één van de belangrijkste randvoorwaarden de beschikbare grondoppervlakte is. Dit is technisch moeilijk in een kaart te gieten.

Op basis van de lopende lijst van projecten, die ons werd meegedeeld door het BIM, wordt een evaluatie opgemaakt van de projecten naar de geografische locatie.

3.2 Brusselse bodemopbouw

3.2.1 Algemeen

Voor Vlaanderen en ook voor Brussel bestaat een internetapplicatie waar gegevens over boringen, grondwaterwinningen, samenstelling formaties, ... via gemeente, via de Lambert coördinaten of via een kaartblad kunnen opgezocht worden. De databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) [14] is het informatieloket voor geologische, geotechnische en hydrogeologische gegevens van de ondergrond met gegevens omtrent:

- * puntgegevens zoals boringen, sonderingen, laboproeven, peilputten en grondwatervergunningen, al dan niet met interpretaties van deze gegevens;
- * ondergrondkaarten zoals de tertiairkaart en de grondwaterkwetsbaarheidskaart;
- * overlegkaarten zoals de hoogtekaarten van de top van diverse geologische lagen, de basis van het Quartair, enz.;
- * referentielagen om de geografische situering te vergemakkelijken.

Figuur 11 geeft een eenvoudig beeld van de verschillende formaties die dagzomen aan de oppervlakte (onder het quartair) voor Brussel met een aanduiding van de verschillende profielkaarten.

Figuur 15 toont een schema met de locatie van de boringen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest op een diepte van meer dan 150 m [14]. Uit deze boringen kan de lokale bodemopbouw afgeleid worden. De informatie die gebruikt is voor de onderstaande analyse is gebaseerd op DOV, geologische kaartblad nummer 31/39 (gedeeltelijk) en de overlegfolies, de bijbehorende profielen en ervaringsgegevens.

3.2.2 Geologie

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden volgende formaties (en leden) teruggevonden:

- Quartair
- Formatie van Brussel;
- Formatie van Lede;
- Formatie van Gent;
- Formatie van Maldegem;
- Formatie van Tielt;
- Formatie van Kortrijk
 - o Lid van Moen
 - o Lid van Saint Maur
 - o Lid van Mont-Héribu
- Formatie van Hannut
 - o Lid van Grandglise
 - o Lid van Lincent
- Krijt;
- Primair.

Het **quartair** is opgebouwd uit een zandige en lemige bovenste laag.

De **formatie van Brussel** (Brusseliaan) is gekenmerkt door een heterogene afzetting van zeer licht glauconiethoudend fijne tot grove kwartshoudende zanden. Verder bestaat deze formatie uit het voorkomen van harde banken (zandige kalksteenbanken) en/of losse zandsteenknollen met zeer grillige vormen. Indien kalkhoudend is het voorkomen van *Nummulites laevigatus* typerend. De dikte wisselt sterk door het geulvormig karakter en kan oplopen tot meer dan 70m.

De **formatie van Lede** kenmerkt zich door grijs fijn zand, klakhoudend en licht glauconiethoudend. Het zand bestaat uit enkele zandige kalksteenbanken. Naar de basis toe komen af en toe grovere zones voor met een duidelijk grindlaagje. De dikte kan oplopen tot maximaal 12 m. De formaties van Lede en Brussel zijn sterk op elkaar gelijkend en soms moeilijk van elkaar te onderscheiden.

De **formatie van Gent** bestaat uit de leden van Vlierzele en Merelbeke en is gekenmerkt door een grijsgroen glauconiethoudend zeer fijn zand, meer kleihoudend naar de basis toe en groengrijze klei met zandige vlekken. De dikte is beperkt tot maximaal 4 m.

De **formatie van Maldegem** bestaat uit verschillende leden (Lid van Zomergem, Onderdale, Ursel en Asse en Wemmel) en is uitgebouwd uit fijn siltig zand en grijze tot grijsblauwe zware klei. De dikte varieert sterk van 2 m (enkel in het noorden) tot 12 m.

De **formatie van Tielt** bestaat uit een heterogene afzetting van kleihoudend fijn zand met een glauconiet en glimmers afgewisseld met kleilagen. Plaatselijk kunnen zandsteenfragmenten voorkomen. De dikte is gemiddeld 20 m.

De **formatie van Kortrijk** (bekend als het Ieperiaan) bestaat uit de leden van Moen, Saint-Maur en Mont-Héribu en is gekenmerkt door grijze tot grijsbruine zeer fijnsiltige klei met enkel dunne lagen zeer fijn silt. De dikte varieert van 4 tot 35 m afhankelijk van het lid.

De **formatie van Hannut** (bekend als het Landeniaan) bestaat uit de leden Grandglise en Lincet en is typisch opgebouwd uit fijn glauconiethoudend zand met dunne kleiige intercalaties (Grandglise) en uit grijsgroene zandhoudende klei met plaatselijk kiezelige verkittingen met aan de basis donkergroene vuursteenkeien. De dikte bedraagt gemiddeld 8 m tot 20 m (toenemend naar het noorden).

Wit tot grijs krijt met zwarte silex die vermoedelijk tot de Formatie van Gulpen behoren, kenmerken het **Krijt**.

Het **primaire (of Paleozoïcum)** bestaat overwegend uit veldspathhoudende zandsteenbanken, schiefer en kwartsiet van Onder Cambrium ouderdom. Ze kunnen verweerd voorkomen onder de vorm van harde kleien.

Figuur 12, Figuur 13, Figuur 14 tonen respectievelijk de profielkaarten 1, 2 en 3 voor Brussel [15]. Er werden 3 doorsnedes gemaakt.

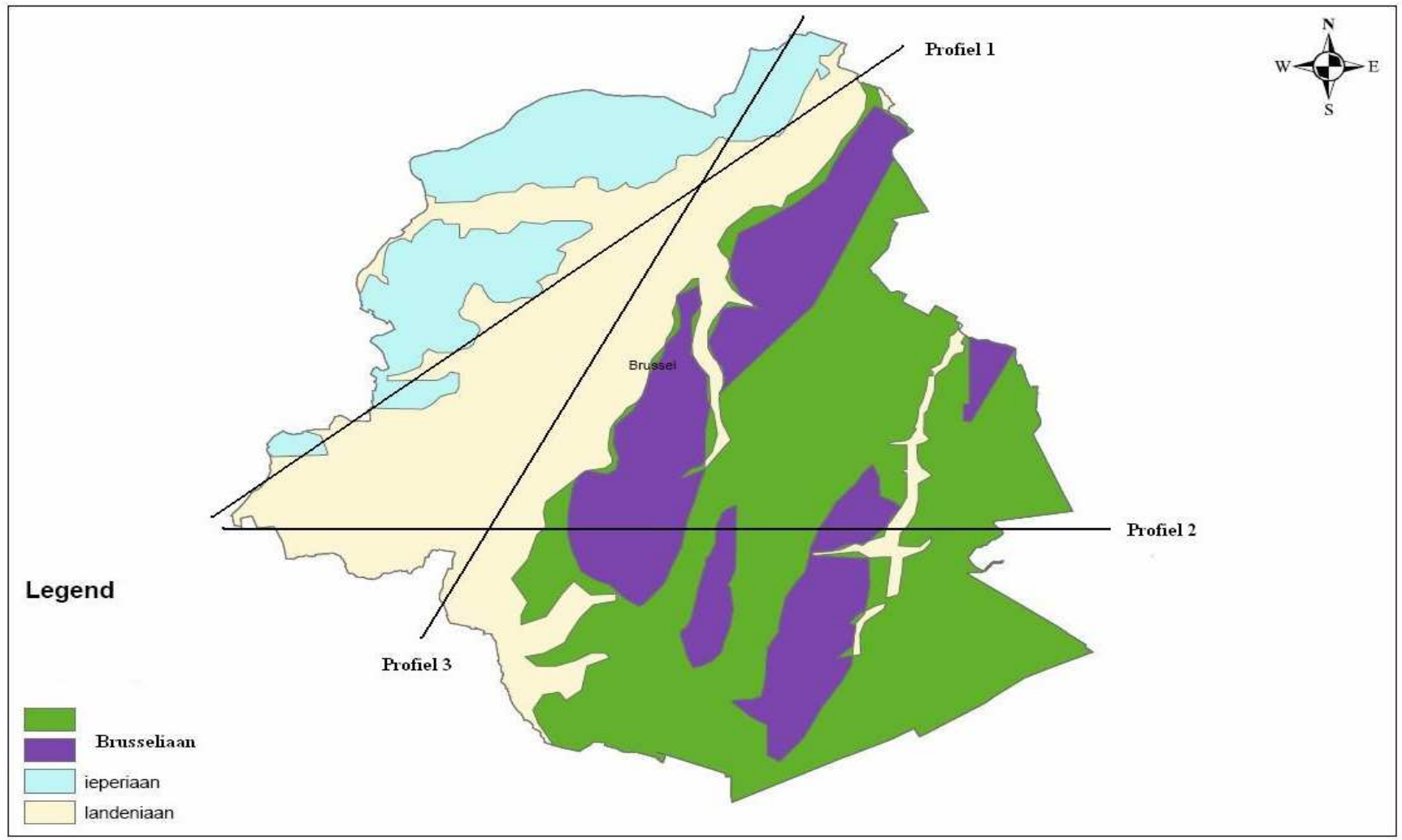
De bodemopbouw in Brussel is sterk variërend in formatie en samenstelling en heeft een sterk reliëf in bodemopbouw en formaties. Niet overal is een welbepaalde formatie aanwezig en vaak is de dikte van een formatie zeer sterk variërend wat de toepassing van geo-technieken (meer van toepassing op een open dan op een gesloten systeem) in Brussel niet eenduidig geografisch vastbepaald maakt. In grosso modo kan men de bodemopbouw van Brussel indelen in twee grote zones, een westelijke en oostelijke zone.

Afgezien van de noordwestelijke sector, dagzoomt in de westelijke helft de massieve klei van de Formatie van Kortrijk onder de quartaire lemafzettingen. Onder deze kleilagen komen ofwel de Landeniaan-afzettingen voor (Formatie van Hannut) ofwel rust de formatie van Kortrijk rechtstreeks op de primaire gesteenten van het Brabants massief.

In het noordwesten, is de geologische opbouw meer “compleet” : op de heuveltoppen komt ook de formatie van Maldegem voor. De formatie van Tielt (Zanden van Egem) die rusten op de formatie van Kortrijk, kan een dikte van 20 à 30 m bereiken.

De prominente aanwezigheid op geringe diepte van de kleien van de formatie van Kortrijk, vooral in de westelijke helft van het kaartblad, brengt met zich dat de grondwaterwinning uit tertiaire lagen eerder beperkt is. In de westelijke helft van het kaartblad heeft het Landeniaan een beperkt potentieel : geringe dikte en ongunstige hydraulische eigenschappen. Daarom worden in de westelijke helft de grootste debieten onttrokken aan het Cambro-Silurisch massief. De andere winningen, met jaardebieten $< 30.000 \text{ m}^3$, zijn gesitueerd in de formatie van Tielt, of in de alluviale afzettingen van de rivieren (quartaair).

In de oostelijke helft van het kaartblad 31/39 zijn vooral de afzettingen van de formaties van Brussel en Lede belangrijke watervoerende lagen, met een dikte variërend van 20 tot lokaal meer dan 60 m. De grootste winningen voor drinkwatervoorziening zijn er geïnstalleerd in het Krijt. Onder de klei van de formatie van Kortrijk, komt in de oostelijke helft het Landeniaan overal voor, met een vrij constante dikte van 20 à 25 m.

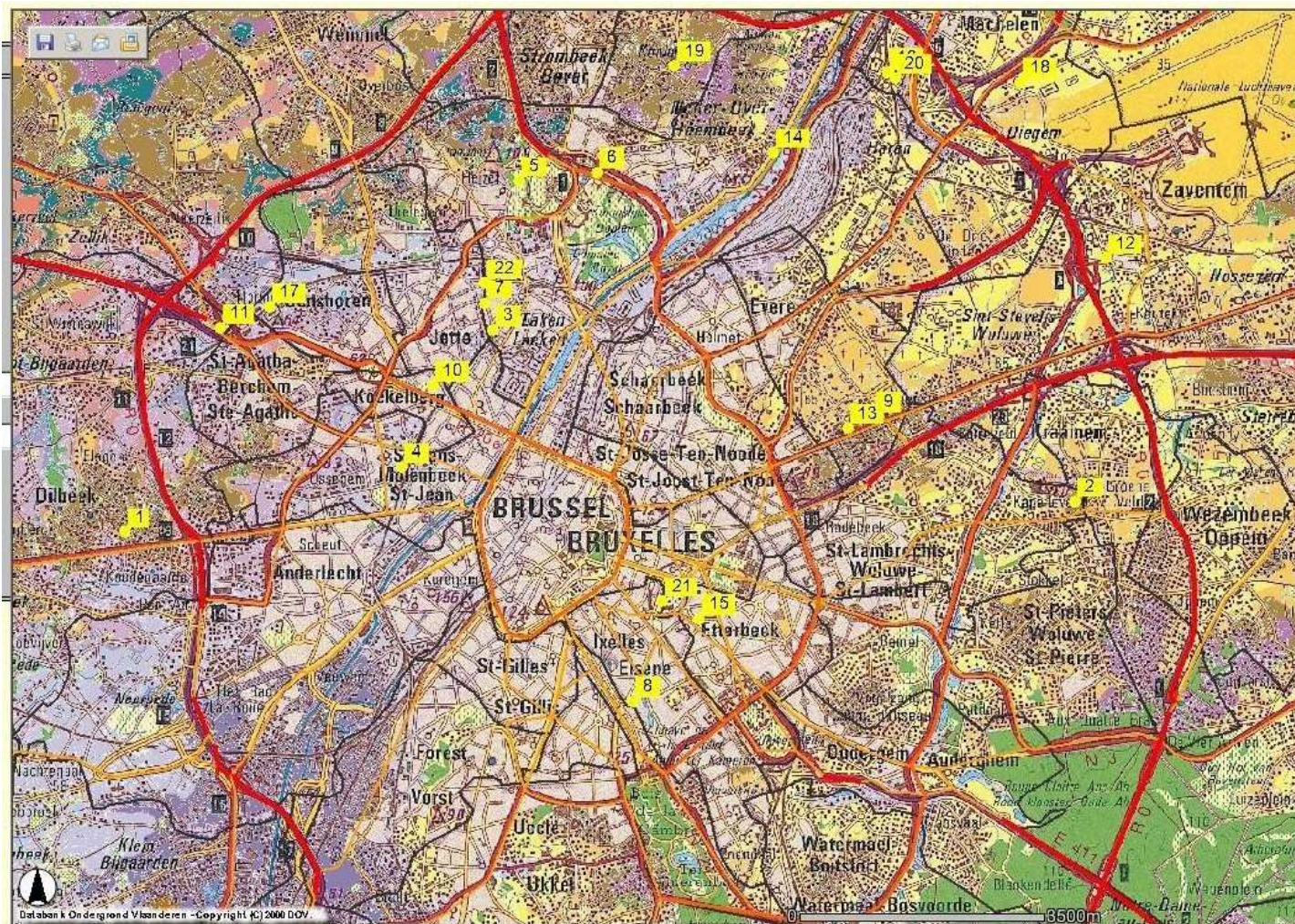


Figuur 11: Eenvoudig schema met formaties te Brussel

Figuur 12: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 1) [15]

Figuur 13: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 2) [15]

Figuur 14: Hydrogeologische profielkaarten voor Brussel (Profiel 3) [15]



Figuur 15: Schema met boringen (diepte > 150 m) op het Brussels grondgebied [14]

Tabel 9: Hydrogeologische schematisatie in Brussel [1]

Formatie	Lid	Voornaamste lithologisch kenmerk	Watervoerend (W) Scheidend (S)	Doorlatendheid (m/dag)
Quartair			W	24 - 33
Formatie van Brussel		Kalkhoudend fijn tot grof zand + kalksteenbanken	W	6 - 17
Formatie van Lede		Kalkrijk fijn zand met grind	W	6 - 17
Formatie van Gent		Glauconiethoudend fijn zand	W/S	1 – 2,5
Formatie van Maldegem		Afwisselend fijn zand en kleilagen	W/S	
Formatie van Tielt		Klei en siltige klei	W/S	
Formatie van Kortrijk	Lid van Moen	Zandhoudende klei/zand	W/S	
	Lid van Saint Maur	Stijve klei	S	
	Lid van Mont-Héribu	Zandhoudende klei	S	
Formatie van Hannut	Lid van Grandglise	Zand	W	2 – 4
	Lid van Lincent	Zandig silt/kalksteen	W/S	2 - 4
Krijt		Wit tot grijs krijt	W/S	
Primair		Veldspathhoudende zandsteenbanken	W/S	

3.3 Mogelijkheden voor open hydrothermiesystemen in Brussel

3.3.1 Algemeen

Dat voor de realisatie van open hydrothermiesystemen randvoorwaarden aanwezig zijn werd reeds in hoofdstuk 2 beschreven. Elk van deze randvoorwaarden kan een mogelijks effect hebben op de haalbaarheid van deze techniek voor de bewuste locatie. Tabel 10 toont de voorwaarden (of geschiktheidcriteria) voor open systemen. In de komende paragraaf gaan we de invloed op de haalbaarheid van een project per criteria nader toelichten.

Tabel 10: Geschiktheidcriteria voor open systemen in Brussel

Voorwaarden	Open systemen
Aanwezigheid van een aquifer	+
Doorlaatvermogen	+
Grondwaterstroming	0
Grondwaterstand	+
Grondwaterkwaliteit	0
Verontreinigingen	-
Beschermingsgebieden	+
Thermische bodemeigenschappen	nvt
Natuurlijke bodemtemperatuur	nvt

+: grote invloed; 0: redelijke invloed; -: kleine invloed; nvt: niet van toepassing

Aanwezigheid aquifer

De aanwezigheid van een watervoerende laag of aquifer is van belang voor de toepassing van een open hydrothermiesysteem. De hydrogeologische parameters zijn van belang om de toepassing van KWO te evalueren. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen scheidende en watervoerende pakketten. Een kenmerk van een scheidende laag is dat grondwater zeer moeilijk door deze lagen kan stromen, zoals bv. een kleilaag. De platte klei- en veendeeltjes zijn als het ware aan elkaar geklit, waardoor de ruimten tussen de deeltjes niet toegankelijk zijn. De doorlatendheid is zodanig klein dat stroming vrijwel niet aanwezig is. Over een scheidende laag kan wel grondwaterstroming plaatsvinden, zij het stroming met zeer lage snelheid. Watervoerende pakketten zijn lagen bestaande uit een opeenstapeling van zandkorrels. De ruimte tussen de zandkorrels worden poriën genoemd. De verhouding tussen het poriënvolume en het volume aan zandkorrels wordt de porositeit genoemd. In het algemeen is voor een watervoerend pakket een porositeit van 35% gewenst. Uitgaande van waterverzadigde pakketten zijn de poriën gevuld met grondwater. Het grondwater kan zeer makkelijk door de watervoerende pakketten via de poriën stromen.

Bekijken we de profielen (Figuur 12, Figuur 13, Figuur 14) kan kunnen we concluderen dat naarmate we meer naar het oosten van Brussel gaan de toepassing van koude-warmteopslag (KWO) mogelijk wordt. In het westelijk deel van Brussel is de toepassing van KWO helemaal uitgesloten (tenzij in het Landeniaan) en kan de BEO techniek toegepast worden. Een wateronttrekking uit het Landeniaan is daarenboven zeer weinig productief voor KWO (grootteorde 5 à 10 m³/h).

De zanden van het Brussel vormen een belangrijke aquifer maar door de intense reliëfvorming wordt het grondwater op sommige plaatsen maar eerst op een diepte van 40 m aangeboord. Ook de geologie en derhalve het voorkomen van de watervoerende lagen, is zeer wisselend in Brussel.

Een KWO-systeem kan echter nooit tot aan het maaiveld (zeker niet in de quartaire formatie) geïnstalleerd worden om te vermijden dat zuurstofrijk water wordt verpompt.

Doorlaatvermogen

Bij een open systeem is het doorlaatvermogen van belang. De doorlatendheid (K) van een watervoerend pakket is dan ook groter bij grof zand in vergelijking met fijn zand. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen horizontale (Kh) en verticale (Kv) doorlatendheid, beide uitgedrukt in meter/dag (m/d). De verticale doorlatendheid kan sterk belemmerd worden door de aanwezigheid van dunne kleilagen, die slechts een kleine impact hebben op de horizontale doorlatendheid.

Om in aanmerking te komen voor KWO is een minimale Kh van 5 noodzakelijk. Voor goede watervoerende pakketten loopt Kh op van 10 tot 50 in functie van de specifieke karakteristieken. Het uiteindelijke haalbare debiet wordt bepaald door de Kh-waarde in combinatie met de dikte van het watervoerende pakket. Hoe hoger de doorlatendheid hoe gemakkelijker het water naar de bronnen toestroomt. Een kleinere doorlatendheid vereist meer bronparen voor hetzelfde debiet en dus meer investeringen.

Voor de formatie van Brussel en Lede is een doorlatendheid van 6 – 17 m/dag mogelijk terwijl voor de formatie van Hannut 2 – 4 m/dag gevonden wordt [1]. De formatie van Kortrijk wordt als slecht doorlatend beschouwd. Via een pompbeurt kan de doorlatendheid van de verschillende watervoerende pakketten bepaald worden en kan het exact haalbare onttrekkings- en injectiedebiet afgeleid worden.

Grondwaterstroming

De grondwaterstroming speelt een rol voor toepassing van een open systeem. Bij een te hoge grondwaterstroming treden thermische verliezen op (weglopen van koude of warme bellen). De bronnen worden best haaks op de grondwaterstroming ingepland.

De grondwaterstroming in Brussel vormt geen belemmering voor energieopslagprojecten waar de grondwaterstroming best kleiner dan 10 tot 30 m/jaar is [3,4].

Grondwaterstand

De stand van het grondwater is een parameter die van belang is voor een open hydrothermiesysteem. Daar het grondwater in Brussel soms op een diepte van meer dan 40 m wordt aangetroffen dient met deze parameter rekening gehouden te worden.

In Brussel zijn tevens verschillende watervoerende grondlagen aanwezig waaruit grondwater wordt ontwonnen voor gebruik. Het betreft hier de lagen van het primair, het krijt, het landiaan en het Brusseliaan (van beneden naar boven). Vermits een KWO nooit in het primair en het krijt zal worden geplaatst hebben deze grondwateronttrekkingen geen invloed op de prestaties van een KWO-systeem. Er dient echter wel rekening mee gehouden te worden met de locatie.

Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit heeft een beperkte invloed op de haalbaarheid van een KWO-project vermits het grondwater op een zekere diepte aangetroffen wordt. Het grondwater is vaak brak wat eisen stelt aan de warmtewisselaars. Het grondwater komt best niet in contact met lucht, hierdoor kunnen reacties ontstaan welke aanleiding geven tot neerslag (bijv. ijzerhydroxide). Dit kan leiden tot de zogenaamde verstopping van de bronnen. Het grondwatersysteem dient op een zekere overdruk (2 à 3 bar) gehouden te worden om belvorming van opgeloste gassen (methaan, CO₂) in het grondwater te voorkomen.

In dit kader is zeker de redoxgrens van belang. De redoxgrens is een overgang tussen ijzerhoudend en zuurstof/nitraathoudend grondwater. Op grotere dieptes is het grondwater ijzerhoudend. Indien dit water in contact komt met zuurstof kan dit leiden tot verstopping van de bronnen. Verstoppingen van bronnen treden vooral op bij infiltratiebronnen.

Verontreinigingen

Voor de open hydrothermiesystemen zijn grond –en/of bodemverontreinigingen soms van belang alhoewel hun invloed op de haalbaarheid van een project eerder minimaal is.

Bij open systemen wordt grondwater (en dus de grondwaterverontreinigingen) verplaatst van de ene naar de andere locatie. Dit vormt op zich geen technisch maar eerder een juridisch en milieuprobleem. De werking en het rendement van een open systeem worden hierdoor niet of nauwelijks beïnvloed. Er wordt immers dezelfde hoeveelheid water verpompt voor het laden en ontladen van de bronnen en de balans op de grondwaterverplaatsing op jaarbasis is nul. Dit indien er een bepaalde energiebalans is in de bodem.

Een andere verontreiniging is de bodemverontreiniging. Bij het aanbrengen van de bronnen wordt er grond bovengehaald en dit kan een probleem zijn indien deze grond verontreinigd is. Toch dient bij het ontwerp van een KWO-systeem rekening gehouden te worden met deze verontreinigingen.

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn een aantal locaties bekend waar bodemverontreiniging aanwezig is. Deze informatie is opgezocht door een studie van ERM. Deze locaties zijn niet opgenomen in de kansenkaart (zie verder). Uiteraard kan men beide GIS bestanden combineren in één. Het is van belang om de bodemverontreiniging in kaart te brengen en mee op te nemen in de kansenkaarten en beoordelingen van open hydrothermieprojecten.

Beschermingsgebieden (of grondwaterwinningsgebieden)

Voor de open hydrothermiesystemen zijn beschermingsgebieden of grondwaterwinningsgebieden van groot belang. In dergelijke gebieden dient het doorboren van bodemlagen verboden te worden. In de ons omringende landen en ook in Vlaanderen is de toepassing van energieopslagprojecten in waterwinningsgebieden verboden.

3.3.2 Kansenkaart open systemen

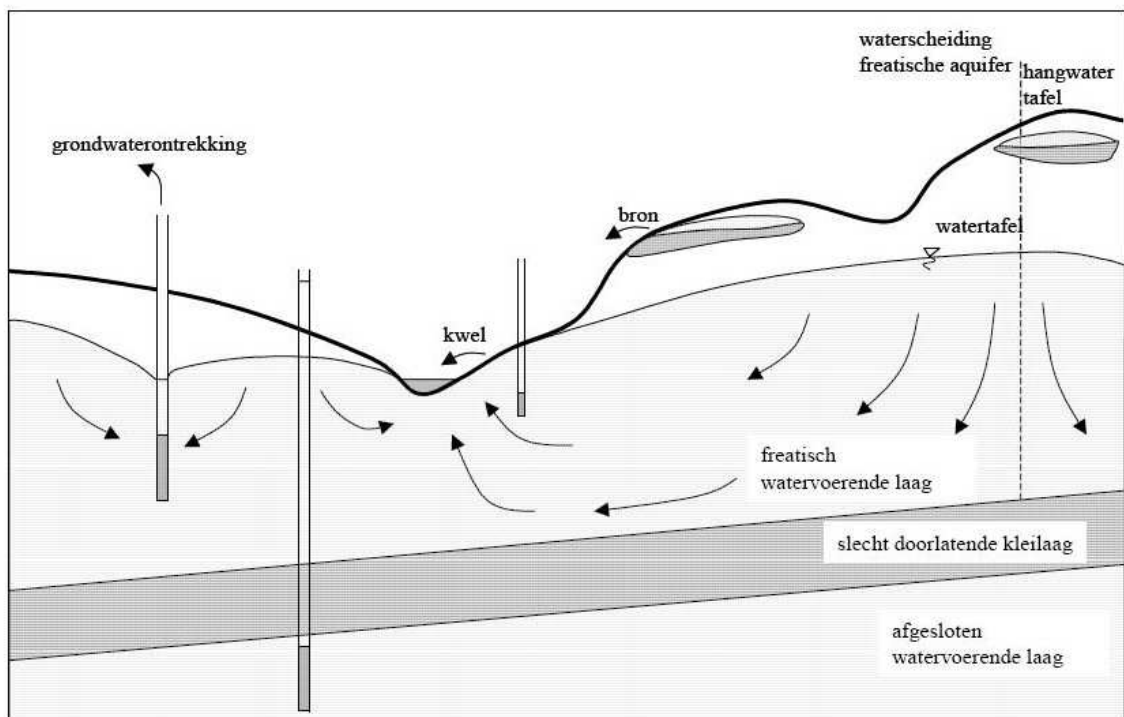
Grondwater beweegt in een watervoerende laag of aquifer. Een watervoerende laag kunnen we best omschrijven als een geologische formatie, waarin alle open ruimtes met water zijn gevuld, en waarin het grondwater onder invloed van de zwaartekracht kan bewegen. Dat het water kan bewegen is hierbij heel belangrijk. Ook kleilagen bevatten veel water, zelfs meer

dan een zandformatie, maar de ruimtes waarin het grondwater in kleien ingesloten zit, zijn zo klein dat het water gebonden blijft aan de kleideeltjes, of vrijwel niet, kan bewegen. Als het water niet kan bewegen kan het dus ook geen warmte of koude transporteren.

Een watervoerende laag komt grosso modo onder twee vormen voor:

- Een watervoerende laag kan vrij zijn, dat wil zeggen dat zij bovenaan niet afgesloten wordt door een minder doorlatende laag. Men spreekt dan over een *freatische laag*.
- Een watervoerende laag kan afgesloten zijn. In dat geval wordt zij bovenaan begrensd door bijv. een kleilaag. Men spreekt dan van een *spanningslaag*.

Figuur 16 toont een schema van de verschillende systemen van grondwaterstroming [16].



Figuur 16: Schema van grondwaterstroming [16]

Door de combinatie van de bovenstaande geschiktheidscriteria oa. geschiktheid van de watervoerende lagen en de lokale bodemopbouw werd een kansenkaart opgemaakt voor open hydrothermiesystemen in Brussel. Deze kaart wil, op één document, een cartografische weergave bieden van die gebieden in Brussel, die in aanmerking komen voor een KWO-installatie. Hierbij wordt alle relevante (hydrogeologische) informatie in het cartografisch beeld geïntegreerd. Aan deze kansenkaarten kunnen echter geen rechten ontleend worden en VITO is niet verantwoordelijk voor eventuele schade aan installaties en gebouwen door het gebruik van deze kansenkaarten.

De kaart kan het veldwerk niet vervangen en heeft evenmin de bedoeling om een geologische verkenning overbodig te maken. Bovendien is de beschikbare informatie i.v.m. de hydrogeologie niet in die mate aanwezig dat voor elke willekeurige plaats in Brussel, een precieze evaluatie kan gegeven worden. Op de kaart kan wel afgelezen worden of verdere investeringen in onderzoek naar de KWO-toepassingen in Brussel verantwoord zijn of niet, zodra de grootte en locatie van de geplande installatie gekend zijn. Aan deze kaart kunnen dan ook geen rechten verleend worden.

De beschikbare geologische en geohydrologische informatie werd verzameld op een topografische kaart met een schaal 1:100.000. De onderlegger is gebaseerd op de bladwijzer van de topografische kaart van Brussel. Per raster van 4 x 5 km worden de mogelijkheden van KWO per watervoerende laag of aquifer beschreven. Op de kaart is schematisch, per rastereenheid, het hydrogeologisch systeem aangegeven. Op de kaart wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds vrije (freatische) lagen en afgesloten spanningslagen.

Omdat de kaart vooral wil weergeven welke gebieden al dan niet in aanmerking komen voor KWO-toepassingen, wordt de weergave beperkt tot maximaal twee spanningslagen. Een KWO-installatie in diepere watervoerende formaties, zelfs met een voldoende grote capaciteit, zal door de hogere temperatuur van het water economisch niet meer rendabel zijn.

De freatische laag wordt aangegeven door het oppervlak van het eenheidsraster. De aanwezigheid van spanningslagen, wordt aangegeven als een ingeschreven cirkel, die in twee helften is opgedeeld. De linkerhelft duidt op de eerste spanningslaag, de rechterhelft op de diepere spanningslaag.

Figuur 17 toont de kansenkaart voor de open hydrothermiesystemen in Brussel. Deze kaart is geldig voor KWO systemen (TECH-1) en grondwateronttrekkingen (TECH-2).

De toepassingsmogelijkheden voor KWO worden door middel van een kleurcode aangeduid, zie legende KWO-kaart:

- een grijze kleur geeft aan dat de aquifer (freatische of spanningslaag) niet bestaat: een grijs opgevuld raster geeft m.a.w. aan dat de freatische laag niet voorkomt, of zonder praktische betekenis is. Analoog geeft een grijze rechterhelft van de ingeschreven cirkel aan dat er geen tweede spanningslaag bestaat.
- een gele, groene of blauwe kleur: de capaciteit van de laag (freatische, de eerste of tweede spanningslaag), wordt geschat op respectievelijk 8 – 16 (geel), 16 – 24 (groen) of meer dan 24 m³/h (blauw) per onttrekkingsbron. Deze laatste komt echter niet voor in Brussel;
- De hydrogeologische parameters en eigenschappen van de verschillende watervoerende lagen, zijn slechts fragmentarisch gekend, en zeker niet voor elk rasterelement van de kaart. Vandaar dat de kansenkaart niet verder onderverdeeld is.

De toepassing van KWO-installaties wordt beperkt door de grote reliëfintensiteit van het gebied:

- vooral op de geïsoleerde heuveltoppen in de noordelijke helft, kan de freatische grondwatertafel, ngl. de geologische opbouw (quartaire afzettingen op tertiair zand), op een grote diepte voorkomen, zodat de verzadigde hoogte (i.e. transmissiviteit) beperkt is.
- Waar op heuveltoppen onder de quartaire dekleem, de formatie van Maldegem voorkomt, kunnen niet alleen hangwater-tafels bestaan, maar de kleilagen van Onderdijke, Zomergem of Asse kunnen instabiele glijspiegels vormen bij hydraulische overdruk als het grondwater terug geïnjecteerd wordt.

Alhoewel het Landeniaan (formatie van Hannut) over een groot gedeelte van het kaartblad voorkomt, zijn deze afzettingen in regel ongunstig voor de toepassing van KWO. Deze aquifer is overal weinig dik ontwikkeld (~20 m) en heeft een kleine specifieke capaciteit van de grootte van 1 m³/h/m afpompings van het grondwater. Nader onderzoek naar de mogelijkheden van het Landeniaan is vereist (zie paragraaf 4.6).

De Zanden van Egem (formatie van Tielt) zijn een fijnzandige afzetting, met kleihoudende niveaus. De hydraulische eigenschappen (permeabiliteit) maken de zanden van Egem ongeschikt voor het onttrekken (en zeker injecteren) van grote debieten.

Toepassingen van KWO of afgeleiden daarvan in de westelijke helft van het kaartblad 31-39 zijn daarom moeilijk te realiseren. Grootschalige installaties (> 25 m³/h) zijn nagenoeg uitgesloten in de tertiaire afzettingen.

Voldoende debiet is wel haalbaar uit het krijt : maar door de aard van het gesteente (secundaire porositeit (porositeit door barsten/diaklazen en oplossingsgangen)) maakt de opbouw van warmte- en koudebellen onmogelijk. In het krijt kan eventueel wel een zogenaamde unidirectionele KWO worden voorzien (permanente koeling of recirculatie) maar de investeringen voor een dergelijke installatie zijn niet rendabel (te hoge boorkosten).

In principe kan dat ook voor de sokkel : voor het Vlaams gewest worden alle grondwateractiviteiten die gebeuren op de sokkel, ontmoedigd.

In het oosten van het kaartblad 31/39 is er wel een eerder beperkt potentieel waar de zanden van Brussel voldoende dik ontwikkeld zijn. Vooral naar het zuidwesten toe, waar de Brussel-lede zanden een dikte van 50 m overschrijden, zijn debieten van 24 m³/h haalbaar.

Figuur 17: Kanskaart KWO en grondwatersystemen in Brussel (VITO)

3.3.3 Capaciteit

De capaciteit van een watervoerende laag in een bepaald raster is in vele gevallen geschat op basis van de kenmerken van het gesteente of sediment en de dikte van de aquifer. Voor het aangeven van de capaciteit is ook in ruime mate gesteund op de ervaring van VITO.

De aangegeven capaciteit op de hoger vermelde KWO-kaart is steeds geschat voor één onttrekkingbron. Het is nochtans mogelijk om door middel van meerdere onttrekkingbronnen (en injectiebronnen) een hoger debiet (en dus thermisch vermogen) te realiseren in een aquifer waaraan een eerder lage capaciteit werd toegekend. Het bepalen van het aantal onttrekking- en injectiebronnen wordt niet enkel bepaald door de capaciteit van de aquifer, maar ook door de grootte van de gewenste installatie m.a.w. de nodige koelcapaciteit. Het installeren van een meervoudig onttrekking- en injectiesysteem zal evenwel directe gevolgen hebben op de economische rentabiliteit van het gehele systeem.

3.4 Mogelijkheden voor gesloten hydrothermiesystemen in Brussel

3.4.1 Algemeen

Tabel 11 toont de voorwaarden (of geschiktheidcriteria) voor gesloten systemen. In de komende paragraaf gaan we de invloed op de haalbaarheid van een project per criteria nader toelichten.

Tabel 11: Geschiktheidcriteria voor gesloten systemen in Brussel

Voorwaarden	Gesloten systemen
Aanwezigheid van een aquifer	nvt
Doorlaatvermogen	nvt
Grondwaterstroming	-
Grondwaterstand	+
Grondwaterkwaliteit	nvt
Verontreinigingen	-
Beschermingsgebieden	+
Thermische bodemeigenschappen	+
Natuurlijke bodemtemperatuur	+

+ : grote invloed; 0: redelijke invloed; - : kleine of geen invloed; nvt: niet van toepassing

Thermische bodemeigenschappen

Bij het ontwerp van een warmtebronsysteem met verticale warmtewisselaars is het van belang om een goed inzicht te hebben in de thermische karakteristieken van de bodem :

- 1) thermische geleidbaarheidscoëfficiënt λ [W/(mK)]
- 2) thermische opslagcapaciteit C [MJ/(m³K)]
- 3) boorgatweerstand R_b [(mK)/W]

De thermische geleidbaarheid bepaalt de snelheid waarmee warmte uitgewisseld kan worden in de ondergrond. Een lage λ -waarde impliceert een grote totale benodigde wisselaarlengte, een hoge waarde geeft aan dat minder boormeters volstaan voor de aanreiking van eenzelfde thermisch vermogen.

De thermische opslagcapaciteit bepaalt de hoeveelheid energie die in de bodem opgeslagen kan worden. Gemiddeld is de warmtecapaciteit van een waterverzadigd sediment (zand of klei) ongeveer 60% t.o.v. de capaciteit van water. Een buffervat van 1000 l komt zodoende thermisch overeen met een ondergronds opslagvolume van 1,67 m³.

De boorgatweerstand is een typische bodemkarakteristiek eigen aan verticale warmtewisselaars. Het betreft de thermische weerstand tussen het warmteoverdragend fluïdum in de warmtewisselaar en de boorgatwand. Deze weerstand geeft het temperatuursverschil aan tussen de vloeistoftemperatuur en de boorgatwand bij een bepaalde warmte-overdracht. Het is de betrachting om deze weerstand zo laag mogelijk te houden. Dit

kan door de bodem zo weinig mogelijk te verstoren, de buizen zo kort mogelijk bij de boorgatwand te plaatsen en het boorgat te vullen met een goed geleidend materiaal. De boorgatweerstand wordt vooral bepaald door de boring, de warmtewisselaar, de opvulling en de werkwijze. De thermische geleidbaarheid is sterk locatiegebonden, dit geldt eveneens voor de thermische capaciteit zij het in veel geringere mate wegens de kleinere onderlinge verschillen (voor waterverzadigde bodems).

De BEO-techniek kan toegepast worden. Zandbodems hebben een hogere geleidbaarheid dan kleibodems. Toch kan ook de kleilaag benut worden, minder boringen op grotere diepte zijn voordeliger naar investeringen toe. Warmtewisseling in klei gaat iets moeilijker door de lagere geleidbaarheidscoëfficiënt, anderzijds zal de totale warmteopslagcapaciteit even groot zijn als bij zand en zal het opslagrendement hoger zijn. Dit is echter géén belemmering voor toepassing van de BEO-technologie. Er dient enkel rekening gehouden te worden met de specifieke thermische karakteristieken van deze sedimenten, waarbij gestreefd wordt naar een optimale technisch-economische situatie.

Natuurlijke bodemtemperatuur

De natuurlijke bodemtemperatuur is bepalend voor de geschiktheid van gesloten systemen. Er geldt immers dat hoe hoger de bodemtemperatuur, hoe geschikter de bodem is voor gesloten systemen. Meestal situeert de natuurlijke bodemtemperatuur rond 10 à 12°C afhankelijk van de diepte.

3.4.2 Kansenkaart gesloten systemen

Door de combinatie van de bovenstaande geschiktheidscriteria en de lokale bodemopbouw werd naar analogie met de open systemen een kansenkaart opgemaakt voor gesloten verticale hydrothermiesystemen in Brussel. Deze kaart wil, op één document, een cartografische weergave bieden van die gebieden in Brussel, die in aanmerking komen voor een gesloten hydrothermiesystemen met verticale bodemwarmtewisselaars. Hierbij wordt alle relevante (hydrogeologische) informatie in het cartografisch beeld geïntegreerd. De kaart is globaal van opzet, deze geeft een indicatie van de bodemgeschiktheid maar kan niet gebruikt worden om grondgekoppelde warmtepompsystemen te dimensioneren. De kaart geeft wel aan waar verticale bodemwarmtewisselaar kunnen geïnstalleerd worden.

Voor de totstandkoming van deze kaart werd de top van de formatie van Hannut (Landeniaan) geselecteerd als maximale limietgrens voor verticale bodemwarmtewisselaars. Vermits echter de top van het Landeniaan op het Brussels grondgebied heel afwisselend is (gaande van dieptes van 60 m tot onder het quartair) dient voor elke locatie bekeken te worden wat de maximale diepte kan zijn. Dieper boren dan het Landeniaan kan maar hierbij neemt de boorkost sterk toe wat nefaste gevolgen heeft voor de economische haalbaarheid van een project. Op de kansenkaart kunnen de waterwinningsgebieden en de verontreinigingen (zowel bodem als grondwater) gecombineerd worden. Deze kaarten zijn beschikbaar in een GIS databestand dat later kan aangevuld of verfijnd worden.

Figuur 18 toont de kansenkaart voor de gesloten hydrothermiesystemen in Brussel (VITO). Op de kansenkaart is ook de top van het Landeniaan aangegeven ten opzichte van maaiveld

niveau en de grens van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De kansenkaart kan gebruik worden voor BEO (TECH-4) en verticale bodemwarmtewisselaars (TECH-5).

De thermische basisgegevens voor een BEO-systeem worden bepaald door de uitvoering van een in-situ meetprocedure (Thermische respons test of TRT). Hiertoe wordt een verticale bodemwarmtewisselaar op locatie aangebracht en wordt gedurende een week warmte geïnjecteerd in de bodem via een mobiele hydraulische kringloop met verwarmingselementen.

Door toepassing van de gepaste verwerkingsmethode, met name de 'Lijnbrontheorie', kan uit het temperatuurrepons van de vloeistof op de aangelegde warmte-input de effectieve warmtegeleidbaarheid van de bodem en de warmte-overgangswaarde van de vloeistof naar de sedimenten (de zogenaamde boorgatweerstand) berekend worden. De respons wordt uitgezet in een logaritmische schaal. Hieruit kan de warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodem waarin de verticale warmtewisselaar werd geïnstalleerd bepaald worden. Deze werd afgeleid uit de lineaire regressie van de meetreeks met een analyse over meerdere tijdsintervallen met als globaal resultaat de λ -waarde in W/(m.K). De boorgatweerstand R_b kan hieruit op zijn beurt afgeleid worden.

De toepassingsmogelijkheden voor BEO worden door middel van een kleurcode aangeduid, zie legende BEO-kaart:

- een blauwe kleur geeft aan dat de bodem "zeer geschikt" is voor de installatie van verticale bodemwarmtewisselaars;
- een groene geeft aan dat de bodem "geschikt" is voor de installatie van verticale bodemwarmtewisselaars;
- een gele kleur aan dat de bodem "matig geschikt" is voor de installatie van verticale bodemwarmtewisselaars;
- De hydrogeologische parameters en eigenschappen van de verschillende watervoerende lagen, zijn slechts fragmentarisch gekend, en zeker niet voor elk rasterelement van de kaart. Vandaar dat de kansenkaart hier ook niet verder onderverdeeld is.

3.4.3 Capaciteit

Uit de kansenkaart blijkt dat de regio van Brussel in het oosten **zeer geschikt** is voor de toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars. In die regio is de formatie van Brussel meer aanwezig (zand) wat een positieve invloed heeft op de warmtegeleiding. Waterverzadigd zand heeft een beter warmtegeleidbaarheid dan bijvoorbeeld klei.

In het midden van Brussel is de bodem **matig geschikt** omdat hier de formatie van Kortrijk onder het quartair en boven het Landenian uitkomt met een minder goede geleidbaarheid als gevolg en dus meer meters bodemwarmtewisselaars dan in het oosten.

In het noordwesten is een regio waar de bodem **geschikt** is voor de toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars. Dit komt doordat de formatie van Lede, Maldegem en Tielt hier aanwezig zijn (zanderig).

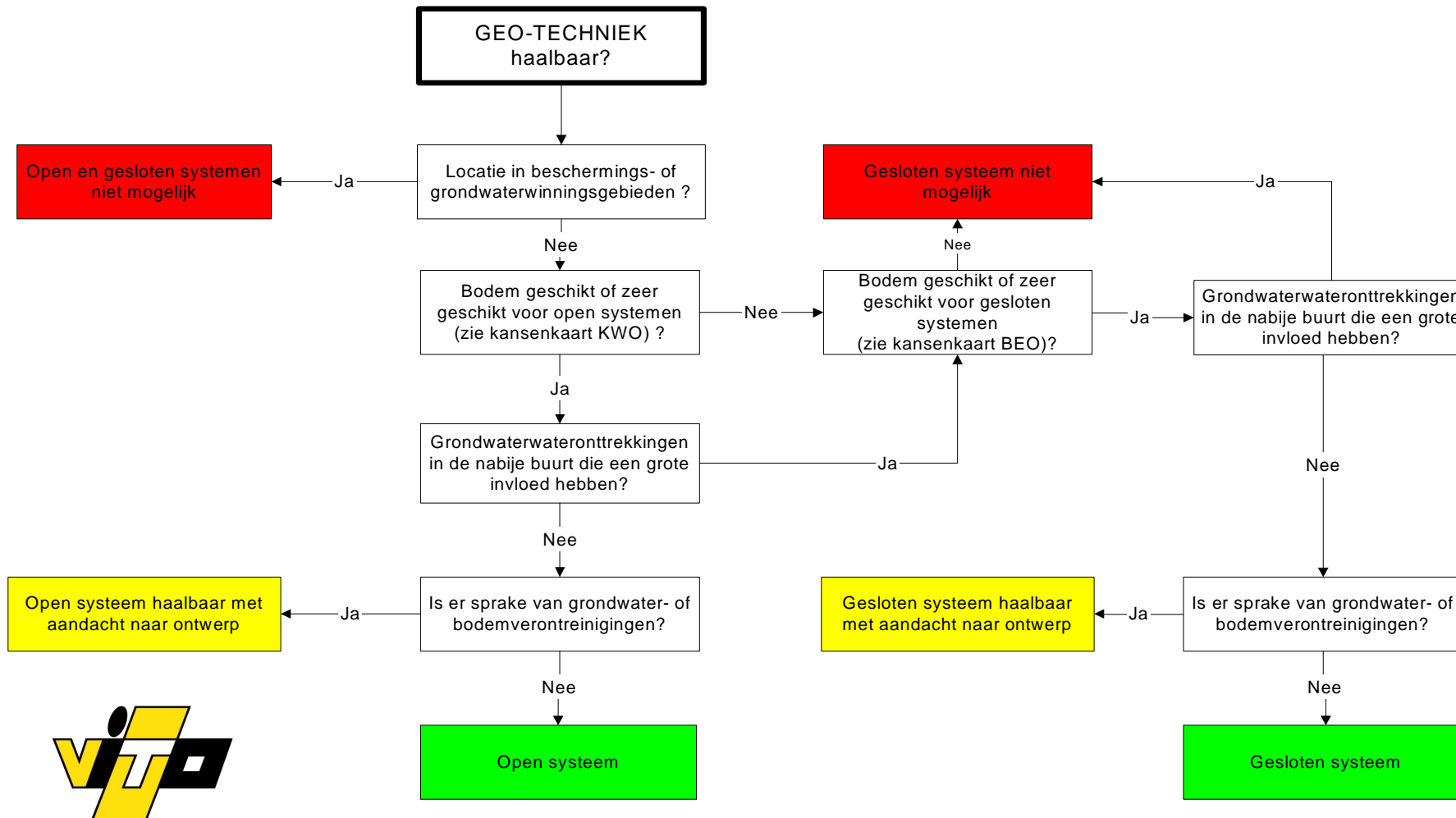
Figuur 18: Kanskaart BEO en verticale bodemwarmtewisselaars in Brussel (VITO)

3.5 Leidraad gebruik kansengarten open en gesloten systemen

De kansengarten zijn opgesteld door een combinatie van verschillende randvoorwaarden voor open en gesloten systemen. Figuur 19 toont een flow chart voor het gebruik van de open en gesloten kansengarten in Brussel.

Een rode kleur geeft aan dat de toepassing voor open of gesloten hydrothermiesysteem in Brussel niet mogelijk is, de gele kleur geeft aan dat bij het ontwerp rekening dient gehouden te worden met de randvoorwaarden en een groene kleur geeft aan dat de techniek open of gesloten systeem haalbaar is.

Leidraad gebruik kansencarten open en gesloten systemen in Brussel



Figuur 19: Leidraad kansencarten open en gesloten hydrothermiesystemen in Brussel

3.6 Evaluatie gekende geothermie projecten in Brussel

Tabel 12 toont de gekende geothermieprojecten in Brussel met hun specificaties. Deze tabel is gebaseerd op info die verkregen werd via het BIM en door contacten met de verantwoordelijken van het project. Deze tabel bevat niet de reeds gerealiseerde projecten in open of gesloten geothermiesystemen in Brussel.

Tabel 12: Bekende geo-thermieprojecten in Brussel [lijst BIM]

Project	Open/gesloten systeem	Sector	Debiet (m³/h)	Vermogen (kW)	Locatie
1	Open systeem	Kantoren	60	500 kW	Vorst
2	Open systeem	Industrie	2*900 m ³ /j	2* 1 MW	Vorst
3	Open met enkel warmteonttrekking	Kantoren	12 m ³ /h	55 kW	Drogenbos
4	?	?	?	?	?

Opmerkingen naar locatie

Op het grondgebied van de gemeente Vorst bevindt de top van de Landeniaan zich op ongeveer 40 m ten opzichte van het maaiveld. Grondwateronttrekkingen uit het Landeniaan (project 1) zijn sowieso niet al te productief voor KWO (zie hiervoor de kanskaart KWO) en dus voor het leveren van hoge debieten en vermogens. Voor het project zijn 6 bronnen voorzien (3 koude en 3 warme bronnen) op een afstand van 150 m en diepte 64 m. Meerdere bronparen zijn in dat geval nodig en dat maakt dat de economische kost hoog ligt en dito de terugverdientijd en gebruik van de installatie. Milieutechnisch is er geen probleem om de Landeniaan te gebruiken maar er dienen voldoende garanties gegeven te worden op (1) het reinjecteren in het Landeniaan en (2) het thermische evenwicht over 5 jaar in de bodem. Naar rendabiliteit toe is de BEO-techniek te prefereren.

Voor project 2, ook in dezelfde gemeente, is de tijdsduur voor het gebruik van de KWO installatie te klein. Een KWO-systeem opbouwen voor éénmalige piekbelastingen van maximaal 10 dagen per jaar te dekken is geen goed gebruik van een KWO-installatie. Minimum zijn een 500-tal vollasturen nodig. Het aantal gebruiksdagen zou hoger moeten liggen wil men een economische installatie hebben. Dit is één van de randvoorwaarden van een goed ontwerp (voldoende gebruiksuren).

Voor project 3 is sprake van een warmtepomp die enkel warmte onttrekt aan het opgepompte grondwater dus de thermische onttrekkingsystemen. Het betreft hier geen opslagsysteem maar een louter onttrekkingsysteem. Het onttrokken debiet van 12 m³/h blijkt hoog te zijn gezien de locatie Ukkel/Drogenbos en de onttrekking uit de Landeniaan (eerder 10 m³/h).

Over project 4 zijn geen gegevens bekend in verband met vermogen of type systeem, enkel de plaats is gekend. Er kunnen dan ook geen conclusies gegeven worden.

4 METHODOLOGIE TECHNISCH – ECONOMISCH POTENTIEEL

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving van de methodologie weergegeven die als uitgangspunt voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel gebruikt werd. De bepaling van het technisch en economisch potentieel van geotechnieken in Brussel wordt beschreven als een opeenvolging van een aantal taken. Deze taken zijn voor de verschillende sectoren (residentieel, tertiair en industrie) gelijklopend.

Vooreerst wordt gestart met een analyse van het energieverbruik van de verschillende beschouwde en relevante sectoren in Brussel, een analyse en evolutie van het gebouwenbestand en hun respectievelijke behoeften aan warmte en koude. Uit deze analyse worden type gebouwen gedefinieerd. Met de technische aannames wordt per type gebouw en per type geotechniek het technisch potentieel bepaald. Met de economische aannames wordt dit technisch potentieel vertaald in een economisch potentieel.

Belangrijke noot

De verschillende aannames in deze studie zijn gebaseerd op de best beschikbare gegevens (juli 2007) en zijn weergegeven in dit rapport en in de bijlagen. De interpretatie van de resultaten dient dan ook gezien te worden in functie van deze aannames. We vestigen de aandacht erop dat een wijziging van deze aannames het uiteindelijke resultaat zal beïnvloeden.

Om een evaluatie te maken van een welbepaald gebouw met een welbepaalde geotechniek in Brussel is steeds een specifieke analyse nodig vermits er verschillen kunnen zijn in de aannames en de hier gespecificeerde aannames. Zo is bijvoorbeeld de geohydrologie in Brussel niet overal dezelfde en kan één geotechniek wel in het oosten van Brussel worden toegepast maar niet in het westen. Ook gebouwzijdige aspecten qua afgiftesystemen, temperatuurniveaus, renovatie of nieuwbouwprojecten, ... spelen een belangrijke rol. Veelal dan de exacte getallen geeft deze studie een inzicht in de mogelijkheden van geotechnieken in Brussel en kunnen beleidsrelevante trends afgeleid worden.

4.2 Analyse Brussels energieverbruik

Bij de bepaling van het technisch en economisch potentieel van geotechnieken is het belangrijk om het huidige energieverbruik (en hieraan gekoppeld de CO₂ uitstoot) in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) te analyseren. Onder energieverbruik wordt verstaan het (niet-primaire) elektriciteit, warmte en koudeverbruik van het gebouwenbestand. Vermits deze cijfers niet op elk detail zijn gekend werd een inschatting gemaakt van een aantal parameters. Een van de belangrijkste parameters is de bepaling van de warmte en koudebehoefte van het gebouwenbestand maar ook het maximale warmte en koude vermogen. Bij een energieopslagsysteem is het van belang om zowel het vermogen als de energiehoeveelheid van het gebouw te kennen vermist opslagsystemen een dynamisch patroon kennen. Veel anders dan bij klassieke ketels en koelmachines is voor de dimensionering van energieopslagsystemen een combinatie van vermogen en energiehoeveelheid noodzakelijk. Een overdimensionering van de componenten in een

opslagsysteem leidt in tegenstelling tot de klassieke warmte- en koude-opwekkers tot een slecht werkend en energie-inefficiënt systeem met vaak uitputtingen van de bodem. Dit kan zich vertalen in te hoge bodemtemperaturen of te lage waardoor bevriezing van het medium en dichtvriezen van de verdampers van de warmtepomp kan ontstaan.

Voor deze studie werden verschillende bronnen en statistieken geraadpleegd. De analyse van het energieverbruik is gebaseerd op cijfers van het Nationaal Instituut voor de Statistiek [19], de statistieken van het BHG, de studie Energiebalans van het BHG [20] en de studie van de technisch en economische analyse van de rendabiliteit van energiebesparende maatregelen [21]. We verwijzen graag naar deze laatste studie vermits hierin dieper wordt ingegaan op de evolutie van het energieverbruik en het gebouwenbestand. In het kader van deze studie worden enkel de belangrijkste hoofdcijfers weergegeven.

Zoals altijd geven de verschillende bronnen soms verschillende gegevens en is het niet altijd duidelijk wat nu exact bedoeld wordt. De analyse van het energieverbruik spits zich enkel toe op het BHG.

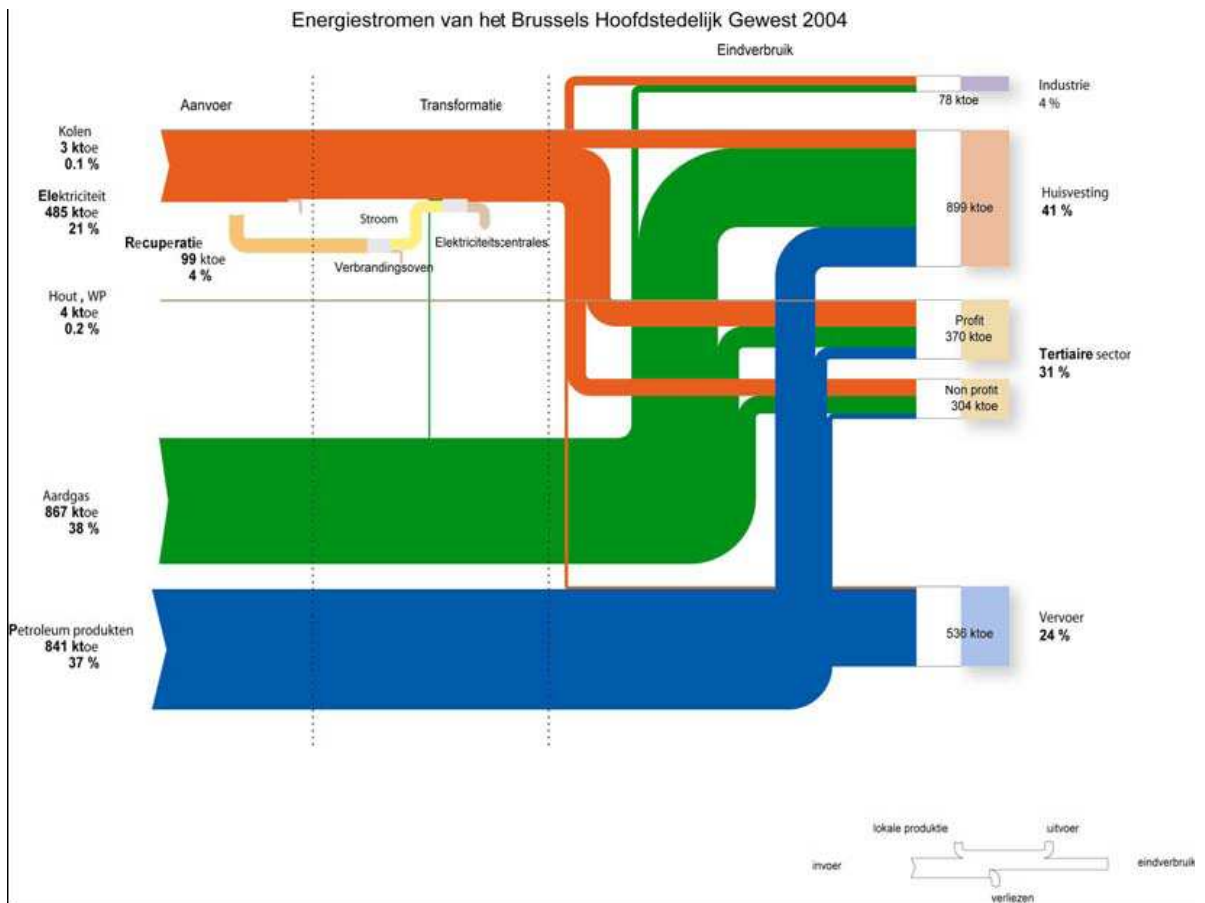
Energieverbruik in Brussel

Een schema van de energiestromen in Brussel (2004) is weergegeven in Figuur 20 [20]. Wat voor de studie van belang is, is de rechterzijde van de figuur. Het rechterdeel van de figuur geeft het volledige eindverbruik per sector en per energiedrager uitgedrukt in ktoe (kilo ton olie equivalent). Dit komt overeen met 41868 MJ per ktoe.

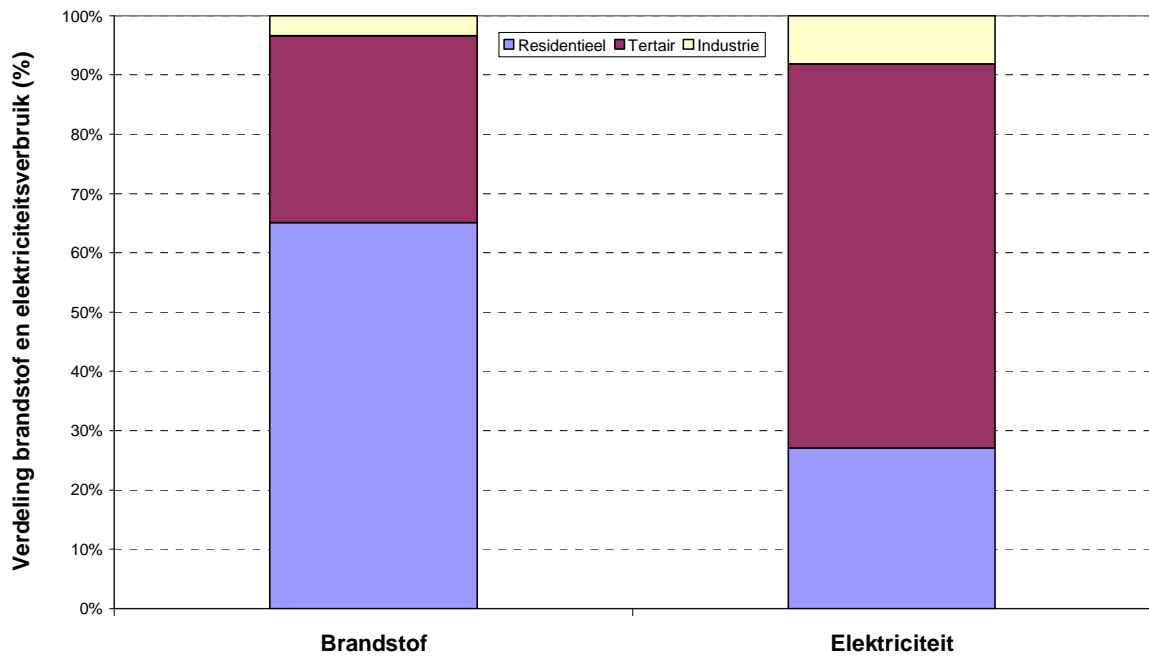
Uitgezonderd van het vervoer zien we dat de huisvesting gevolgd door de tertiaire sector en de industrie belangrijkste eindverbruikers zijn. Daar Brussel geografisch vooral een stadsgebied is, is terug te vinden in het grote aandeel in het energieverbruik van de huisvesting (899 ktoe) gevolgd door een tertiaire sector met 674 ktoe. De industrie met 78 ktoe heeft het laagste aandeel in het totale energieverbruik en is dan ook nog amper vertegenwoordigd in het BHG, alhoewel belangrijke industriële omgevingen in Brussel aanwezig zijn. De grootste, nog aanwezige industriële onderneming in het gewest is ongetwijfeld de Audi-fabriek te Vorst. De metaalproductie maakt nog steeds de hoofdmoot uit van het industriële energieverbruik gevolgd door de voedings- en drukkerijsector.

Een opdeling van het energieverbruik in brandstof en elektriciteit per sector is weergegeven in Figuur 21. We merken op dat de residentiële sector koploper is voor het brandstofverbruik met ongeveer 65% van het totale brandstofverbruik gevolgd door de tertiaire sector. Dat het brandstofverbruik koploper is, is logisch gezien de staat van het Brusselse woningen en appartementen. Dit maakt ook dat de toepassing van geotechnieken in deze sector belangrijk kan zijn. Voor het elektriciteitsverbruik is de volgorde omgekeerd met een bijdrage van 65% voor de tertiaire sector. Dit laatste is vooral gekenmerkt door het verbruik van verlichting, kantoorapparatuur en de toename van actieve koeling in het eindenergieverbruik. Ook in deze sector kan met name door gebruik te maken van geotechnieken een belangrijke energiebesparing (primaire!) en dus CO₂ reductie worden gerealiseerd. Dit zal later blijken bij de kwantificering van het technisch en economisch potentieel.

Ook hier kunnen we besluiten dat de industriële sector een laag percentage inneemt van het brandstof en elektriciteitsverbruik.



Figuur 20: Schema van de Brusselse energiestromen in 2004 [20]



Figuur 21: Verdeling totaal energieverbruik per energiedrager [20, 2004]

In de residentiële sector nemen de appartementen ongeveer 50% van het totaal energieverbruik in [20]. Voor de residentiële sector vormen de appartementen en rijwoningen de belangrijkste doelgroep van de studie. In de tertiaire sector nemen de kantoren, handel (winkels, supermarkten + hotels) en de gezondheidszorg ongeveer 73% van het totale energieverbruik, voor hun rekening. Dit zijn dus de belangrijkste sectoren voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel voor geotechnieken in Brussel.

Samenvattend toont Tabel 13 het brandstofverbruik, het elektriciteitsverbruik en de totale CO₂ uitstoot voor de residentiële, tertiaire en industriële sector in het BHG [20]. Deze totale cijfers zijn nuttig om het totaal technisch potentieel van geotechnieken en de daaraan gekoppelde CO₂ uitstoot te vergelijken.

Tabel 13: Brandstof-, elektriciteitsverbruik en totale CO₂ uitstoot per sector [20]

Sector	Brandstof (MWh/jaar)	Elektriciteit (MWh/jaar)	CO₂ uitstoot (ton/jaar)
Residentiële	8.987.664	1.461.891	442.000
Tertiair	4.348.457	3.486.674	1.050.000
Industrieel	471.015	439.614	133.000
Totaal	13.807.136	5.388.179	1.625.000
Totaal brandstof + elektriciteit	19.195.315	-	-

4.3 Analyse Brusselse gebouwenbestand

Na een analyse van het energieverbruik is een analyse van het Brusselse gebouwenbestand een volgende stap in de bepaling van het potentieel. De verschillende kenmerken van het gebouwenbestand (open, gesloten, halopen bebouwing, ouderdom, nieuwbouw of renovatie), ... hebben immers een belangrijke invloed op het uiteindelijke resultaat. In deze paragraaf gaan we enkel de hoofdkenmerken weergeven van het Brussels gebouwenbestand. We verwijzen hier terug graag naar de studie [21] waar een uitgebreidere analyse en evolutie van het gebouwenbestand werd opgemaakt. Dit behoort echter niet tot de kerntaken van deze studie, wel zijn de hoofdgegevens van het gebouwenbestand nodig voor deze studie.

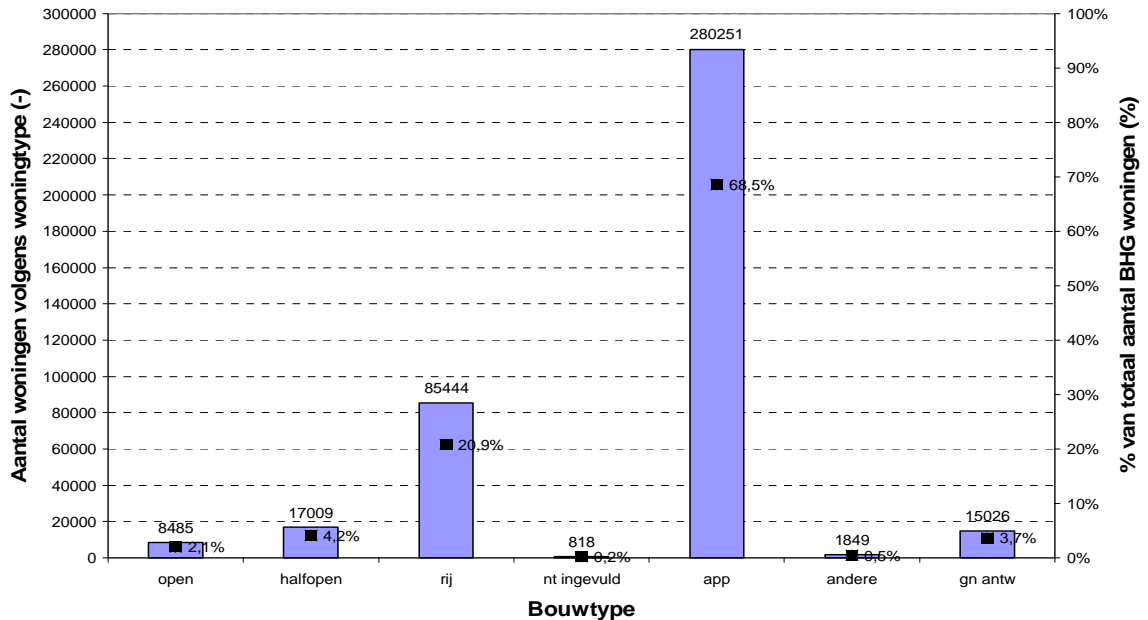
We splitsen de totale gebouwensector op in 3 sectoren:

- Residentiële sector (woningen en appartementen);
- Tertiaire sector (kantoren, ziekenhuizen, rusthuizen en winkels);
- Industriële sector.

4.3.1 Residentiële sector

In de Brusselse residentiële sector wordt een onderscheid gemaakt tussen woningen en woongebouwen. Een woning wordt gedefinieerd als elke wooneenheid waar één of soms

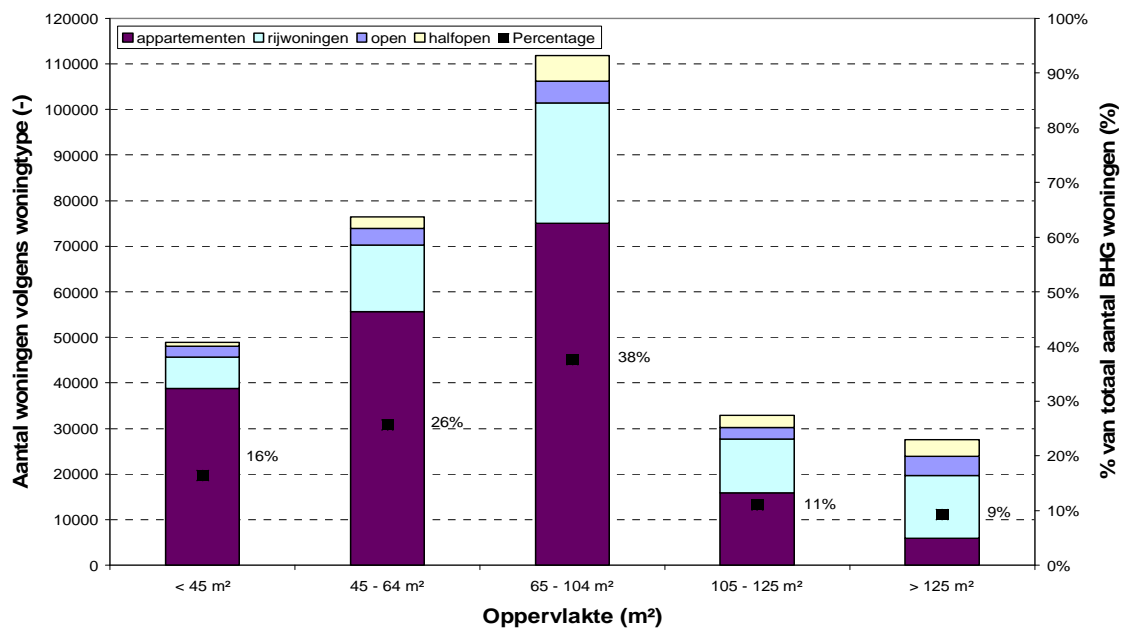
meerdere huishoudens in wonen. Hieronder worden vrijstaande woningen, rijwoningen, een flat in een appartementsgebouw beschouwd. Een woongebouw daarentegen is een geheel dat één of meerdere wooneenheden bevat. Het onderscheid in de geraadpleegde bronnen is niet altijd duidelijk en eenvoudig te maken. Het aantal woningen volgens het bouwtype is weergegeven in Figuur 22 [21].



Figuur 22: Verdeling aantal woningen volgens bouwtype [21]

Uit de figuur is af te leiden dat de appartementen en de rijwoningen het grootste gedeelte van de residentiële sector in het BHG uitmaken. Samen zijn ze goed voor ongeveer 365.000 woongebouwen, ongeveer 90% van alle woon- en woongebouwen in het BHG. Vanuit het energetisch standpunt zijn de rijwoningen en appartementen beter dan open of halfopen bebouwing wegens de kleinere verliesoppervlakte (lees oppervlakte dat blootgesteld is aan buitencondities) en de grotere compactheid. Deze factoren hebben een invloed op het brandstofverbruik in die sector.

Uit [21] kunnen we bepalen in het BHG ongeveer 40.000 à 50.000 appartementsgebouwen aanwezig zijn. Dit is echter een schatting op basis van het aantal flats per wooneenheid. Het aantal woningen zou ongeveer o het dubbele uitkomen.



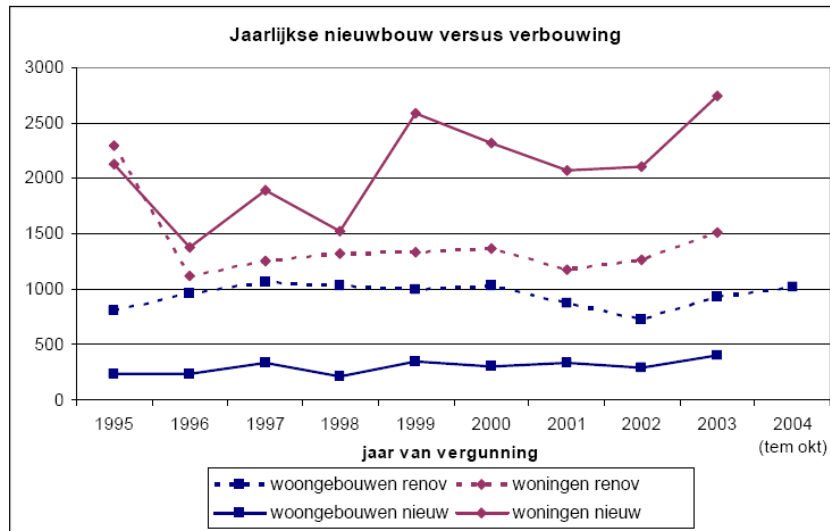
Figuur 23: Verdeling aantal woningen volgens woningtype en oppervlakte [21]

Indien we een relatie leggen tussen het woningtype en de woonoppervlakte komen we tot Figuur 23 [21]. Deze gegevens zijn echter gebaseerd op de woningtelling van 1991.

Het grootste aantal woningtypen betreft de appartementen en de rijwoningen. Voor appartementen heeft het merendeel een oppervlakte van 65 tot 104 m², voor de rijwoningen is dit min of meer dezelfde categorie. Uit [21] volgt tevens dat bijna 30% van de woningen ouder is dan 30 jaar zodat het aanwezig zijn van isolatie in deze categorie niet vanzelfsprekend of zelf onbestaand is. Dit heeft eveneens een invloed op het brandstofverbruik in die sector. Uit [21] volgt eveneens dat ongeveer 62% van alle woningen aardgas gebruiken als brandstof voor verwarming en dat ongeveer 53% van de woningen wordt gehuurd. Dit is van belang voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel voor de gehele Brusselse residentiële sector. Als huurder beslis je namelijk niet snel om energiebesparende maatregelen door te voeren zonder hiervoor de toestemming te krijgen van de eigenaar van het pand of de woning.

Indien we een onderscheid willen maken tussen nieuwbouw- en renovatieprojecten komen we tot de gegevens in Figuur 24.

Indien we de cijfers voor nieuwbouw en renovatie op één figuur plaatsen zien we dat in het BHG het aantal gerenoveerde woongebouwen en woningen dicht bij elkaar liggen. Indien we de lijnen voor nieuwbouw analyseren komen we tot de conclusie dat er veel meer nieuwe woongebouwen worden geplaatst dan nieuwe woningen. Let op in de figuur zijn deze laatste 2 categorieën verwisselt in de legende!! Dit is een normale trend in het BHG vanwege schaarse en dure bouwgronden en een sterk stedelijk karakter.



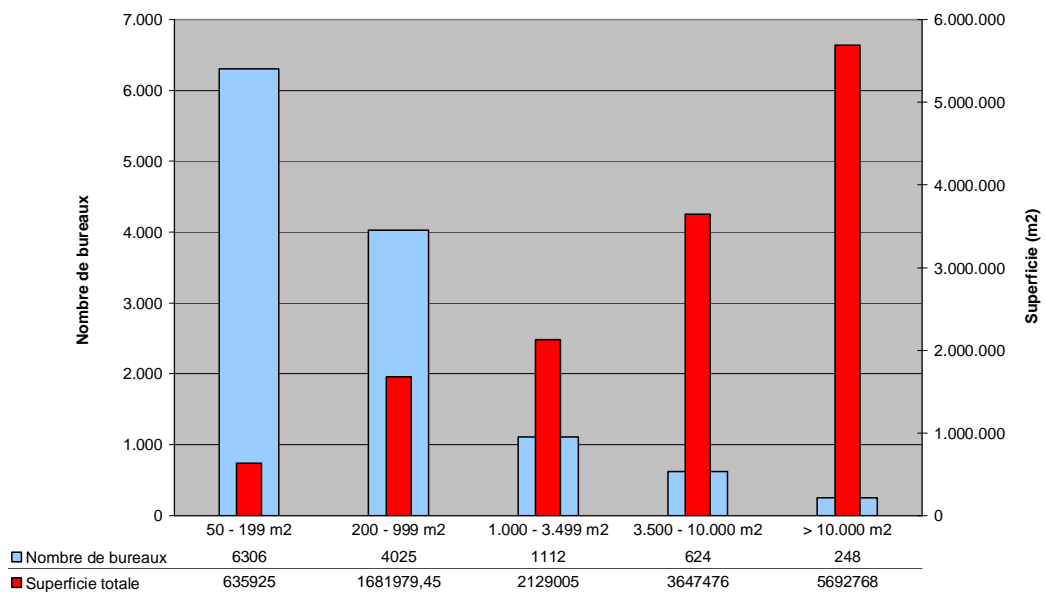
Figuur 24: Verdeling nieuwbouw versus verbouwing [21]

4.3.2 Tertiaire sector

Meer dan 30% van het totale energieverbruik (inclusief vervoer zie Figuur 20) gaat naar de dienstensector (kantoren, handel en gezondheidszorg) in het BHG. Een oplijsting van de verschillende gebouwenkenmerken van deze sectoren is in het BHG een onbegonnen zaak omdat de gegevens van de gebouwen bij zeer veel verschillende instanties en in verschillende formaten aanwezig of niet aanwezig zijn of in een aantal sectoren helemaal ontbreken. We gaan dan ook in deze studie enkel de hoofdkenmerken weergeven.

Kantoren

Figuur 25 toont het aantal kantoren in functie van de oppervlakte [22].

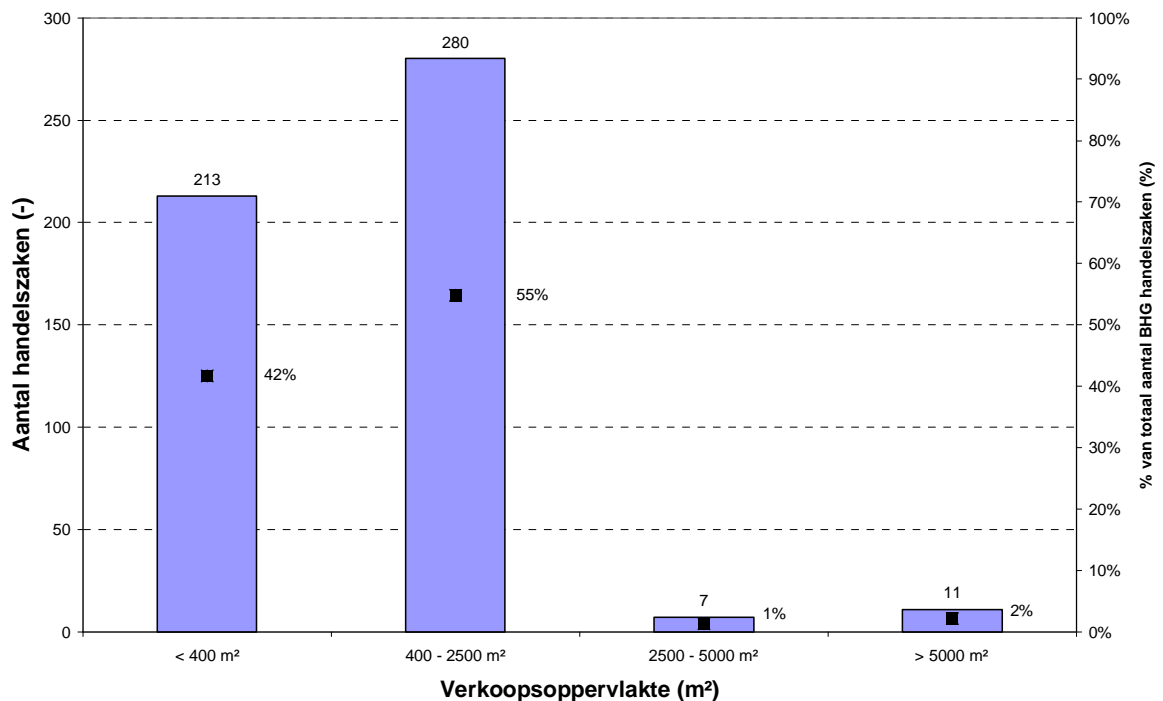


Figuur 25: Verdeling aantal kantoren per oppervlakte [22]

De kantoren met een oppervlakte kleiner dan 25 m² zijn weggelaten. Volgens het BHG is de totale kantooroppervlakte in 2003 ongeveer 13 miljoen m². Het grootste aantal kantoren in het BHG situeert zich in de categorie 50 tot 199 m². De totale oppervlakte in deze categorie behoort echter tot de laagste van het BHG. De categorieën 1000 -3499 m² en 3500 – 10000 m² maken het grootste gedeelte uit van de Brusselse kantorenmarkt.

Handel

In het BHG bedragen de opgemeten verkoopoppervlakten van handelszaken ongeveer 472000 m² [20]. Hiervan nemen de non-food en de voeding ongeveer elk de helft van de totale oppervlakte in. In de voeding nemen de supermarkten het grootste aandeel in met een totale oppervlakte van 155000 m². Figuur 26 toont de verdeling van de verkoopoppervlakte en het aantal handelszaken in het BHG [20].



Figuur 26: Verdeling aantal handelszaken per verkoopoppervlakte [20]

Uit de figuur is af te leiden dat 55% van het totaal aantal handelszaken in het BHG een verkoopoppervlakte heeft tussen 400 en 2500 m². Slechts 3% van het totale aantal handelszaken heeft een verkoopoppervlakte van meer dan 2500 m².

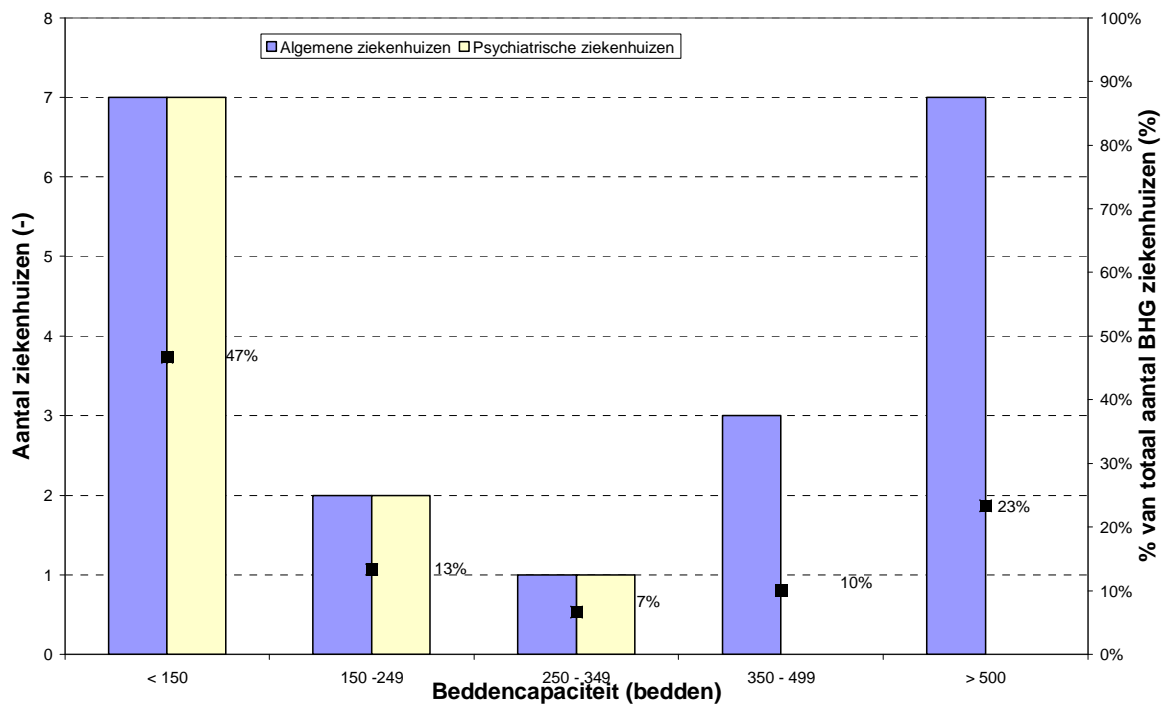
Dit geeft aan dat voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel voor deze sector de kleinere handelszaken dienen beschouwd te worden.

Gezondheidszorg - ziekenhuizen

Het BHG is gekenmerkt door het relatief grote aantal ziekenhuisbedden (9,2 bedden per 1000 inwoners) en de sterk geëvolueerde ziekenhuisuitrustingen (35% hoger dan nationaal

gemiddelde) met 3 academische ziekenhuizen op het grondgebied. Figuur 27 toont het aantal ziekenhuizen volgens beddencapaciteit [20].

De meerderheid van de ziekenhuizen is gesitueerd in de categorie kleiner dan 150 bedden gevolgd door de categorie groter dan 500 bedden. In deze laatste categorie is het gebruik van warmte maar ook van koude zeer sterk aanwezig en in deze categorie is de toepassing van geotechnieken heel sterk aanbevolen. In de bovenstaande gegevens zijn de militaire ziekenhuizen niet meegerekend, noch de verzorgingsdiensten van strafinrichtingen of rust- en verzorgingstehuizen.



Figuur 27: Aantal erkende ziekenhuizen volgens beddencapaciteit [20]

Gezondheidszorg - tehuizen

In de gezondheidsector neemt de rust- en verzorgingstehuizen een belangrijke plaats in. In het BHG zijn er in totaal 208 tehuizen waarvan de meeste in handen van privé instellingen en het aantal bedden wordt geschat op 15188 bedden [20]. Dit aantal is de laatste jaren sterk gedaald en het aantal bedden per instelling is het grootst in de publieke sector. In vergelijking met de ziekenhuizen ligt het aantal m² per bed in de rusthuizen (38 m²/bed) lager dan in ziekenhuizen (111 m²/bed).

Het specifieke elektriciteitsverbruik ligt hoger in de ziekenhuizen dan in de tehuizen door de sterke uitgebreide medische infrastructuur. Dit is een belangrijke parameters voor de bepaling van het koelvermogen en de koudehoeveelheid.

4.3.3 Industriële sector

De industriële sector in het BHG kan ingedeeld worden in metaalproducten, voeding, drukwerken papier en andere industrietakken zoals chemie, bouwnijverheid, ... Vermits het relatieve kleine aandeel van de industrie in het totale energieverbruik gaan we deze sector niet verder in detail behandelen.

4.4 Definitie referentiegebouwen

In deze paragraaf zijn op basis van een analyse van het gebouwenbestand en het energieverbruik per sector in Brussel referentiegebouwen gedefinieerd waarvoor het technisch en economisch potentieel werd bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen renovatie en nieuwbouwprojecten en een verdeling tussen residentiële, tertiaire en industriële sectoren.

Een belangrijk aandachtspunt is dat de referentiegebouwen niet de ambitie hebben om een exact gemiddelde te vertegenwoordigen van het totale gebouwenbestand of van een sector. Dit laatste is echter onmogelijk gezien de grote verscheidenheid aan gebouwen, constructies, isolatiekwaliteiten, ... en het zou nog geen garantie bieden op betere resultaten bij de extrapolatie naar de gehele sector.

Wel zijn de referentiegebouwen zo gekozen dat zij als een representatief gebouw kunnen beschouwd worden met de bedoeling om een zo groot mogelijk deel van het gebouwenbestand te kunnen vertegenwoordigen en dat met de resultaten belangrijke trends of beleidsmatige beslissingen in het gebouwenbestand kunnen waargenomen worden.

Voor de bepaling van de referentiegebouwen gebruiken we dezelfde gegevens als uit de studie [21], dit om consequent en over dezelfde energieverbruiken voor verwarming en koeling te beschikken en om de hier gepresenteerde resultaten naar primaire energiebesparing en investeringskosten te kunnen vergelijken met andere energiebesparende maatregelen uit deze studie. Voor de sectoren waar in deze studie geen gegevens beschikbaar zijn n, hebben we op basis van onze ervaringen in energiestatistieken de benodigde referentiegebouwen gedefinieerd.

Een belangrijk factor bij de definitie van referentiegebouwen en voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel is de warmte- en koudevermogens (in kW) alsook de warmte- en koudehoeveelheid (in kWh, MWh).

Het technisch en economisch potentieel van geotechnieken is steeds gerefereerd naar een referentiesituaties zonder het gebruik van geotechnieken maar met klassieke warmte- en koudeopwekkers.

4.4.1 Residentiele sector

Voor de residentiële sector hebben we bij de definitie van de referentiegebouwen het gebouwenbestand bekeken en de analyses die gemaakt zijn in de studie [21]. Ook is rekening gehouden met renovatie als met nieuwbouwprojecten vermits deze bij het technisch en economisch potentieel een invloed gaan hebben. Er werd ook rekening gehouden met de doelgroep van de beschouwde sector zijnde particulieren, openbare sector, bouwpromotoren, ... Een aantal geotechnieken zijn niet mogelijk bij renovatie in een bepaalde bouwsector bijv. de toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars bij renovatie in rijwoningen is niet mogelijk tenzij de rijwoning aan de achterzijde (in de tuin) bereikbaar is voor de uitvoering van de boorwerkzaamheden. Door het sterke stedelijke karakter is dit niet overal of nooit mogelijk.

Op basis van de beschouwde statistieken voor het Brusselse woningenbestand en renovatie en nieuwbouwprojecten kunnen de belangrijkste parameters voor de referentiegebouwen worden afgeleid. Onze studie van de residentiële sector spitst zich toe op de appartementen en de rijwoningen vermist deze de hoogste aantallen vertegenwoordigen in het gehele Brusselse residentiële gebouwenpark.

Tabel 14 toont de specificaties van de referentiegebouwen naar vloeroppervlakte, volume, totaal aantal gebouwen in het Brusselse gebouwenbestand en het aantal renovatie of nieuwbouwprojecten per jaar in die sector en voor die type gebouwen. Deze cijfers zijn destillaties van de gegevens uit de studie [21] en eigen ervaringsgegevens. Voor bijkomende bouwkundige en technische specificaties verwijzen we dan ook graag naar de studie [21].

Tabel 14: Specificaties van de residentiele referentiegebouwen

Referentie-gebouwen	Vloer-oppervlakte (m²)	Volume (m³)	Totaal aantal gebouwen in Brussel (aantal)	Aantal renovaties per jaar (aantal/jaar)	Aantal nieuwbouw per jaar (aantal/jaar)
Appartement renovatie (klein)	436	1220	70313	250	-
Appartement renovatie (groot)	1804	5054	70313	250	-
Appartement nieuwbouw (klein)	436	1220	70563	-	500
Appartement nieuwbouw (groot)	1804	5054	70563	-	500
Rijwoning modern (nieuwbouw)	173	514	45422	-	2700
Rijwoning herenhuis (renovatie)	220	747	44222	1500	-

4.4.2 Tertiaire sector

Voor de tertiaire sector werd op basis van het gebouwenbestand, de gegevens uit de studie [21] en verschillende statistieken referentiegebouwen gedefinieerd. De sectoren die een groot aandeel hebben in aantallen en in het energieverbruik in het BHG zijn de kantoren, ziekenhuizen, tehuizen en handel onder de vorm van winkels. Deze hebben ook een groot technisch potentieel voor de toepassing van geotechnieken. Voor elk van deze sectoren zijn verschillende type gebouwen gedefinieerd omdat binnen een bepaalde sector er toch

wezenlijke verschillen kunnen zijn qua bouw, oppervlaktes, ... Tabel 15 toont de specificaties van de tertiaire referentiegebouwen.

Tabel 15: Specificaties van de tertiaire referentiegebouwen

Referentie-gebouwen	Vloer-oppervlakte (m ²)	Volume (m ³)	Totaal aantal gebouwen in Brussel (aantal)	Aantal renovatie per jaar (aantal/jaar)	Aantal nieuwbouw per jaar (aantal/jaar)
Kantoor 1 (nieuwbouw)	1485	4752	1112	-	1112
Kantoor 2 (nieuwbouw)	10800	35100	248	-	248
Kantoor 3 (renovatie)	3600	10440	624	624	-
Kantoor 4 (renovatie)	14400	44640	248	248	-
Winkel (nieuwbouw)	1000	3000	280	-	56
Ziekenhuis (renovatie)	20000	60000	30	6	-
Rusthuis (renovatie)	5000	15000	208	42	-

4.4.3 Industriële sector

Wegens het relatief kleine aandeel van de industriële sector in de totale energiebalans en de sterke verscheidenheid in gebouwen en ook processen worden voor deze studie geen referentiegebouwen gedefinieerd en wordt er geen technisch en economisch potentieel berekend. Dit wil niet zegen dat bepaalde geotechnieken niet toepasbaar zijn in die sector maar het is een onbegonnen zaak om voor een bepaalde deelsector referentiegebouwen en of processen te definiëren.

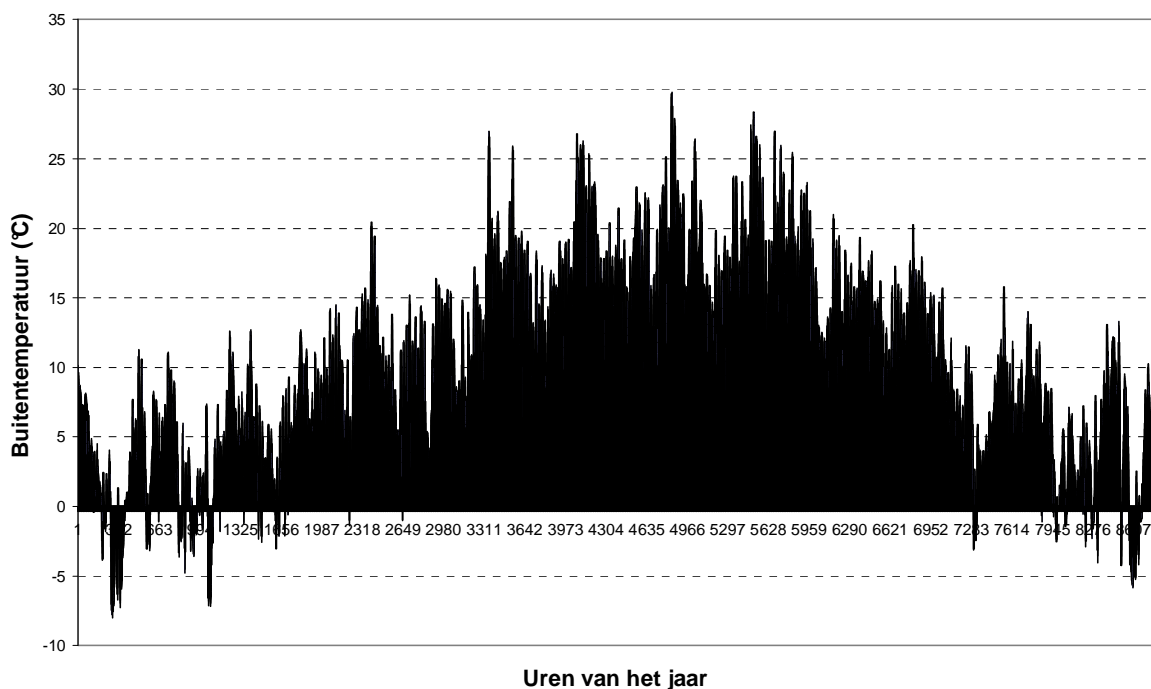
De toepassing die zich het meest leent in een industriële omgeving is het gebruik van grondwater of koude-warmteopslag. Deze toepassing leent zich dan uitstekend voor gebouwverwarming en proceskoeling op het aangepast temperatuurtraject. Door het gebruik van grondwater met een natuurlijke bodemtemperatuur van 12°C voor proceskoeling gekoppeld aan een koeltoren en/of warmtepomp ontstaat een energie-efficiënte toepassing met een zeer hoge COP. Zaak is wel dat de technische installaties (en of processen) gebruik kunnen maken van het aangepast temperatuurniveau van 10/18°C. Processen welke koeling vragen op een lager temperatuurniveau bijv. 6/12°C vormen geen mogelijke toepassing voor KWO en dienen met de klassieke koelmachines te worden voorzien.

4.5 Definitie randvoorwaarden technisch potentieel

Bij de berekening van het technisch potentieel voor de referentiegebouwen worden volgende randvoorwaarden vastgesteld. Deze randvoorwaarden zijn gedeeltelijk afkomstig uit de studies [20, 21] en uit eigen ervaringsgegevens. Zoals reeds eerder gemeld geeft een wijziging van deze randvoorwaarden een wijziging van het technisch potentieel en in een aantal gevallen van het energieverbruik voor verwarming en koeling.

Klimaatgegevens

In deze studie wordt uitgegaan van gemiddelde klimaatgegevens voor midden België, met name het gemiddelde klimaatjaar voor Ukkel. Figuur 28 toont de uurlijkse buitentemperatuur van het referentiejaar.



Figuur 28: Referentie buitentemperatuur te Ukkel

Energetische rendementen en kengetallen [20, 21]

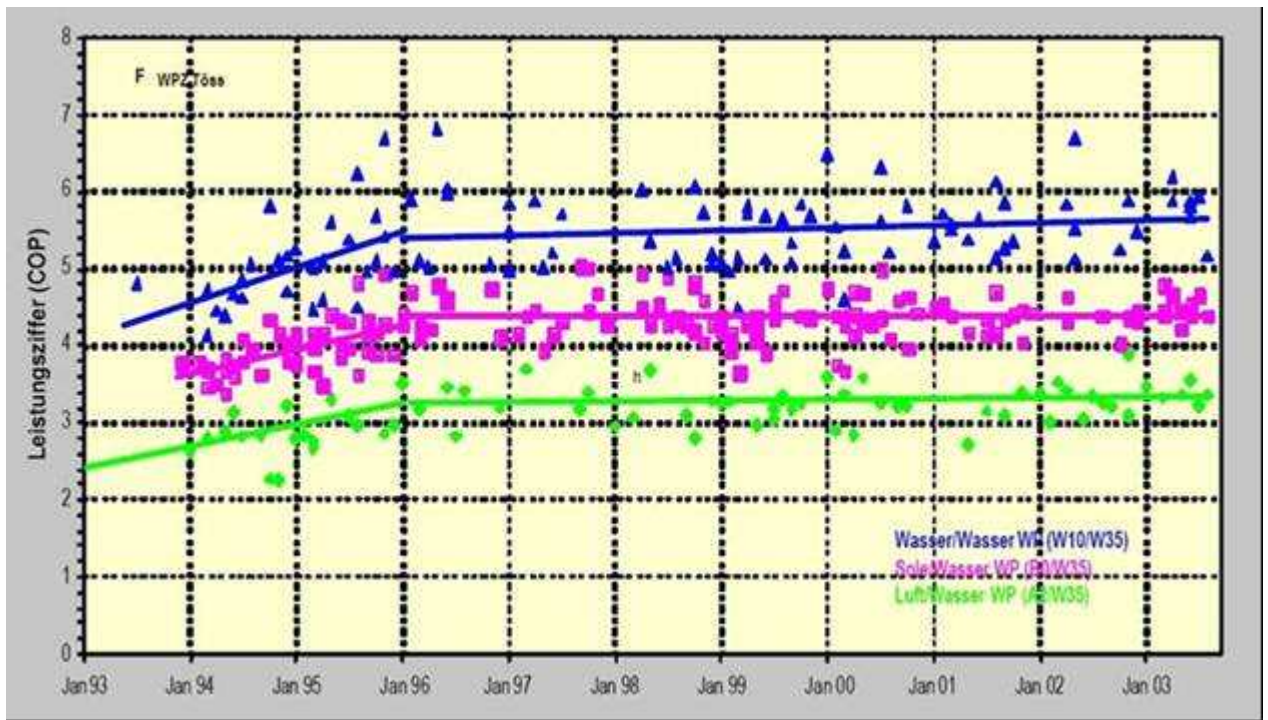
- Gemiddeld rendement van elektriciteitsopwekking: 40%
- Rendement ketel op bovenste verbrandingswaarde: 85%_{bvw}

Rendementen warmtepomp en koelmachines

Belangrijk voor het technisch potentieel zijn de rendementen of COPs van de koelmachines en warmtepompen. Deze zijn afhankelijk van het type bron voor de warmtepomp oa. lucht (buitenlucht), grondwater of gesloten bodemwarmtewisselaars maar zeker ook van het temperatuurniveau tussen de bron en de uitgang van het toestel. Des te kleiner deze temperatuursprong des te groter het rendement van het systeem. In het buitenland zijn voor de verschillende soorten warmtepompen rendementen (of COPs) opgemeten. Het warmtepomp test center te Zurich beschikt over deze gegevens. De organisatie Eurovent heeft ook dergelijke cijfers voor warmtepompen en koelmachines (zie www.eurovent-

certification.com). Deze organisatie heeft voor de warmtepompen en koelmachines indeling gemaakt in een 7-tal klassen (van A tot en met G) met bijbehorende rendementen.

Figuur 29 toont de rendementen voor de verschillende warmtepompen (test center Zurich). Uit de figuur kan afgeleid worden dat de beste systemen deze systemen met grondwater of bodemenergie zijn. De lucht/lucht systemen halen een beduidend lager rendement.



Figuur 29: Rendementen van verschillende soorten warmtepompen [test center Zurich]

Tabel 16 toont voor de verschillende geotechnieken in combinatie met een warmtepomp de rendementen bij koelen of verwarmen en bij vrije koeling (dus zonder warmtepomp in dienst) die in het kader van deze studie werden gebruikt. Voor de watergekoelde koelmachine wordt een rendement van 2,5 genomen bij een temperatuursregime van 6/12°C. Het elektriciteitsverbruik van de droge koeler (om condensorwarmte van de koelmachine af te voeren) is hierin reeds in mindering gebracht. Het afgiftesysteem werkt in dit geval op een regime 30-35°C. Brontemperaturen zijn gelijk aan de EPB-waarden : 10°C bij grondwater en 0°C bij bodem.

Tabel 16: Rendementen koeling en verwarming verschillende geotechnieken in combinatie met een warmtepomp (EPB/VDI4650 + VITO meetresultaten)

Geotechniek	TECH-1	TECH-2	TECH-3	TECH-4	TECH-5	TECH-6
	KWO	Grondwater	Horizontale wisselaars	BEO	Verticale wisselaars	EP
COP _{verwarming}	5	4,5	3,5	4,2	4	4
COP _{koeling}	4	-	-	3,2	-	3
COP _{vrije koeling}	25	-	-	20	-	15

CO₂ emissie [20,21]

- Uitstoot CO₂ bij elektriciteitsopwekking huidige situatie: 217 g/kWh_e
- Uitstoot CO₂ bij aardgas (onderste verbrandingswaarde): 217 g/kWh_{g,ovw}
- Uitstoot CO₂ bij gasolie (onderste verbrandingswaarde): 306 g/kWh_{g,ovw}
- Uitstoot CO₂ gewogen brandstof (onderste verbrandingswaarde): 261 g/kWh_{g,ovw}

4.6 Definitie randvoorwaarden economisch potentieel

De bepaling van een economisch potentieel gaat gepaard met de projectie van een aantal aannames in de toekomst. In de mate van de beschikbaarheid van gegevens werden deze aannames gestaafd met internationale cijfers en met aanvaarde scenario's in andere potentieel en/of voorspellingsstudies. Voor de economische evaluatie zijn van belang de investeringskosten, de onderhoudskosten, de energiekosten, de levensduur van de investering, de plaatsingskosten van het materiaal of de goederen, de inflatie, de BTW, ...

BTW

Doorheen de studie werden voor de residentiële sector de energiekosten, onderhoudskosten en (her)investeringskosten altijd inclusief BTW berekend. Voor de renovatieprojecten wordt gerekend met een verlaagd BTW tarief van 6%. Voor de nieuwbouwprojecten wordt met 21% BTW gerekend.

Voor de tertiaire sector wordt gerekend zonder BTW tarief vermits deze de BTW kunnen aftrekken van hun belastingen.

Elektriciteitstarieven

Voor het elektriciteitstarief wordt een gemiddelde prijs genomen van de dag en de nacht elektriciteitsprijs in de verschillende sectoren. Tabel 18 geeft de verschillende elektriciteitstarieven weer die gebruikt werden voor de bepaling van het economisch potentieel (anno 2007). Bij de economische rendabiliteit wordt gebruikt gemaakt van een levenscycluskost die rekening houdt met een stijging van de energieprijzen met 2,1% en 4,3% per jaar volgens de EU POLES scenario's [21].

Brandstoftarieven

Tabel 19 geeft de verschillende brandstoftarieven weer die gebruikt werden voor de bepaling van het economisch potentieel (anno 2007). Voor de bepaling van de brandstofprijs werd per sector een gemiddelde genomen van de gasolie en aardgasprijs en hun verdeling in de totale energiebalans.

Economische kengetallen

Verdisconteringvoet:	4,5% en 6% per jaar
Inflatie:	2% per jaar
Stijging energieprijzen:	2,1 en 4,3% per jaar
Levensduur levenscyclus kost:	40 jaar
Vervanging koelmachine en warmtepomp:	20 jaar (100% investering)
Vervanging ketel:	20 jaar (100% investering)
Levensduur BEO veld:	> 50 jaar
Levensduur KWO :	20 jaar

Onderhoudskosten

Voor de bepaling van de onderhoudskosten van de verschillende technologieën is gebruikt gemaakt van verschillende studies en referenties. Zij worden steeds uitgedrukt in een percentage van de investering per jaar. Tabel 17 toont de gebruikte onderhoudskosten van de verschillende technologieën.

Levensduur (en of gebruiksduur)

Voor de bepaling van het economisch potentieel wordt gebruikt gemaakt van de levenscycluskost (LCC). De LCC berekening wordt over een periode van 40 jaar genomen en dit voor de residentiële als voor de tertiaire sector. De netto contante waarde en de totale actuele kost worden berekend voor elk van de technologieën en voor elk van de referentiegebouwen.

Deze methode houdt rekening met de investeringskosten, onderhoudskosten, herinvesteringskosten (na de levensduur van de maatregel) en de onderhoudskosten. Voor de eenvoud van de studie worden voor de verschillende technologieën geen restwaarde van de installaties genomen en wordt de volledige investering als herinvestering genomen. Dit geldt niet voor de warmtepomp, koelmachines en CV-ketels waar de herinvestering 75% bedraagt van de initiële investering.

Tabel 17: Onderhoudskosten verschillende technologieën

Technologie	Onderhoudskosten per jaar (% van de initiële investering)
KWO	2
Grondwater	2
Horizontale warmtewarmtewisselaars	2
BEO	2
Verticale warmtewisselaars	2
Energiepalen	2
Grondbuizen	1,5
CV ketels	2
Koelmachine	3
Warmtepomp	3

Tabel 18: Elektriciteitsstarieven exclusief BTW (tenzij anders vermeld)(anno 2007)

Referentiegebouwen	Elektriciteitsprijs (EURO/MWhe)
Residentieel	
Appartementgebouw renovatie (klein)	115 (inclusief BTW)
Appartement gebouw renovatie (groot)	115 (inclusief BTW)
Appartement gebouw nieuwbouw (klein)	115 (inclusief BTW)
Appartement gebouw nieuwbouw (groot)	115 (inclusief BTW)
Rijwoning modern (nieuwbouw)	140 (inclusief BTW)
Rijwoning herenhuis (renovatie)	140 (inclusief BTW)
Tertiair	
Kantoor 1 (nieuwbouw)	100
Kantoor 2 (nieuwbouw)	100
Kantoor 3 (renovatie)	100
Kantoor 4 (renovatie)	100
Winkel (nieuwbouw)	100
Ziekenhuis (renovatie)	100
Rusthuis (renovatie)	100

Tabel 19: Brandstof tarieven exclusief BTW (tenzij anders vermeld)(anno 2007)

Referentiegebouwen	Brandstofprijs (EURO/MWh)
Residentieel	
Appartementgebouw renovatie (klein)	39 (inclusief BTW)
Appartement gebouw renovatie (groot)	39 (inclusief BTW)
Appartement gebouw nieuwbouw (klein)	39 (inclusief BTW)
Appartement gebouw nieuwbouw (groot)	39 (inclusief BTW)
Rijwoning modern (nieuwbouw)	41 (inclusief BTW)
Rijwoning herenhuis (renovatie)	41 (inclusief BTW)
Tertiair	
Kantoor 1 (nieuwbouw)	33
Kantoor 2 (nieuwbouw)	33
Kantoor 3 (renovatie)	33
Kantoor 4 (renovatie)	33
Winkel (nieuwbouw)	33
Ziekenhuis (renovatie)	33
Rusthuis (renovatie)	33

5 TAAK 3 : ANALYSE TYPE BEHOEFTE

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden voor de residentiële en tertiaire sector een analyse gemaakt van de typische warmte en koudebehoeften in de gebouwen en wordt aangegeven welke geotechnieken het best geschikt zijn voor de gedefinieerde referentiegebouwen.

Voor een verbetering van de energie-efficiëntie in gebouwen of woningen bestaan meerdere mogelijkheden. Er is een bepaalde volgorde van maatregelen die steeds dient gevolgd te worden. Deze kunnen onderverdeeld worden in 4 stappen:

1. Een eerste belangrijk aandachtspunt is dat de warmte- en koudevraag van een gebouw geminimaliseerd worden door het verbeteren van de gebouwschil, sterk isolerende beglazing, aangepast percentage glas in de gevels, oriëntatie, ... Ook de optimale benutting van daglicht hoort hieronder (vermindering koellast);
2. Een tweede aandachtspunt is de benutting van overtollige warmte of restwarmte. Het gebruik van energieopslagtechnieken past hier volledig in;
3. Na de vorige 2 stappen zijn toegepast kan de warmte – en koudevraag op een duurzame manier ingevuld worden. Voor de toepassing van geotechnieken is een lage temperatuursverwarming optimaal. We denken hierbij aan betonkernactivering, klimaatplafonds, overgedimensioneerde radiatoren, vloerverwarming/vloerkoeling, ... Voor koeling wordt best gebruik gemaakt van een hoog temperatuurskoeling. We denken hier dan aan inductie-units, plafondunits, betonkernactivering, ...
4. Als na de vorige stappen de energievoorziening niet meer duurzaam kan opgewekt worden kan het gebruik van fossiele brandstoffen worden overwogen. Dit dient dan wel op een energie-efficiënte manier te gebeuren. Denken we maar aan hoogrendementsketels, condensatieketels of warmtekrachtkoppeling.

Na een beschrijving van de verschillende ondiepe hydro en aërothermietechnieken (in het vervolg van de studie aangegeven als geotechnieken) in het vorig tussentijds rapport wordt in dit hoofdstuk vooreerst een beschrijving gegeven van de warmte en indien van toepassing de koudebehoeften voor de residentiële en tertiaire referentiegebouwen.

Er wordt eveneens beschreven wat de ideale afgiftesystemen zijn voor verwarming en koeling in de verschillende sectoren. Vermits een opslagsysteem in combinatie met een warmtepomp typisch geschikt is voor lage temperatuursverwarming en hoge temperatuurskoeling dient het afgiftesysteem (radiatoren, luchtbehandeling, inductieplafonds, ...) hierop afgestemd te worden of te zijn.

Dit heeft voornamelijk een invloed bij renovatieprojecten vermits in vele gevallen het afgiftesysteem min of meer behouden blijft en dit niet altijd geschikt is om op LTV of HTK te werken.

5.2 Definitie referentie-installatie

Om de energiebesparing en rendabiliteit van het toepassen van energieopslag in de bodem te kunnen vaststellen, is het noodzakelijk een referentie-installatie te definiëren. Dit betreft de conventionele installatie die volgens de klassieke installatieontwerpen geplaatst zou worden. Het betreft hier de installatie voor de opwekking van koude en warmte. Het is tevens nodig de gemiddelde prestaties van de voorgestelde apparatuur (koelmachines,...) te definiëren.

Voor de verwarming wordt uitgegaan van gasgestookte CV-ketels met een rendement van 85%.

Voor de koudeopwekking wordt gerefereerd naar watergekoelde koelmachines met droge koeler. Als seizoenale COP (voor koelbedrijf) voor deze installatie wordt 2,5 aangenomen.

5.3 Residentiele sector

5.3.1 Beschrijving warmte- en koudebehoeften

In de residentiele sector hebben we referentiegebouwen gedefinieerd voor appartementen en rijwoningen en onderscheid gemaakt tussen renovatie en nieuwbouw. Tabel 20 toont voor de residentiele referentiegebouwen de warmte- en koudebehoeften.

Tabel 20: Specificaties warmte- en koudebehoeften residentiele sector

ID gebouw	Benaming	Warmte	Koude
Res 1	Appartementgebouw renovatie (klein)	Individuele verwarming	Niet van toepassing
Res 2	Appartement gebouw renovatie (groot)	Collectieve verwarming	Niet van toepassing
Res 3	Appartement gebouw nieuwbouw (klein)	Individuele verwarming	Niet van toepassing
Res 4	Appartement gebouw nieuwbouw (groot)	Collectieve verwarming	Niet van toepassing
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	Individuele verwarming	Niet van toepassing
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	Individuele verwarming	Niet van toepassing

Bestaande bouw of renovatie

Voor de bestaande woningen of appartementen wordt de verwarming voorzien via gasgestookte of oliigestookte ketels (individueel of collectief) die via een afgiftesysteem met radiatoren, conventoren of in een aantal gevallen vloerverwarming (uitgezonderd appartementen) worden verdeeld naar de lokalen.

Er wordt in deze referentiegebouwen geen koeling voorzien. In de woningbouw is door een goed ontwerp (goede isolatie, ventilatie, goed ontwerp, ...) eigenlijk geen koeling nodig. Voor de nieuwbouw wordt hier in het kader van de EPB voldoende aandacht aan besteed en wordt het gebruik van actieve koeling zoveel mogelijk vermeden of afgeraden.

Vaak is het zo dat bij renovatie van woningen of appartementen lucht/lucht systemen geplaatst worden omwille van de initiële lagere investeringskosten en relatief eenvoudige plaatsing. Deze systemen zijn vaak voorzien van een warmtepomp die zowel kan verwarmen of koelen. De efficiëntie (rendement) van dergelijke systemen is lager dan de grondgekoppelde warmtepompen maar de investeringskosten liggen hier ook lager. De exploitatiekosten van dergelijks systemen liggen echter een pak hoger.

Nieuwbouw

Bij nieuwbouw woningen en appartementen worden strenge eisen gesteld aan de isolatiekwaliteit en aan de keuze van de technische verwarmings- en ventilatie-installatie. In deze gebouwen kan vanaf het begin van de bouw of bij het ontwerp rechtsreeks rekening gehouden worden met het benodigde afgiftesysteem op lage temperatuur zoals vloerverwarming en overgedimensioneerde radiatoren of aangepaste ventilatiekanalen. Dit maakt het eenvoudiger om geotechnieken te integreren.

5.3.2 Overzicht toepasbare geotechnieken

Tabel 21 toont de verschillende mogelijke geotechnieken die toepasbaar zijn in de residentiele referentiegebouwen.

Voor bestaande gebouwen is de keuzevrijheid voor geotechnieken beperkter dan bij nieuwbouw en sterk afhankelijk van de bestaande situatie en de natuurlijke vervangingsmomenten om maatregelen door te voeren. De meeste installaties kennen een gebruiksperiode van 20 jaar. Dit betekent dat binnen 20 jaar een aantal belangrijke investeringen gedaan worden, waarbij energiebesparende maatregelen overwogen kunnen worden. Een energiebesparende maatregel is in een nieuwbouwsituatie soms beter te implementeren dan in een renovatiesituatie. Bij een renovatie is niet dezelfde perfectiegraad mogelijk, zoals bij nieuwbouw het geval is.

Geotechniek TECH-1 (KWO)

In de residentiele sector is de geotechniek TECH 1 (KWO) niet toepasbaar wegens het ontbreken van koudevraag. In de rijwoningen achtten we deze grondwater technieken (TECH 1 en TECH 2) minder toepasbaar gezien de relatieve hoge initiële investeringskosten. Er dient bij deze systemen rekening gehouden te worden dat er op de desbetreffende locatie grondwater kan opgepompt worden. Dit is Brussel niet overall het geval (zie hiervoor de kanskaart voor KWO).

Geotechniek TECH-2 (Grondwater)

De geotechniek TECH 2 (grondwater onttrekking) is wel toe te passen in de appartementen en dit zowel bij renovatie als zeker bij nieuwbouw. In combinatie met een warmtepomp voor de levering van warmte ontstaat een heel energie-efficiënt energiesysteem. Alle andere

geotechnieken zijn in principe niet mogelijk al kunnen locale omstandigheden andere zaken uitwijzen.

Geotechniek TECH-3 (horizontale warmtewisselaars)

Vermits het grote benodigde oppervlakte om voldoende vermogen te kunnen onttrekken achtten we het ook zeer ongewoon dat deze techniek in de appartementsgebouwen kan toegepast worden. Deze techniek richt zich eerder op de markt van de moderne nieuwbouwwoningen (voor zover de beschikbare grondoppervlakte aanwezig is).

Geotechniek TECH-4 (verticale bodemwarmtewisselaars, BEO)

Vermits er in de sector geen reële vraag is naar koeling wordt deze techniek in combinatie met een warmtepomp niet weerhouden voor de residentiële woningen en appartementen.

Geotechniek TECH-5 (verticale bodemwarmtewisselaars enkel onttrekking)

De geotechniek TECH 5 (verticale bodemwarmtewisselaars met louter warmteonttrekking) is toepasbaar bij de nieuwbouw appartementen op voorwaarde dat voldoende grondoppervlakte aanwezig is of dat rond of achter het appartement voldoende ruimte is om de verticale bodemwarmtewisselaars te plaatsen. Desnoods kunnen de bodemwarmtewisselaars onder het grondoppervlakte van het appartement geplaatst worden. In de bepaling van het technisch potentieel wordt hier geen rekening mee gehouden. Bij de extrapolatie van het technisch potentieel naar het gehele technische potentieel voor gans Brussel wordt met deze randbemerking wel rekening gehouden.

Geotechniek TECH-6 (Energiepalen)

Voor de rijwoningen achtten we het gebruik van energiepalen zeer ongebruikelijk en niet toepasbaar vermits er geen koudevraag is. Voor de appartementsgebouwen achtten we deze toepassing eerder klein wegens het beperkte grondoppervlakte om voldoende funderingspalen thermisch te kunnen activeren.

Geotechniek TECH-7 (Grondbuizen)

In de rijwoningen zijn bij renovatie enkel de geotechniek TECH 7 (grondbuizen) mogelijk. We gaan er in deze studie vanuit dat bij renovatie van een rijwoning de achtertuin niet voldoende grondoppervlakte heeft om een horizontaal leidingnetwerk in onder te brengen en dat de achtertuin niet toegankelijk is voor graafwerken (ingraven horizontaal leidingnetwerk) of voor de toegankelijkheid van de boorwagen (plaatsen verticale bodemwarmtewisselaars).

De auteurs willen er de aandacht op vestigen dat de hier gepresenteerd selectie van technieken in een aantal praktijkgevallen anders kunnen zijn vanwege de locale omstandigheden of de aard van renovatie, het type van technische installatie die voorzien wordt of de combinatie van bijvoorbeeld appartementen met een onderliggende handelszaak. Voor elk van deze projecten zal dus steeds een individuele screening of haalbaarheidstudie dienen opgemaakt te worden en zal afhankelijk van de keuze van geotechniek een beslissing kunnen genomen worden.

Tabel 21: Overzicht toepasbare geotechnieken in de residentiële sector

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuize n
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	X	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	X	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	X	-	-	X	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	X	-	-	X	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	X	-	X	-	X
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	X

5.4 Tertiaire sector

5.4.1 Beschrijving warmte- en koudebehoeften

Kantoren

In de kantoren is er in vele gevallen een combinatie van warmte- en koudebehoefte aanwezig. Vooral kantoren met een noord/zuid oriëntatie vragen dergelijke behoeften. De gelijktijdigheid van verwarmen en koelen is ideaal in combinatie met een warmtepomp en kan geleverd worden aan een hoge COP. Kantoren beschikken over heel wat interne warmtewinsten van kantoorapparatuur, verlichting, personen, ... en het ontwerp van kantoren is soms niet voorzien op het buitenhouden van de zon indien gewenst. Deze interne warmtewinsten zijn in de winter een bron van winst, in het tussenseizoen of zomer een bron van ergernis en dus dient deze energie weggekoeld te worden. De warmtebehoefte in een kantoor wordt typisch ingevuld via radiatoren, vloerverwarming, ventiloconvectoren en luchtbehandelingskasten die hun warmte van gasgestookte of oliegestookte ketels krijgen. Meestal zijn in de grote kantoren een aantal ketels in cascade geschakeld. Om een optimale integratie van geotechnieken in kantoren mogelijk te maken dienen de afgiftesystemen te worden gedimensioneerd op de LTV en HTK.

Om een goed en comfortabel binnenklimaat te verkrijgen (met minimale temperatuuroverschrijdingsuren) is het soms gewenst om kantoren te koelen. Dit kan uitgevoerd worden via vloerkoeling, betonkernactivering, ventiloconvectoren en luchtbehandelingskasten.

Door de vaak wisselende omstandigheden zoals verhuur van de kantoren en dus de wisselende indeling van de kantoorruimten is een adequate thermische energie-installatie nodig dat zoveel met deze noden kan rekening houden.

De toepassing van bevochtiging in kantoorgebouwen is soms wenselijk. Dergelijke bevochtigingssystemen kunnen niet gevoed worden via de verschillende geotechnieken vanwege het te hoge temperatuurniveau. Andere toestellen zoals stoombevochtigers, elektrische bevochtigers, ... zijn dan nodig maar maken geen deel uit van deze studie.

Winkels

Voor de detailhandel is de relevantie afhankelijk van de specifieke gebouwfunctie. In afwijking van de kantoren is in de detailhandel bevochtiging minder gebruikelijk. In die gevallen vervallen de maatregelen betreffende vochtterugwinning. Ook ontbreekt in de detailhandel meestal de noodzaak voor het toepassen van vrije koeling. Verder kent de detailhandel naast TL-verlichting vaak ook gebruikersspecifieke verlichtingsvormen. Een gebouwscan biedt inzicht in de specifieke kansen en (on)mogelijkheden op gebouwniveau.

Ziekenhuizen en tehuizen

Een ideale sector voor het toepassen van geotechnieken is de ziekenhuis en tehuizen sector. De vraag naar verwarmen en koelen is vrij groot vanwege comforttoepassingen. Het verhogen van het binnenklimaat in de patiëntenkamers, consultatiekamers en operatiekwartieren heeft een extra comfort en betekent een surplus. De vraag naar verwarming is voldoende groot zodat voldoende koude kan opgebouwd worden bij de

verticale bodemwarmtewisselaars en dat bij het gebruik van KWO de energiehoeveelheden voor warmte en koude in evenwicht zijn.

In de tehuizen is de vraag naar koeling eerder beperkt tot de levering van topkoeling en is het gebruik van een monovalent energiesysteem (dus enkel warmtepomp) vaak niet mogelijk.

5.4.2 Overzicht toepasbare geotechnieken

Tabel 22 toont de verschillende mogelijke geotechnieken die toepasbaar zijn in de tertiaire referentiegebouwen.

Voor alle tertiaire referentiegebouwen zijn de geotechnieken TECH 1 (KWO) en TECH 4 (BEO) in alle gevallen mogelijk mits aan de randvoorwaarden van geologie, aangepast temperatuurtraject voor LTV en HTK, voldoende plaats voor bodemwarmtewisselaars, ... werd voldaan. Vermist deze gebouwen veel koeling nodig hebben is TECH 2 (grondwater onttrekking of warmteonttrekking) niet aangewezen. We geven hierbij de voorkeur aan de maatregel TECH 1 (KWO) boven de maatregel TECH 2 (grondwater).

Voor de nieuwbouw referentiegebouwen ter 1 en ter 2 (kantoor nieuwbouw klein en groot) is de geotechniek TECH 6 (energiepalen) eveneens mogelijk mits voldaan wordt aan de lokale gelogische voorwaarden, voldoende grondoppervlakte aanwezig is, voldoende warmte kan onttrokken worden, ...

Voor het nieuwbouw referentiegebouw ter 1 (kantoor nieuwbouw) is nog de maatregel TECH 7 (grondbuizen) toegevoegd daar dit in de kleinere goede geïsoleerde kantoorgebouw een toegevoegde waarde heeft. De toepassing van dergelijke maatregel dient wel goed overwogen te worden daar de bijdrage aan de warmtelevering eerder beperkt zal zijn. De voorkoeling van de ventilatielucht kan met een grondbuis gerealiseerd worden. We gaan er in deze studie dan ook vanuit dat er voldoende plaats (oa. lengte) is om de grondbuis te plaatsen. Dit zal in een aantal gevallen niet mogelijk zijn. Hier wordt in de extrapolatie van het technisch potentieel rekening gehouden. Recentelijk zijn er heel wat van deze projecten die gerealiseerd worden. De bijdrage van dergelijke systemen in de totale warmte en koudebalans is echter gering. Zie hiervoor de beschrijving van de maatregel in het tussentijds rapport. Wil men een hogere efficiëntie dan dient gekozen te worden voor de technieken met KWO en BEO.

Tabel 22: Overzicht toepasbare geotechnieken in de tertiaire sector

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepalen	TECH 7 Grondbuizen
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	X	-	-	X	-	X	X
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	X	-	-	X	-	X	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	X	-	-	X	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	X	-	-	X	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	X	-	-	X	-	X	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	X	-	-	X	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	X	-	-	X	-	-	-

6 TAAK 4 : TECHNISCH POTENTIEEL

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het technisch potentieel voor de geselecteerde geotechnieken in Brussel per referentiegebouw en per sector berekend. Het technisch potentieel is het potentieel dat kan gerealiseerd worden door het toepassen van de voorgestelde geotechnieken in de desbetreffende sectoren zonder evenwel rekening te houden met de initiële investeringskosten of technische belemmeringen in de installatie van de geotechnieken.

Het technisch potentieel voor de gehele Brusselse bouwsector wordt berekend door het technisch potentieel per type gebouw te vermenigvuldigen met het aantal gebouwen in die sector. In dit potentieel wordt wel rekening gehouden met de technische belemmeringen en wordt een realistische inschatting gemaakt van het aantal mogelijke projecten op basis van het aantal renovatie en/of nieuwbouwprojecten in Brussel.

6.2 Potentieel residentiele sector

6.2.1 Appartementen

Primair energieverbruik en besparing

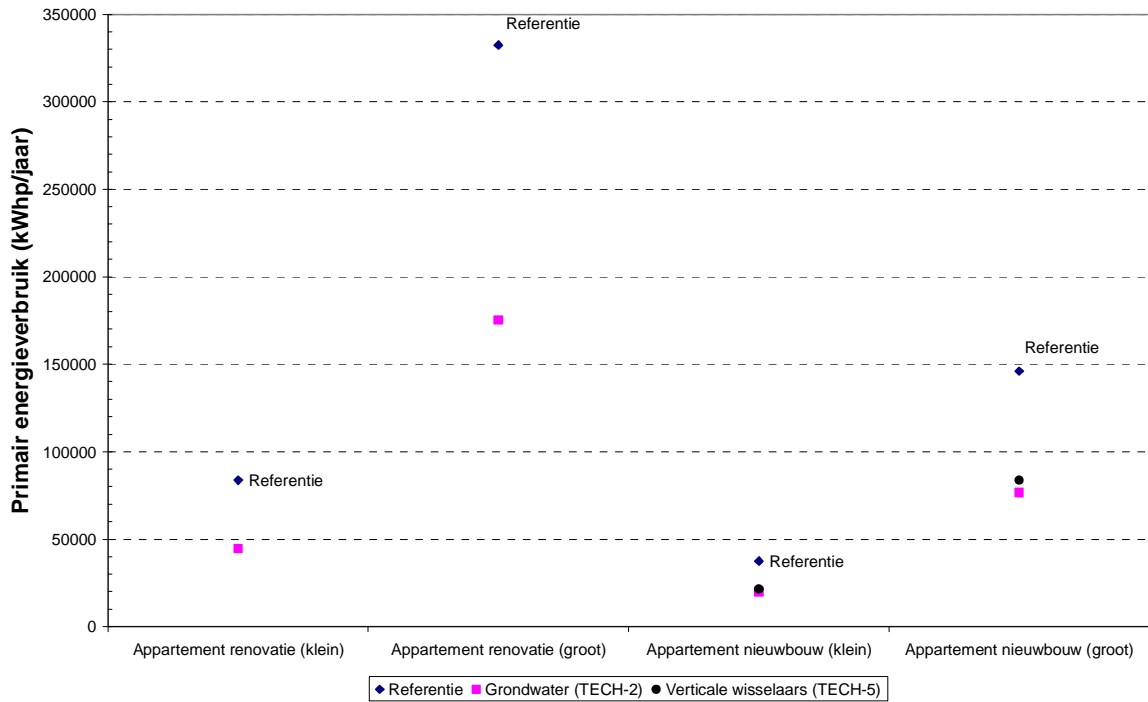
Het primaire energieverbruik van de referentie-installatie werd vergeleken met dit van de installatie met geotechniek. De installatie met geotechniek en warmtepomp kan een zeker percentage van de benodigde warmtevraag op jaarbasis dekken. De rest van de warmtevraag wordt voorzien door een klassieke verwarmingsinstallatie. Het verschil tussen de beide primaire energieverbruiken geeft de primaire energiebesparing weer. In het primaire energieverbruik zit het energieverbruik voor verwarming, koeling en elektriciteit nodig voor de warmte- en (eventueel) koudebehoefte van het gebouw te kunnen leveren. Het primaire energieverbruik voor verlichting, elektrische huishoudapparaten, etc. is hierin niet opgenomen vermits deze in beide situaties (referentie en geotechniek) identiek worden verondersteld.

Figuur 30 toont voor de verschillende type appartementen het jaarlijkse primaire energieverbruik in de situatie referentie en met de verschillende geotechnieken (grondwater en verticale bodemwarmtewisselaars).

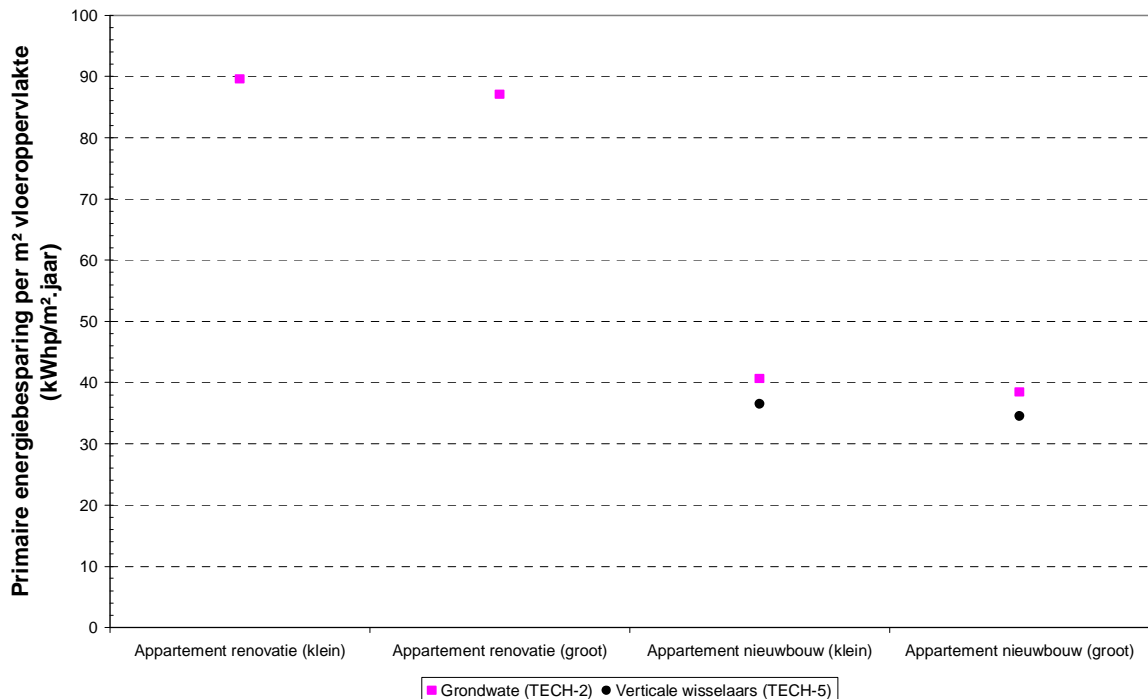
Figuur 31 toont voor de verschillende type appartementen de primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte.

Uit de figuur blijkt dat de grootste primaire energiebesparing kan gerealiseerd worden door grondwatersystemen in combinatie met een warmtepomp (geotechniek TECH-2). Indien we de primaire energiebesparing relateren aan de totale verwarmde vloeroppervlakte komen we tot dezelfde besluiten. De grondwatersystemen halen een hogere specifieke primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte dan de gesloten systemen (TECH-5) en

dit vanwege het hoge rendement van de totale installatie. Bij renovatie ligt de specifieke primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte een factor 2 hoger dan bij nieuwbouw.



Figuur 30: Appartementen : jaarlijks primair energieverbruik referentie en geotechnieken

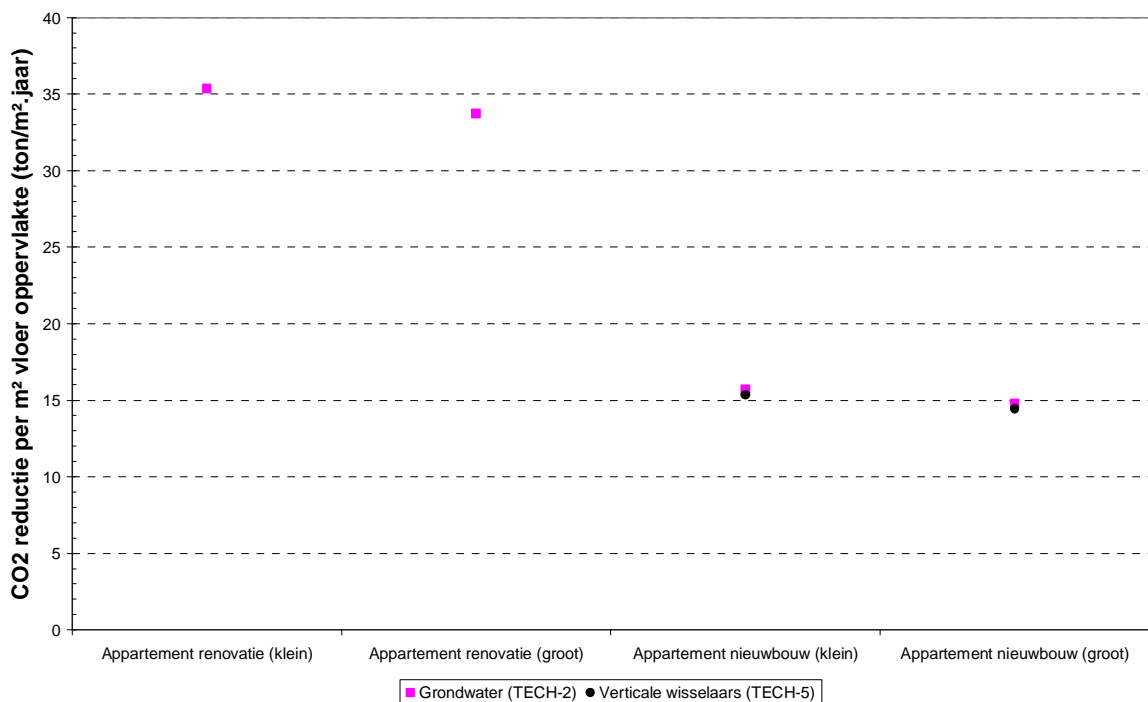


Figuur 31: Appartementen : jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken

CO₂ emissie reductie

Indien we de primaire energiebesparing vertalen naar een CO₂ uitstoot bekomen we dezelfde resultaten als de primaire energiebesparing omdat we in beide installaties (referentie en geotechniek installatie) dezelfde brandstof gebruiken. De grondwatersystemen halen de grootste CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte.

Figuur 32 toont voor de verschillende type appartementen de CO₂ besparing per m² verwarmde vloeroppervlakte in de situatie met de verschillende geotechnieken (grondwater en verticale bodemwarmtewisselaars).



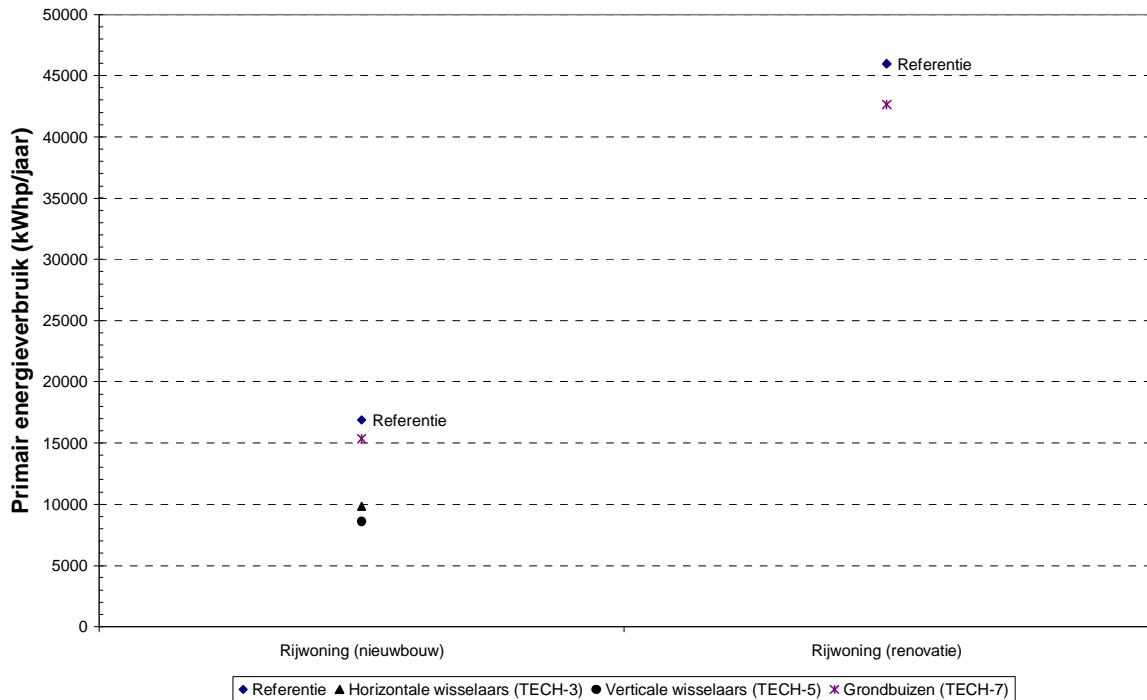
Figuur 32: Appartementen : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken

Bij de grondwatersystemen (TECH 2) wordt afhankelijk van het type referentiegebouw tussen de 2 tot 10 maal de jaarlijkse huishoudelijke CO₂ uitstoot van één woning bespaard. Voor de verticale systemen (TECH 5) is dit tot 1 tot 5 maal. De specifieke CO₂ besparing per m² verwarmde vloeroppervlakte is een factor 2,3 hoger bij renovatie dan bij nieuwbouw.

6.2.2 Woningen

Primair energieverbruik en besparing

Figuur 33 toont voor de verschillende type woningen het jaarlijkse primaire energieverbruik in de situatie referentie en met de verschillende geotechnieken (grondwater, horizontale en verticale bodemwarmtewisselaars en grondbuizen).



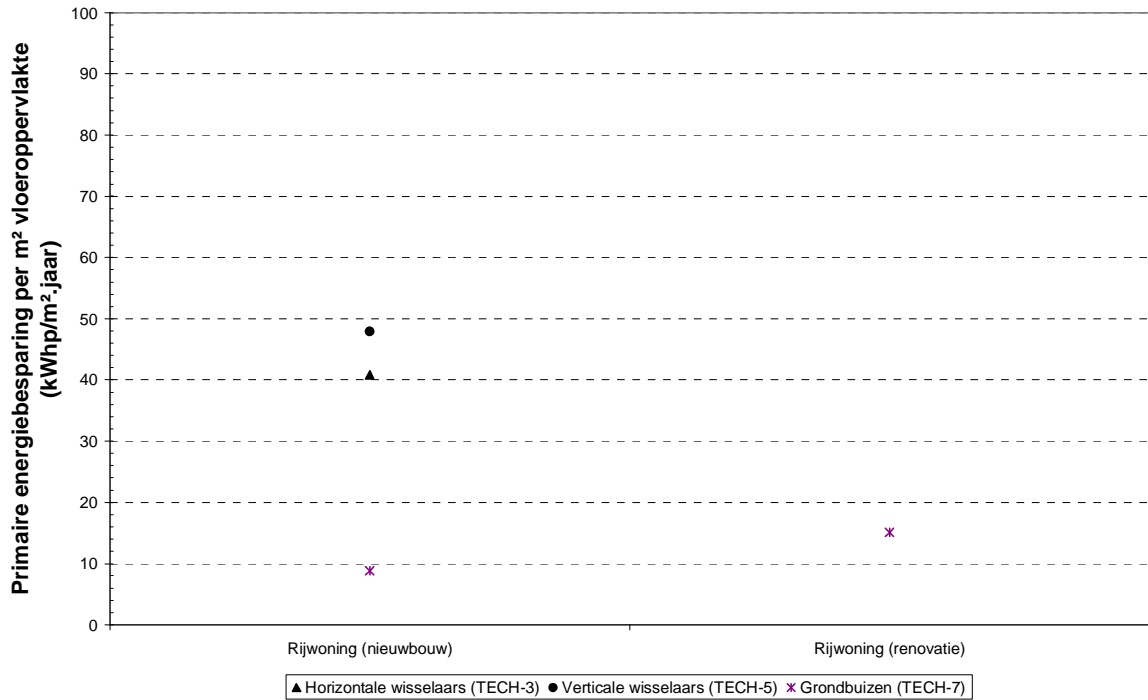
Figuur 33: Woningen: jaarlijkse primaire energieverbruik referentie en geotechnieken

Voor de rijwoningen levert het gebruik van verticale bodemwisselaars (TECH 5) de grootste primaire energiebesparing op gevolgd door de horizontale wisselaars (TECH 3). De primaire energiebesparing van de grondbuizen (TECH 7) is een stuk lager vanwege de relatieve lage opbrengst in de totale warmtebehoefte van de woning. Bij de rijwoningen is er van monovalente systemen uitgegaan dus zonder gebruik van CV ketel alles wordt opgenomen door de warmtepomp. Bij de grondbuis (TECH 7) wordt de additionele verwarming door CV ketels uitgevoerd. Over het algemeen halen de verticale wisselaars een hogere primaire energiebesparing vanwege een hogere COP die bereikt wordt doordat een grotere thermische grondmassa kan deelnemen aan de warmtelevering.

Figuur 34 toont voor de verschillende type woningen de primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte in de situatie met de verschillende geotechnieken (grondwater en verticale bodemwarmtewisselaars).

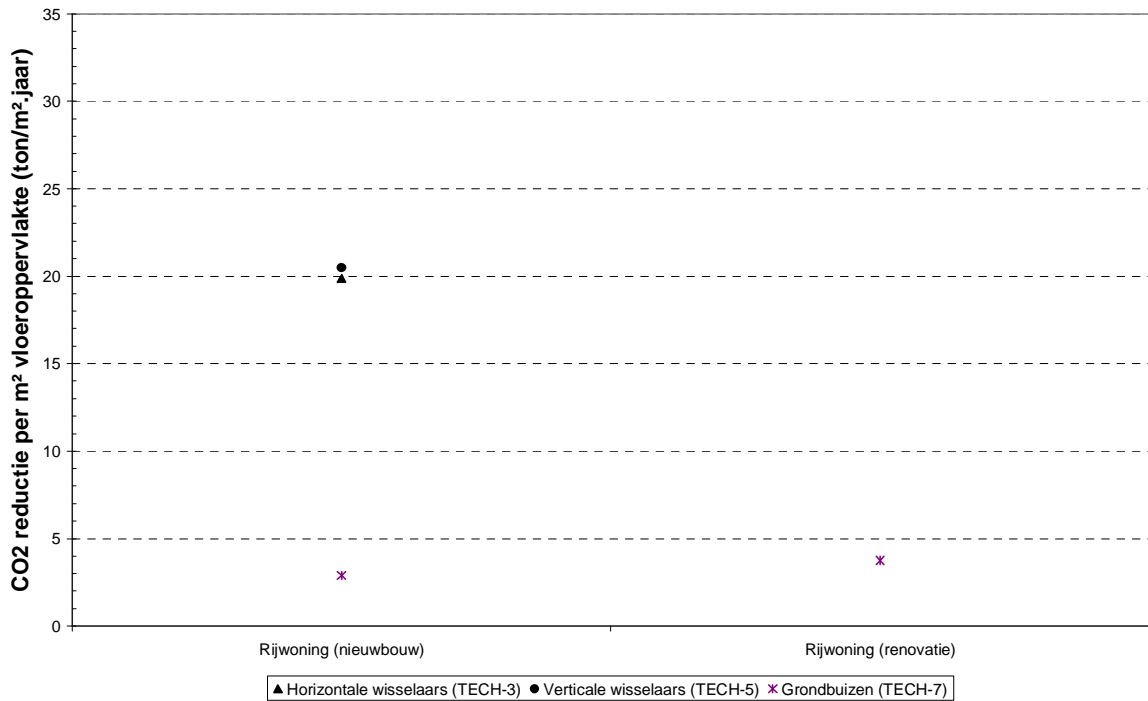
Figuur 35 toont voor de verschillende type woningen de CO₂ besparing per m² verwarmde vloeroppervlakte in de situatie met de verschillende geotechnieken (grondwater en verticale bodemwarmtewisselaars). Voor de woningen kan de CO₂ reductie met ongeveer 70% worden verminderd door het gebruik van horizontale of verticale bodemwarmtewisselaars in

combinatie met een warmtepomp. Grondbuizen besparen ongeveer 10% van de totale jaarlijkse huishoudelijke CO₂ uitstoot van een huishouden.



Figuur 34: Woningen : jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken

CO₂ emissie reductie



Figuur 35: Woningen : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken

6.2.3 Samenvatting

Tabel 23 vat per geotechniek en per type referentiegebouw in de residentiële sector de jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte uitgedrukt in kWhp/m² samen. Tabel 25 toont de primaire energiebesparing uitgedrukt in een % van het primaire referentieverbruik.

Tabel 25 en Tabel 26 geven respectievelijk de CO₂ besparing per m² vloeroppervlakte en de CO₂ besparing in % ten opzichte van een referentiegebouw van de verschillende geotechnieken weer.

Uit de tabellen is af te leiden dat voor de residentiële appartementsector de grootste primaire energiebesparing kan gerealiseerd worden door het gebruik van grondwater (TECH 2) in combinatie met een warmtepomp gevolgd door de verticale bodemwisselaars (TECH 5). Uiteraard zijn de gerealiseerde besparingen groter bij renovatie dan bij nieuwbouw.

Dit is logisch gezien het feit dat dergelijke systemen in combinatie met een warmtepomp aan een vrij hoge COP of rendement werken bij warmtelevering (voor technische voorwaarden zie paragraaf 4.5). Uiteraard hebben de randvoorwaarden een invloed op het resultaat. Voor de appartementen wordt uitgegaan van bivalente warmtepompsystemen. De warmtevraag van het gebouw wordt voor een groot gedeelte gedekt door de warmtepomp, rest wordt door de CV ketels geleverd.

Voor de woningen wordt de grootste primaire energiebesparing gerealiseerd door verticale bodemwarmtewisselaars ten opzichte van een referentiesysteem. Grondbuizen leveren slechts een zeer kleine primaire energiebesparing op.

Dezelfde conclusies kunnen gegeven worden voor de CO₂ reductie. Een vergelijking van deze specifieke kengetallen met andere energiebesparende maatregelen uit de studie [21] geeft aan dat de toepassing van geothermie in combinatie met een warmtepomp leidt tot hoge primaire en CO₂ besparingen per m² verwarmde vloeroppervlakte.

Tabel 23: Primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor residentiele gebouwen (in kWhp/m²)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	90	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	87	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	41	-	-	37	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	38	-	-	35	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	41	-	48	-	9
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	15

Tabel 24: Primaire energiebesparing (in % ten opzichte van referentiegebouw) voor residentiele gebouwen (in %)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	47%	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	47%	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	47%	-	-	43%	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	47%	-	-	43%	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	42%	-	49%	-	9%

Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	7%
-------	---------------------------------	---	---	---	---	---	---	----

Tabel 25: Overzicht CO₂ emissiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor residentiele referentiegebouwen (in kg CO₂/m²)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	35	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	34	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	16	-	-	15	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	15	-	-	14	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	20	-	20	-	3
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	4

Tabel 26: Overzicht CO₂ emissiebesparing (in % ten opzichte van referentiegebouwen) voor residentiele referentiegebouwen (in %)

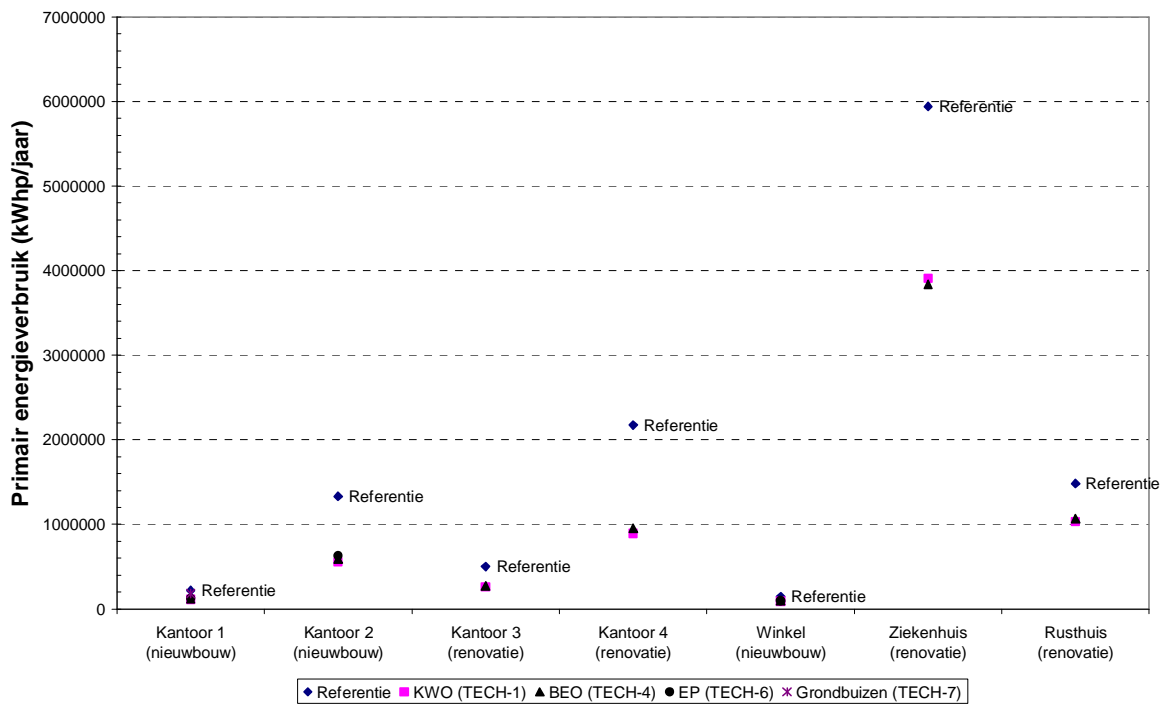
ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	72%	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	72%	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	72%	-	-	70%	-	-

Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	72%	-	-	71%	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	80%	-	83%	-	12%
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	7%

6.3 Potentieel tertiaire sector

Primair energieverbruik en besparing

Figuur 36 toont voor de verschillende type tertiaire referentiegebouwen (kantoren, winkel, ziekenhuis en rusthuis) het jaarlijkse primaire energieverbruik in de situatie referentie en met de verschillende geotechnieken (KWO, BEO, EP en grondbuizen).



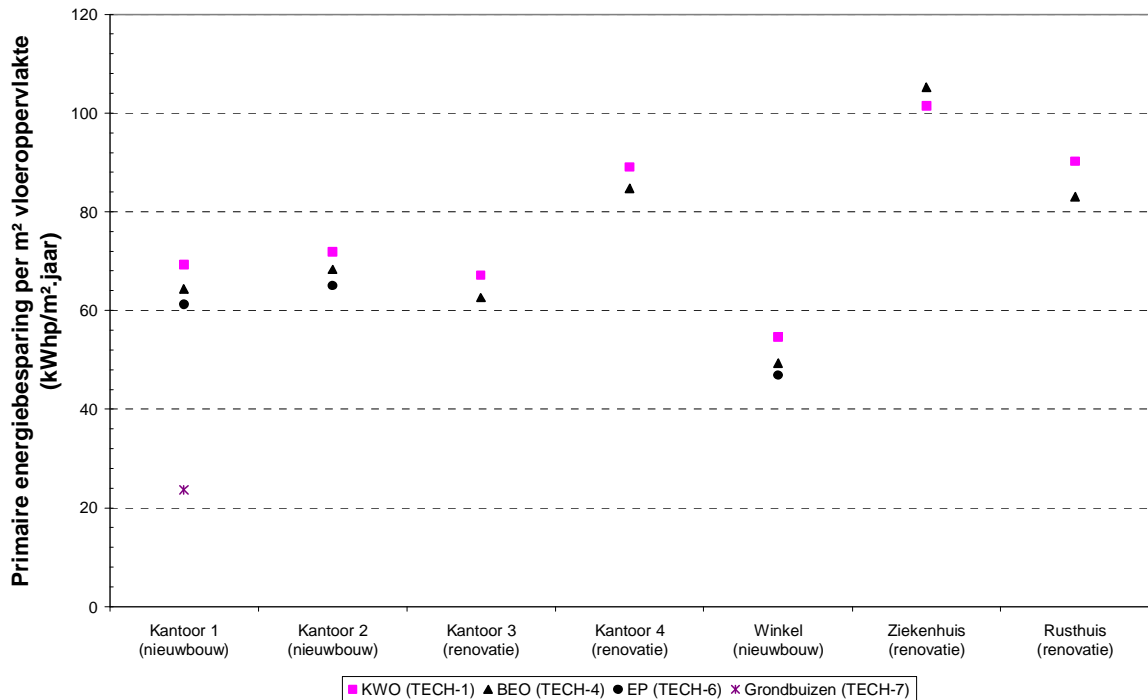
Figuur 36: Tertiaire sector: jaarlijkse primaire energieverbruik referentie en geotechnieken

Figuur 37 toont voor de tertiaire sector de primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte in de situatie met verschillende geotechnieken.

De grondbuis (TECH-7), enkel toepasbaar in type gebouw kantoor 1, bespaart het minst primaire energie per m² verwarmde vloeroppervlakte. Ook procentueel is dit relatief laag (16%). De KWO toepassingen (TECH-1) besparen de hoogste specifieke primaire energie op de voet gevolgd door de BEO techniek (TECH-4) en energiepalen (TECH-6). Deze laatste technieken besparen een factor 3 tot 5 maal meer specifieke primaire energie dan de grondbuis. Over alle tertiaire gebouwen bespaart de techniek KWO gemiddeld 45% primaire energie ten opzichte van de referentie-installatie. Dit is een vrij hoge waarde. De BEO techniek bespaart gemiddeld iets minder primaire energie (43%).

In de verzorgingsinstellingen (rusthuis en ziekenhuis) is een vrij hoge primaire energiebesparing mogelijk (80 tot 100 kWhp/m²) vermits hier de behoefte aan koude relatief hoog is m.a.w. de installatie met geotechniek kan een groot gedeelte van de koudevraag voor zijn rekening nemen (in vrije koeling) en dit aan een zeer hoge COP of rendement (zie paragraaf 4.5). De toepassing van geotechnieken in kantoren en verzorgingsinstellingen is dan ook vrij goed realiseerbaar en gaat gepaard met een hoge primaire energiebesparing en

CO₂ reducties die met andere hernieuwbare technieken niet kunnen gerealiseerd worden. Bij de winkel ligt de specifieke primaire energiebesparing een stuk lager.

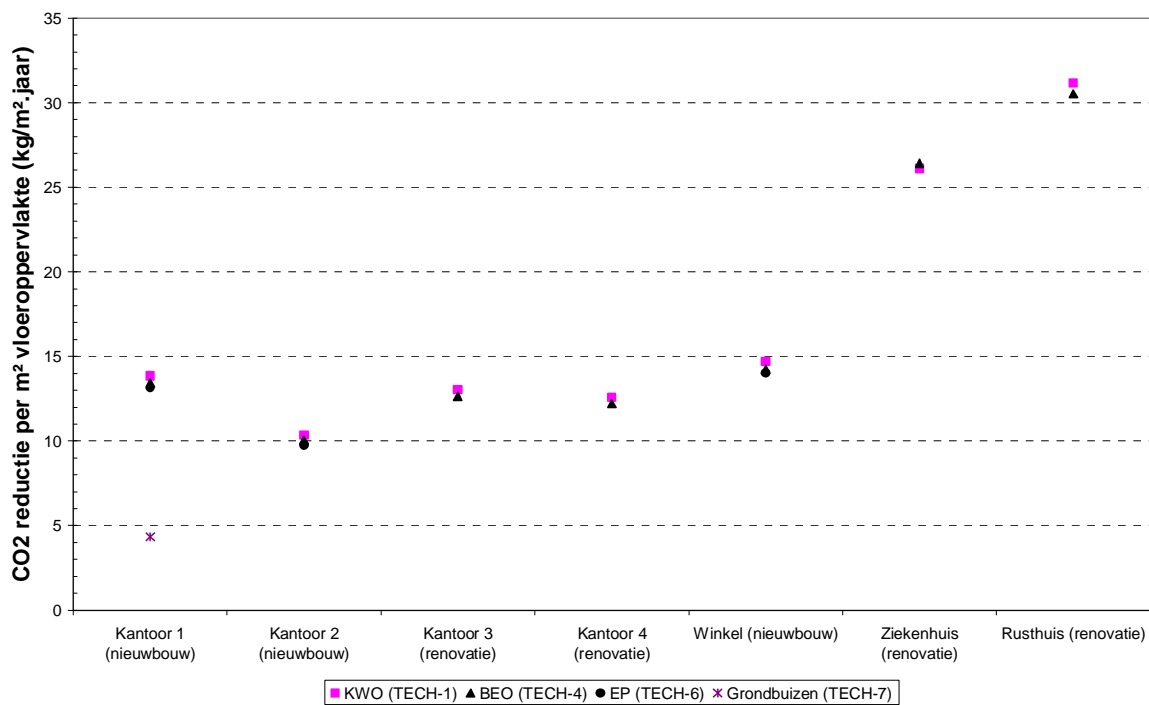


Figuur 37: Tertiaire sector: jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor referentie en geotechnieken

CO₂ emissie reductie

Figuur 38 toont voor de tertiaire sector de CO₂ besparing per m² verwarmde vloeroppervlakte in de situatie met de verschillende geotechnieken.

Hieruit blijkt dat in de tertiaire sector een specifieke CO₂ besparing per m² van 17 tot 23 kg per m² kan bespaard worden. Ook hier zijn de besluiten per type gebouw en per geotechniek dezelfde als voor de primaire energiebesparing. Grondbuizen besparen het minst ten opzichte van KWO, BEO en energiepalen.



Figuur 38: Tertiaire sector : jaarlijkse CO₂ reductie per m² verwarmde vloeroppervlakte voor geotechnieken

6.3.1 Samenvatting

Tabel 27 en Tabel 28 tonen respectievelijk de primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte en de procentuele jaarlijkse primaire energiebesparing in de tertiaire sector. Het primaire energieverbruik van de referentie-installatie werd vergeleken met een installatie met geotechniek. Het verschil geeft de primaire energiebesparing weer.

Wederom geven de KWO projecten (TECH-1) de grootste procentuele primaire energiebesparing voor alle referentiegebouwen in de tertiaire sector gevolgd door de BEO projecten (TECH-4) en energiepalen (TECH-6). De grondbuizen (TECH-7) geven de laagste primaire procentuele energiebesparing.

Tabel 29 en Tabel 30 tonen per geotechniek en per type referentiegebouw in de tertiaire sector de procentuele jaarlijkse CO₂ emissiereductie in % en kg/jaar. Dezelfde conclusies kunnen gegeven worden voor de CO₂ emissiereductie.

Tabel 27: Jaarlijkse primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor tertiaire referentiegebouwen (kWhp/m²)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
		KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	69	-	-	64	-	61	24
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	72	-	-	68	-	65	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	67	-	-	63	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	89	-	-	85	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	55	-	-	49	-	47	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	101	-	-	105	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	90	-	-	83	-	-	-

Tabel 28: Primaire energiebesparing voor tertiaire gebouwen (in % ten opzichte van referentiegebouw)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
		KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	47%	-	-	44%	-	42%	16%
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	58%	-	-	55%	-	53%	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	48%	-	-	45%	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	59%	-	-	56%	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	37%	-	-	34%	-	32%	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	34%	-	-	35%	-	-	-

Ter 7	Rusthuis (renovatie)	30%	-	-	28%	-	-	-
-------	----------------------	-----	---	---	-----	---	---	---

Tabel 29: CO₂ emissiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte voor tertiaire referentiegebouwen (in kg CO₂/m²)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
		KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	14	-	-	13	-	13	4
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	10	-	-	10	-	10	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	13	-	-	13	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	13	-	-	12	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	15	-	-	14	-	14	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	26	-	-	26	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	31	-	-	31	-	-	-

Tabel 30: CO₂ emissiebesparing voor tertiaire referentiegebouwen (in % ten opzichte van referentiegebouwen)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
		KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	49%	-	-	47%	-	46%	15%
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	55%	-	-	53%	-	52%	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	49%	-	-	48%	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	55%	-	-	54%	-	-	-

Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	45%	-	-	44%	-	43%	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	43%	-	-	44%	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	43%	-	-	42%	-	-	-

6.4 Extrapolatie naar gehele Brusselse sector

Het in de vorige paragrafen bekomen technisch potentieel voor de verschillende type referentie gebouwen en geotechnieken kan geëxtrapoleerd worden naar de gehele Brusselse gebouwensector en dit voor residentiële en tertiaire sector. Het technisch potentieel per type gebouw wordt vermenigvuldigd met het aantal type gebouwen per sector (voor zover bekend). Er wordt rekening gehouden met het aantal renovatie en nieuwbouwprojecten. Het mag duidelijk zijn dat dit een grove schatting is vermits het aantal gebouwen niet exact gekend zijn en dat het aantal gebouwen dat bij renovatie of bij nieuwbouw gaat opteren voor de implementatie van geotechnieken ook niet exact gekend is.

Dat het technisch potentieel voor de gehele Brusselse sector niet groot zal zijn is zeker. Isolatie maatregelen en vervanging g van verwarmingsketels halen een veel grotere dekking.

Echter uit vorige paragrafen blijkt dat de primaire energiebesparing en CO₂ emissiereductie hoog zijn ten opzichte van andere energiebesparende maatregelen. Het beleid kan die cijfers gebruiken om financiële stimuli te geven aan de komende projecten.

Ook wordt bij de extrapolatie rekening gehouden met de geohydrologische omstandigheden van de beschouwde geotechniek vermits niet alle geotechnieken over het gehele Brusselse grondgebied kunnen toegepast worden.

In hoofdstuk 7 wordt de extrapolatie van het economisch potentieel voor het BHG berekend.

6.4.1 Residentiele sector

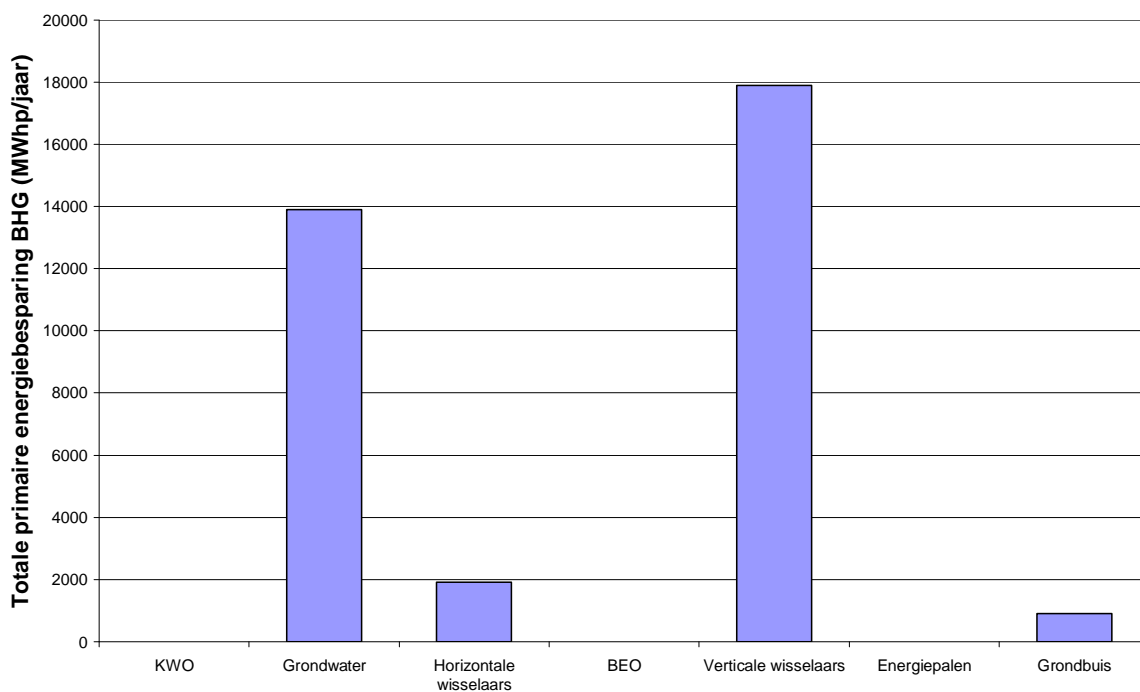
Tabel 31 toont de primaire energiebesparing per geotechniek voor de residentiele sector. De vermelde potentiëlen per geotechniek mogen niet bij elkaar worden opgeteld omwille van dubbeltellingen. Figuur 39 geeft dit grafisch weer.

Tabel 31: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse residentiele sector

Geotechniek	Primaire energiebesparing per type geotechniek (MWhp/jaar)	Primaire energiebesparing BHG (MWhp/jaar)	Procentuele primaire brandstof besparing (% brandstof)
KWO (TECH-1)	-	-	-
Grondwater (TECH-2)	283	13.885	0,15%
Hor ww (TECH-3)	7	1.907	0,02%
BEO (TECH-4)	-	-	-
Ver ww (TECH-5)	87	17.898	0,20%
EP (TECH-6)	-	-	-
Grondbuis (TECH-7)	5	911	0,01%

Uit de tabel blijkt dat het grootste technisch potentieel voor de residentiele sector in het BHG de techniek met verticale bodemwarmtewisselaars (TECH-5) zijn gevolgd door de techniek

met grondwater (TECH-2). Appartementen nemen het grootste potentieel voor hun rekening. Bij deze berekening is rekening gehouden met het feit dat de grondwatertechniek niet in alle delen van Brussel kan toegepast worden en met het verschil dat bij verticale bodemwarmtewisselaars de bodem matig tot zeer geschikt is.



Figuur 39: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele residentiële Brusselse sector

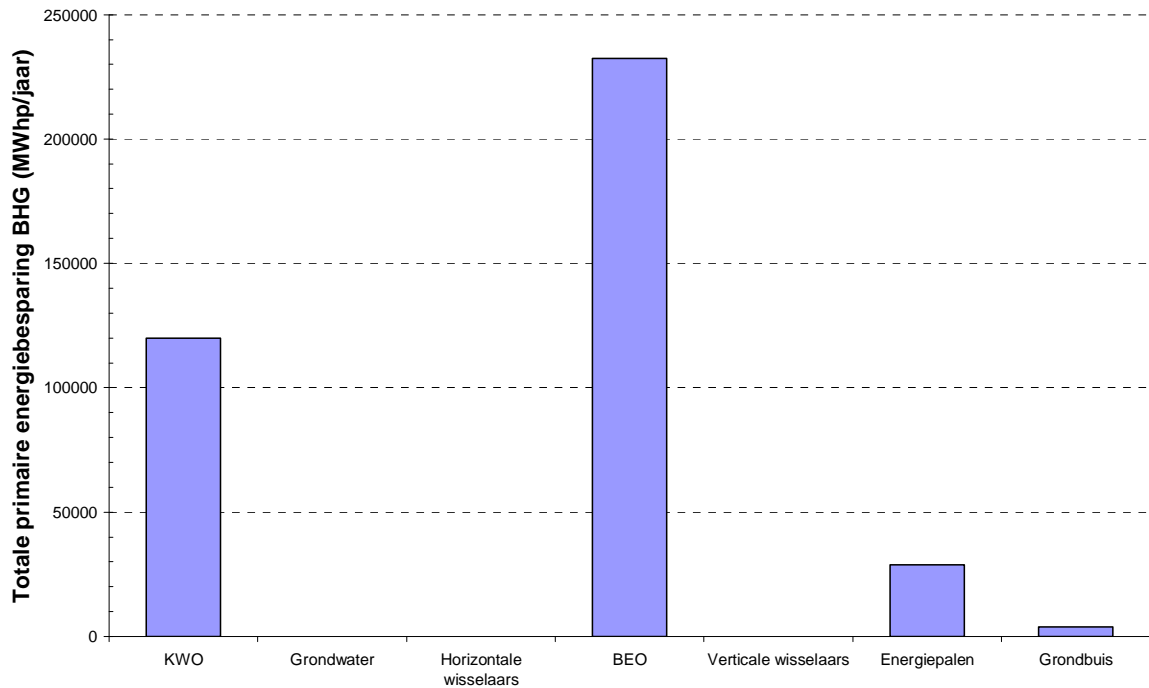
6.4.2 Tertiaire sector

Tabel 32 toont de primaire energiebesparing per geotechniek. De vermelde potentiëlen per geotechniek mogen niet bij elkaar worden opgeteld omwille van dubbelstellingen.

Tabel 32: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector

Geotechniek	Primaire energiebesparing per type geotechniek (MWhp/jaar)	Primaire energiebesparing BHG (MWhp/jaar)	Procentuele primaire brandstof besparing (% brandstof)
KWO (TECH-1)	4.938	119.890	2,8%
Grondwater (TECH-2)	-	-	-
Hor ww (TECH-3)	-	-	-
BEO (TECH-4)	4.848	232.305	5,3%
Ver ww (TECH-5)	-	-	-
EP (TECH-6)	840	28.851	0,7%
Grondbuis (TECH-7)	35	3.907	0,1%

In de tertiaire sector neemt de BEO techniek (TECH-4) het grootste technisch potentieel in gevolgd door de KWO techniek (TECH-1). Er kan ongeveer 5% van de primaire energie (enkel brandstof) bespaard worden door het toepassen van de BEO techniek in de tertiaire sector. Grote kantoren nemen van dit totaal technisch potentieel het grootste gedeelte in. Figuur 40 geeft dit grafisch weer.



Figuur 40: Extrapolatie technisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector

7 TAAK 5 – 6: ECONOMISCHE RENDABILITEIT EN POTENTIEEL

7.1 Inleiding

Op basis van het technisch potentieel en met behulp van de aannames uit paragraaf 4.6 wordt het economisch potentieel en economische kengetallen voor de verschillende geotechnieken en referentiegebouwen bepaald.

Er wordt bij de bepaling van het economisch potentieel geen rekening gehouden met de eventueel mogelijke subsidies en/of fiscale belastingsvoordelen. De mate van subsidie zal uiteraard het economisch potentieel beïnvloeden. De studie kan dan ook als uitgangspunt worden gebruikt voor het opzetten van een subsidieregeling voor geotechnieken in het BHG. Ook wordt er in deze studie geen rekening gehouden met CO₂ certificaten of met de wijze van financiering van de investering via privaat publieke samenwerking (PPS) of met leningen, derde partij financiering, groene lening, ... Ook dit zal een invloed hebben op het economisch potentieel en op de specifieke kengetallen.

Op basis van het technisch potentieel per type referentiegebouw wordt een economisch potentieel voor de gehele Brusselse gebouwenmarkt bepaald rekening houdend met een zo realistisch mogelijke aantal realisaties.

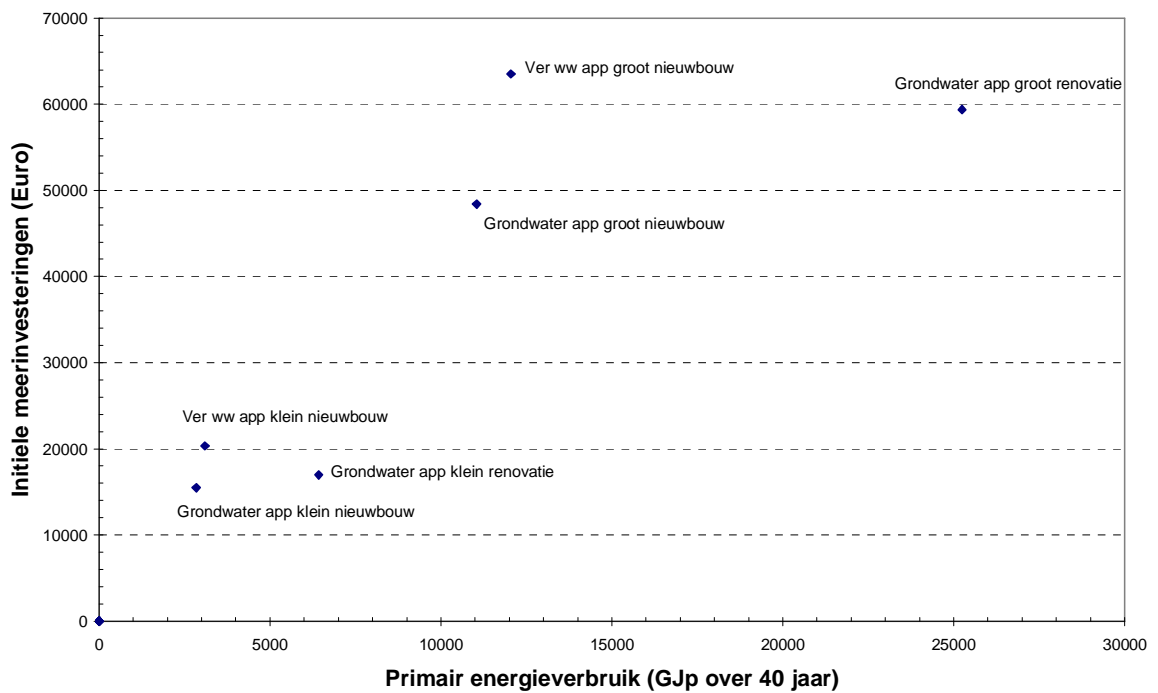
Om de invloed van de aannames uit de paragrafen 4.5 en 4.6 te analyseren worden verschillende scenario's berekend. Tenzij anders vermeld worden alle grafieken van de totale actuele kost weergegeven voor het economische scenario met actualisatievoet van 4,5% en stijging van de energieprijzen met 2,1% per jaar en een inflatie van 2% per jaar. Alle investerings-, onderhouds-, energie- en totale actuele kost worden voor de residentiële sector weergegeven inclusief het geldende BTW tarief (6% voor renovatie en 21% voor nieuwbouw investeringen, andere kosten 21%). Voor de tertiaire sector wordt geen BTW tarief gerekend.

Voor de leesbaarheid van het rapport worden de grafieken voor de appartementen, woningen, kantoren, winkels en ziekenhuizen/tehuizen apart in bijlage 2 en 3 weergegeven. De auteurs van de studie willen erop wijzen dat de initiële meerinvesteringen weergegeven in dit rapport sterk kunnen wijzigen door lokale geologische omstandigheden, projectgebonden specificaties, ... en dus eerder als richtinggevend dienen beschouwd te worden.

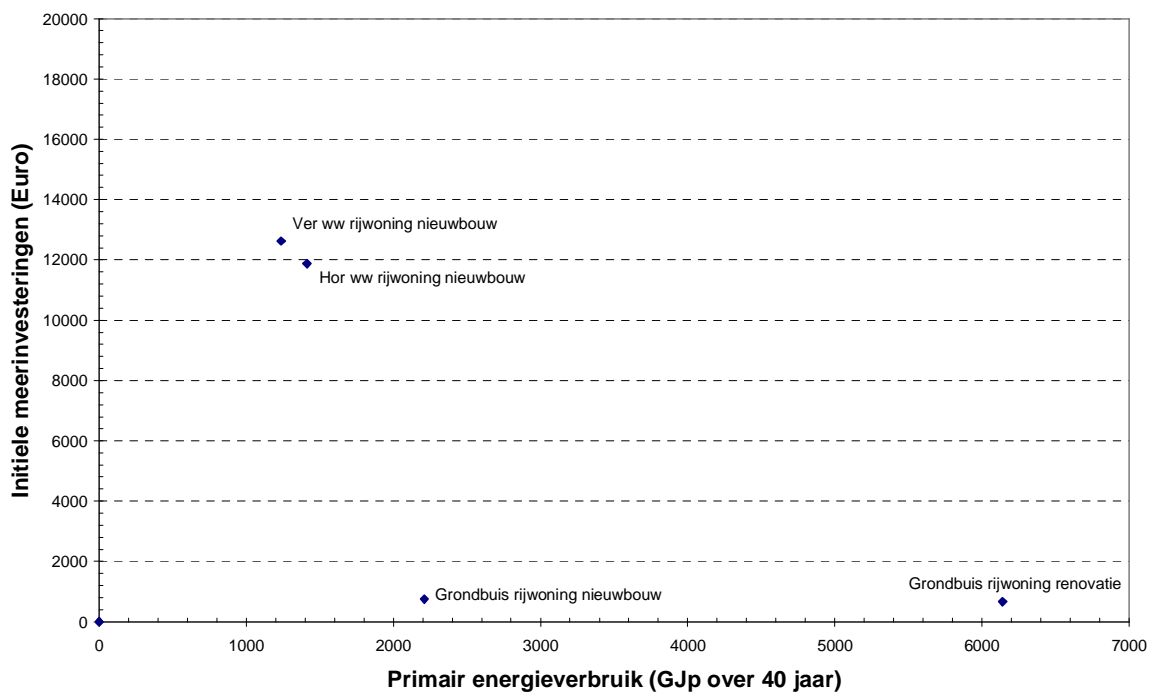
7.2 Potentieel residentiële sector

7.2.1 Initiële meerinvesteringen en primaire energieverbruik

Figuur 41 toont de initiële meerinvesteringen versus het primaire energieverbruik over de totale levensduur van de installatie (40 jaar) voor de verschillende geotechnieken in de appartementen. Figuur 42 toont dezelfde grafiek voor de woningen.



Figuur 41: Appartementen : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur



Figuur 42: Woningen : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur

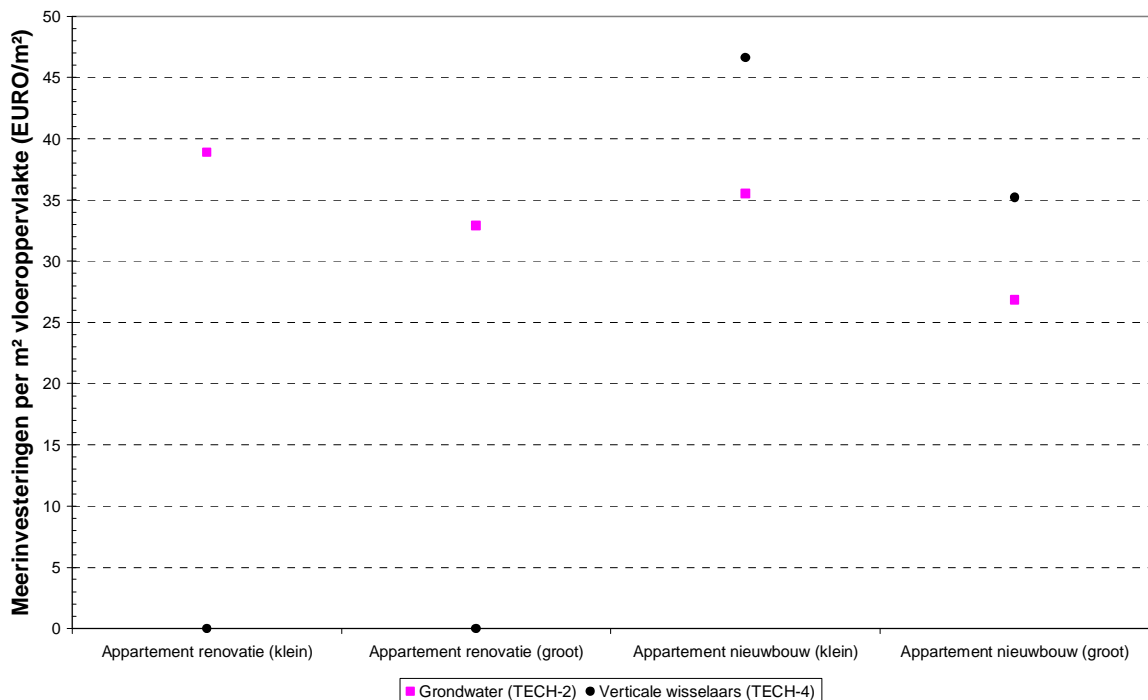
Voor de appartementen wordt het laagste primaire energieverbruik over de levensduur van de installatie bekomen voor de kleinere appartementen. Deze laatste hebben ook de laagste initiële meerinvesteringen wat logisch is en deze situeert zich tussen 15.000 en 20.000 Euro

per project. Verticale bodemwarmtewisselaars hebben een grotere initiële meerinvesteringen (ongeveer 65.000 Euro/project voor grote nieuwbouw appartementen). Bij grote appartementen vraagt een grondwatersysteem de minste meerinvesteringen maar kan niet overal in Brussel worden toegepast.

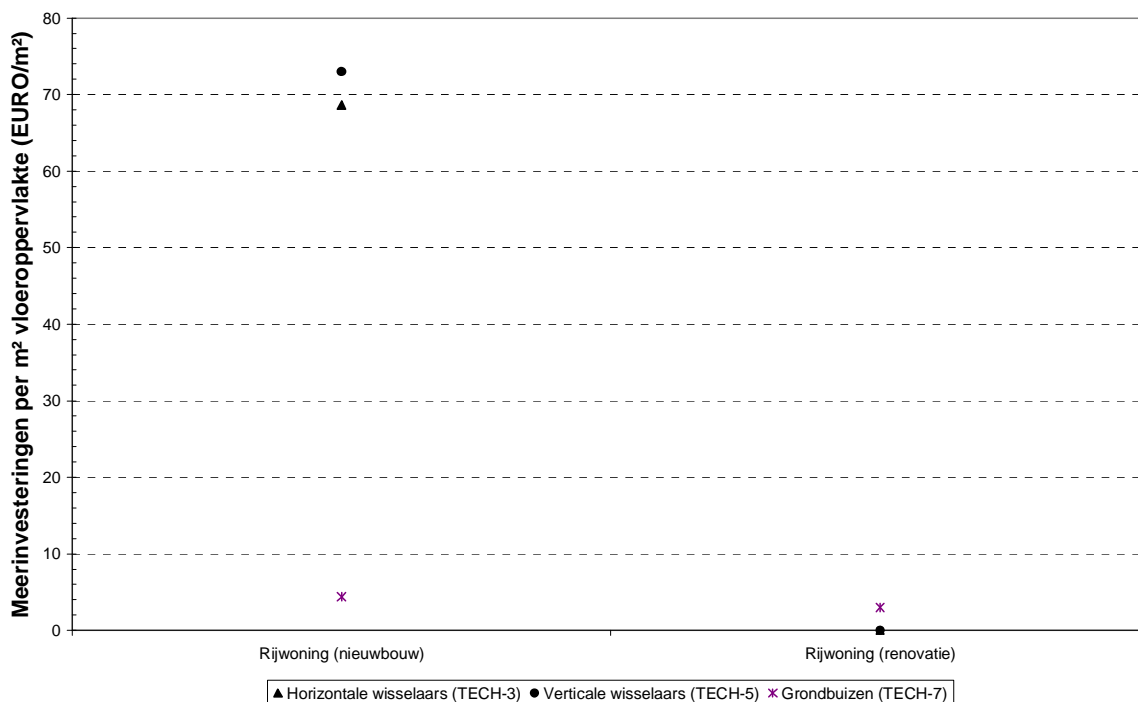
Voor de woningen vragen de grondbuizen de minste initiële meerinvesteringen (ongeveer 800 Euro) maar uit vorige paragrafen weten we dat hun bijdrage in de warmtevoorziening eerder beperkt is. In deze meerinvesteringen is niet de benodigde luchtgroep of ventilatie-unit inbegrepen daar deze in beide situaties (referentie en geotechniek) als reeds aanwezig wordt beschouwd. Verticale en horizontale bodemwarmtewisselaars in combinatie met een warmtepomp vragen een meerinvestering van ongeveer 12.000 Euro per project. Verticale bodemwarmtewisselaars zijn iets duurder dan horizontale maar hebben belangrijke voordelen zoals beperkte grondoppervlakte nodig, hoger rendement, ...

7.2.2 Meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte

Figuur 43 toont de totale meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte voor de appartementen voor de verschillende geotechnieken. Figuur 44 toont dezelfde grafiek voor de woningen.



Figuur 43: Appartementen : meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken



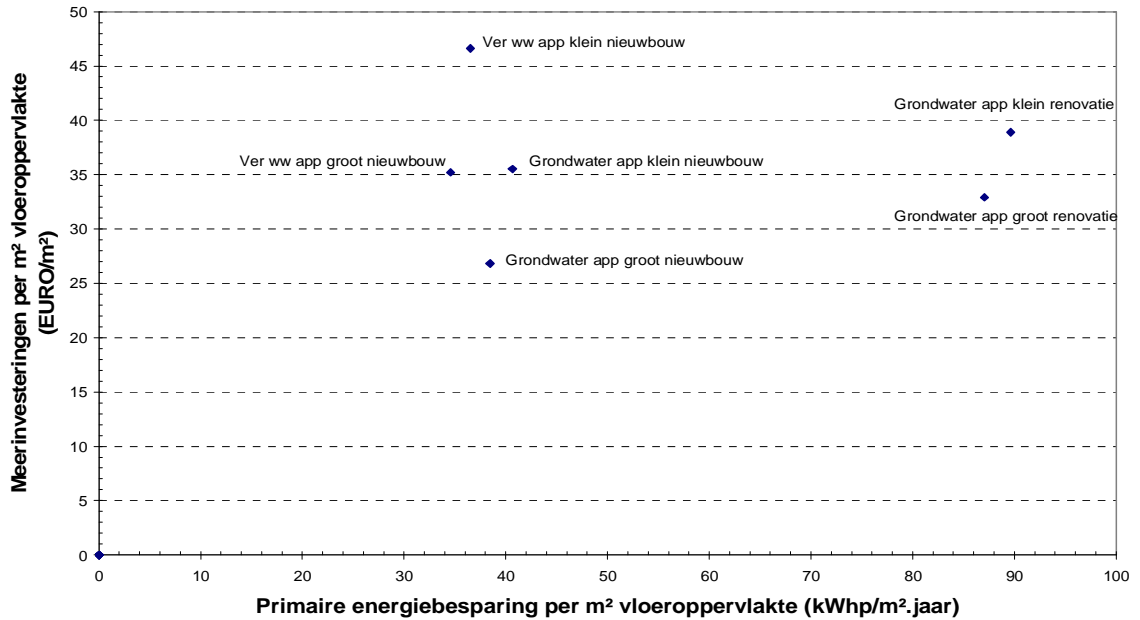
Figuur 44: Woningen : meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken

Bij renovaties zijn hogere investeringskosten per m² verwarmde vloeroppervlakte nodig dan bij nieuwbouw wat logisch is. Hier staat echter een grotere gerealiseerde primaire energiebesparing tegenover. Voor de appartementen vraagt de BEO techniek (TECH-4) een hogere investering dan de grondwater techniek (TECH-2). Deze laatste is echter niet overal in Brussel toepasbaar. Een gemiddelde meerinvestering van 30 Euro per m² verwarmde vloeroppervlakte is voor deze technieken nodig.

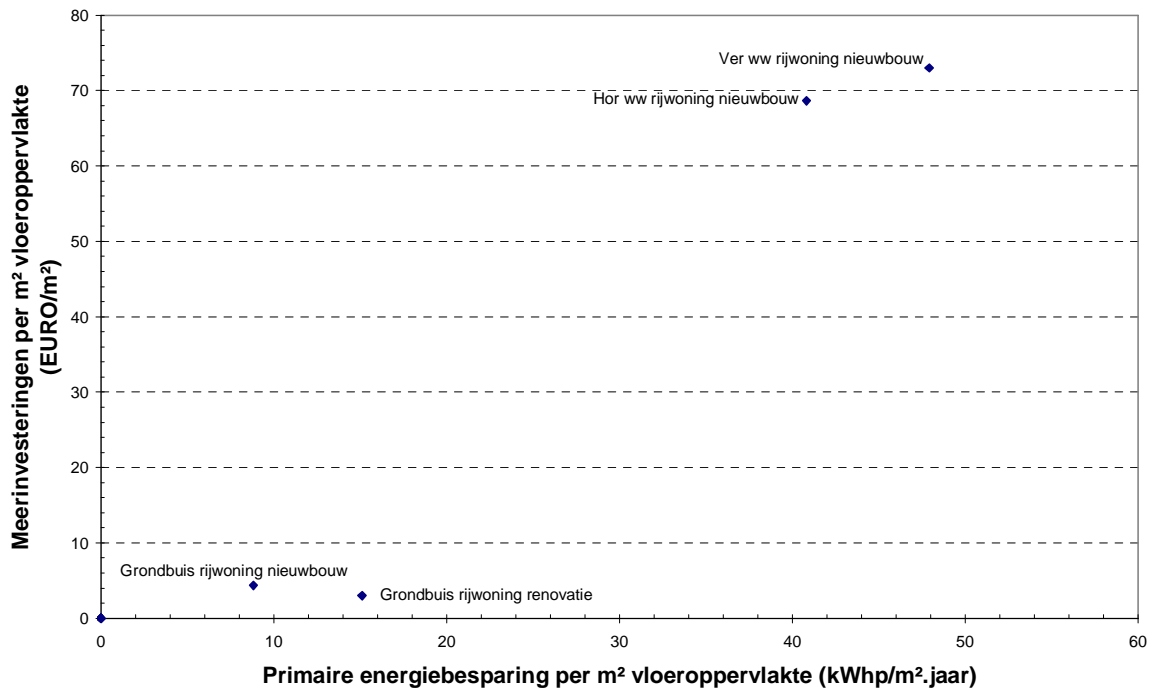
Voor de woningen vraagt een grondbuis (TECH-7) de laagste investering per m² verwarmde vloeroppervlakte maar de primaire energiebesparing is dan ook klein. De integratie van een warmtepomp met verticale (TECH-5) of horizontale bodemwarmtewisselaars (TECH-3) vraagt een specifieke meerinvestering van ongeveer 70 Euro per m². Dit is een vrij hoge waarde in vergelijking met de appartementen (factor 2,3 lager). Isolatiemaatregelen in woningen vormen nog altijd eerst de beste keuze. Verticale warmtewisselaars zijn iets duurder dan horizontale maar die laatste hebben veel meer grondoppervlakte nodig wat niet altijd voorhanden is in het Brussels.

7.2.3 Meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte

Figuur 45 toont de meerinvesteringen versus de jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte voor de verschillende geotechnieken in de appartementen. Figuur 46 toont dezelfde grafiek voor de woningen.



Figuur 45: Appartementen : meerinvesteringen versus jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte



Figuur 46: Woningen : meerinvesteringen versus jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte

Voor de appartementen wordt de hoogste primaire energiebesparing per m² verwarmde vloeroppervlakte gerealiseerd door de grondwater systemen voor renovatieprojecten. Verticale bodemwarmtewisselaars vragen en hogere meerinvestering.

Voor de woningen bemerken we dat een lage specifieke investeringskost nodig is voor grondbuizen maar dat de primaire energiebesparing laag is. In vergelijking met horizontale of verticale bodemwarmtewisselaars besparen deze een factor 3 maal meer primaire energie per m² dan grondbuizen.

7.2.4 Samenvatting

Tabel 33 toont voor de appartementen en woningen de initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte voor de verschillende toepasbare geotechnieken.

Tabel 34 tot en met Tabel 38 tonen respectievelijk het intern rendement, de totale actuele kost per bespaarde primaire energie, de totale actuele kost per bespaarde ton CO₂, de statische en dynamische terugverdientijd.

Tabel 33: Initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte (in EURO/m²)

ID gebouw	ID TECHNIK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	39	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	33	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	36	-	-	47	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	27	-	-	35	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	69	-	73	-	4
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	3

Tabel 34: Intern rendement (in %)

ID gebouw	ID TECHNIK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	3	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	4	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	1	-	-	< 1	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	1	-	-	1	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	< 1	-	< 1	-	4
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	18

Tabel 35: Totale actuele kost per bespaarde primaire energie (in EURO/kWhp)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	0,1	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	0,1	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	0,1	-	-	0,2	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	0,1	-	-	0,2	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	0,1	-	0,1	-	0,5
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	0,5

Tabel 36: Totale actuele kost per bespaarde ton CO₂ (in EURO/ton CO₂)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	173	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	164	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	250	-	-	286	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	220	-	-	251	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	267	-	250	-	1278

Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	1878
-------	---------------------------------	---	---	---	---	---	---	------

Tabel 37: Statische terugverdientijd (in jaar)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepalen	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	19	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	15	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	> 20	-	-	> 20	-	-
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	> 20	-	-	> 20	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	> 20	-	> 20	-	18
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	5

Tabel 38: Dynamische terugverdientijd (in jaar)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepalen	TECH 7 Grondbuizen
Res 1	Appartement renovatie (klein)	-	> 20	-	-	-	-	-
Res 2	Appartement renovatie (groot)	-	19	-	-	-	-	-
Res 3	Appartement nieuwbouw (klein)	-	> 20	-	-	> 20	-	-

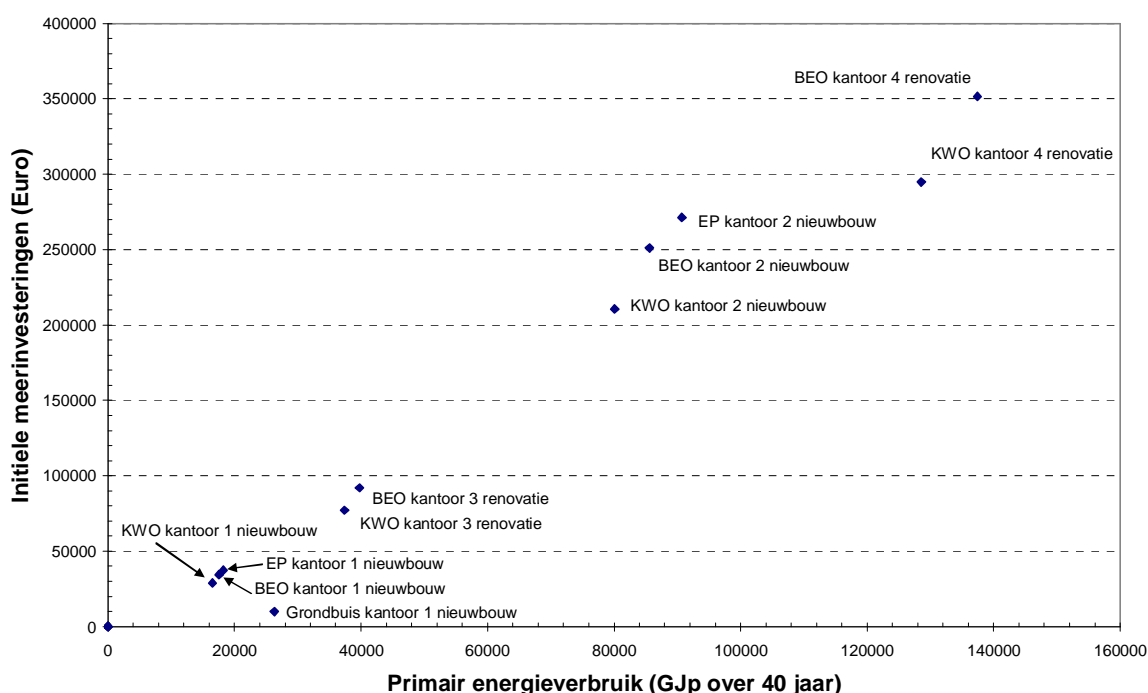
Res 4	Appartement nieuwbouw (groot)	-	> 20	-	-	> 20	-	-
Res 5	Rijwoning modern (nieuwbouw)	-	-	> 20	-	> 20	-	> 20
Res 6	Rijwoning herenhuis (renovatie)	-	-	-	-	-	-	4

7.3 Potentieel tertiaire sector

Voor de leesbaarheid van het rapport worden in deze paragraaf enkel de grafieken weergegeven voor de 4 referentie kantoren. Grafieken voor de ziekenhuizen/tehuizen en winkels worden in bijlage weergegeven. De samenvattende tabellen aan het eind van deze paragraaf zijn voor alle referentiegebouwen opgenomen.

7.3.1 Initiële meerinvesteringen en primaire energieverbruik

Figuur 41 toont de initiële meerinvesteringen versus het primaire energieverbruik over de totale levensduur van de installatie (40 jaar) voor de verschillende geotechnieken in de kantoren.

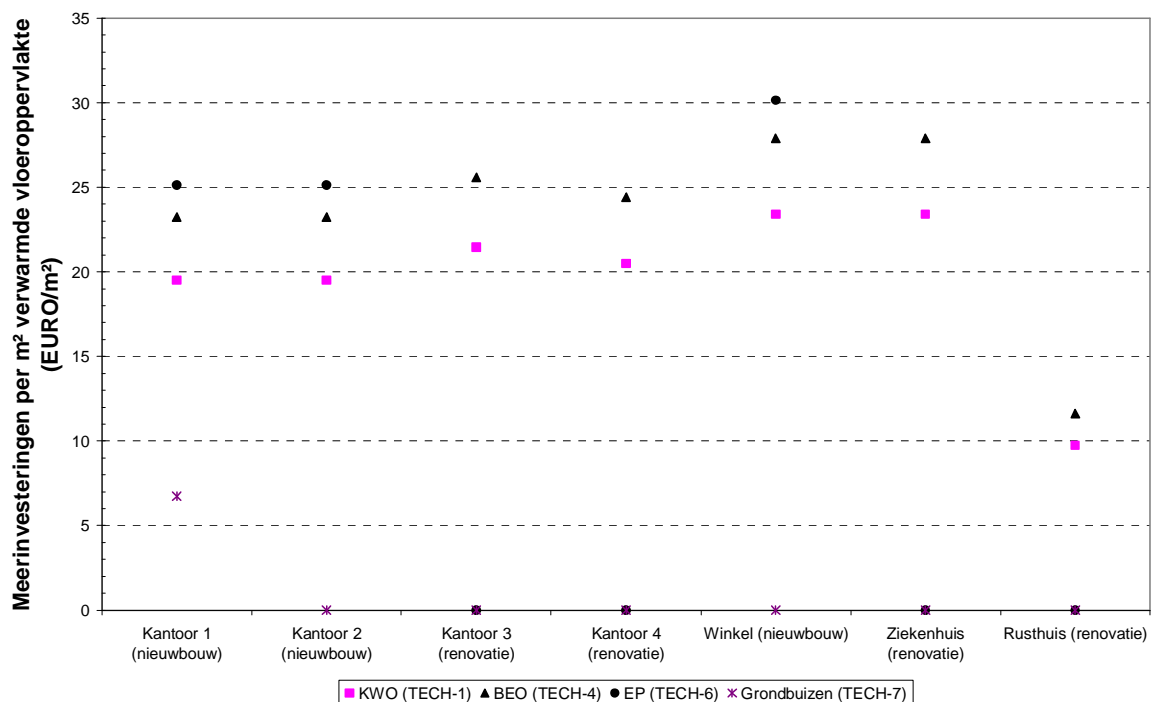


Figuur 47: Kantoren : initiële meerinvesteringen versus primair energieverbruik over totale levensduur

De laagste initiële meerinvestering en primaire energieverbruik wordt gerealiseerd in kantoorgebouw 1 door het gebruik van grondbuizen. Grondwatersystemen zijn goedkoper dan BEO of EP systemen. De hoogste initiële meerinvestering is voor kantoor 4 met KWO of BEO (300.000 – 350.000 Euro). Tot en met kantoor 3 (tot 4.000 m²) is een gemiddelde meerinvestering van 100.000 Euro per project nodig voor de realisatie van geotechnieken.

7.3.2 Meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte

Figuur 43 toont de totale meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte voor de verschillende referentiegebouwen met de verschillende geotechnieken.

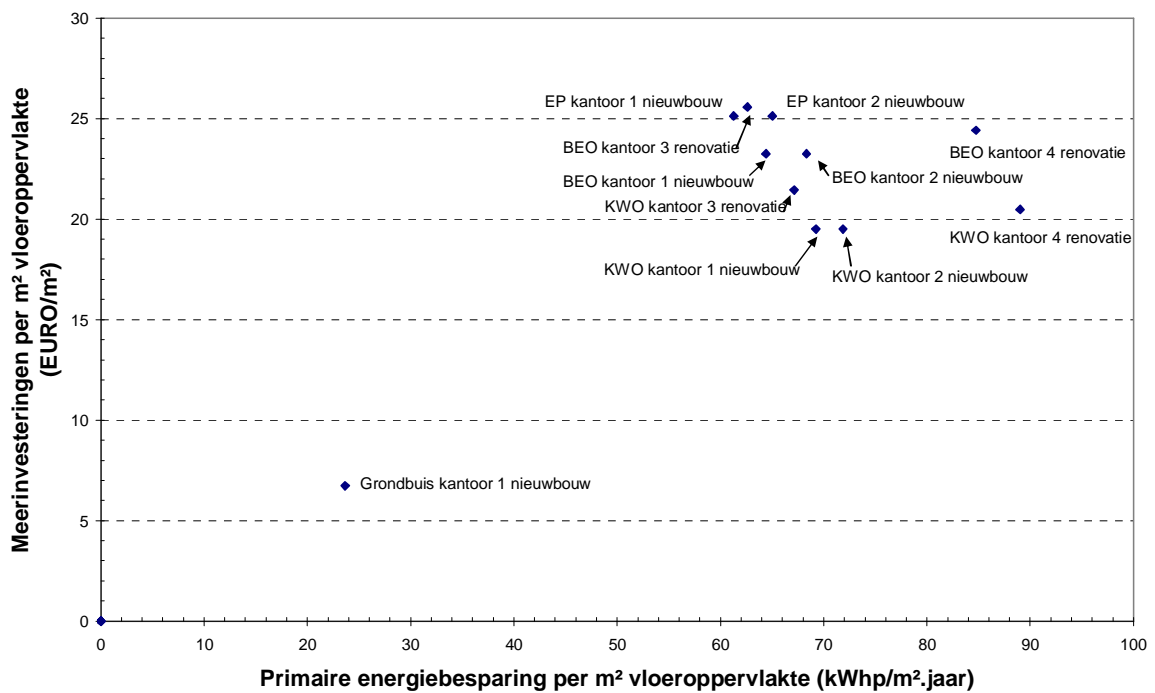


Figuur 48: Meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken

Voor de kantoren vraagt de integratie van verticale bodemwarmtewisselaars (TECH-4) gekoppeld aan een warmtepomp een gemiddelde meerinvestering van 24 EURO per m² vloeroppervlakte. KWO systemen in dezelfde kantoren vraagt een investering van ongeveer 20 Euro per m²; een iets lagere meerinvestering. In kantoor 1 vraagt de grondbuis een specifieke meerinvestering van ongeveer 7 Euro per m². De meerinvesteringen liggen in dezelfde lijn voor de winkels maar zijn een stukje duurder. Ziekenhuizen en vooral rusthuizen vragen een lager specifieke investering voor geotechnieken en zijn da,n ook de sector waar dit veelvuldig kan toegepast worden vanwege de continue warmte en koudevraag.

7.3.3 Meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte

Figuur 45 toont de meerinvesteringen versus de jaarlijkse primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte voor de verschillende geotechnieken in de kantoren.



Figuur 49: Kantoren: meerinvesteringen en primaire energiebesparing per m² vloeroppervlakte van verschillende geotechnieken

Meerinvesteringen voor de kantoren in geotechnieken ligt tussen de 19 en 26 Euro per m² verwarmde vloeroppervlakte. Dit geeft een primaire energiebesparing van ongeveer 60 tot 90 kWhp/m².jaar. De grondbuis genereert een primaire energiebesparing van ongeveer 25 kWhp/m² met een meerinvestering van 7 Euro per m². De hoogste meerinvesteringen zijn voor projecten met energiepalen.

7.3.4 Samenvatting

Tabel 39 toont voor de kantoren, ziekenhuizen/tehuizen en winkels de initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte voor de verschillende toepasbare geotechnieken.

Tabel 40 tot en met Tabel 44 tonen respectievelijk het intern rendement, de totale actuele kost per bespaarde primaire energie, de totale actuele kost per bespaarde ton CO₂, de statische en dynamische terugverdientijd.

Intern rendement

Het intern rendement van KWO systemen ligt iets hoger dan BEO systemen vanwege de iets lagere investering en dito relatief hogere opbrengst en komt uit op een range van 4 tot 19% wat een zeer goede waarde is. Voor de BEO systemen geeft dit een intern rendement van 2 tot 12%. Het gebruik van energiepalen haalt het laagste intern rendement van de geotechnieken. Grondbuizen geven in de kleine kantoren toch nog een intern rendement van 9%.

Totale actuele kost per bespaarde primaire energie

Bekijken we de totale actuele kost van de verschillende geotechnieken rekening houdend met de investeringen, herinvesteringen (bij vervanging na de levensduur), de energie -en onderhoudskosten dan komen we bij alle geotechnieken uit op een daling van de totale actuele kost over de levensduur m.a.w. een investering in geotechnieken in de tertiaire sector geeft in elk geval aanleiding tot een verminderde uitgave tijdens de levensduur van het project. Dit staat in contrast met een initiële hogere investeringskost maar door het goede rendement van warmte- en koudeproductie van deze geotechnieken wordt de investering binnen aanvaardbare tijd terugverdiend. Globaal is de totale actuele kost van de geotechnieken 6 tot 18% lager dan de referentie-installatie.

Statische terugverdientijd

Indien we geen rekening houden met de tijdswaarde van het geld bedraagt de statische terugverdientijd van KWO systemen in de tertiaire sector tussen 5 en 18 jaar. De lagere terugverdientijd kan behaald worden in kantoren de hogere is van toepassing op winkels. Ziekenhuizen en rusthuizen geven een terugverdientijd onder de 10 jaar. Voor BEO systemen varieert de terugverdientijd van 7 tot meer dan 20 jaar. Ook hier komen ziekenhuizen en rusthuizen onder de 10 jaar uit. Energiepalen hebben een hogere terugverdientijd (12 tot meer dan 20 jaar).

Tabel 39: Initiële meerinvesteringen per m² verwarmde vloeroppervlakte (in EURO/m²)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepalen	TECH 7 Grondbuizen
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	20	-	-	23	-	25	7
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	20	-	-	23	-	25	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	21	-	-	26	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	20	-	-	24	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	23	-	-	28	-	30	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	23	-	-	28	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	10	-	-	12	-	-	-

Tabel 40: Intern rendement (in %)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepalen	TECH 7 Grondbuizen
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	8	-	-	6	-	5	9
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	10	-	-	7	-	6	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	7	-	-	5	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	12	-	-	9	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	4	-	-	2	-	2	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	10	-	-	9	-	-	-

Ter 7	Rusthuis (renovatie)	19	-	-	12	-	-	-
-------	----------------------	----	---	---	----	---	---	---

Tabel 41: Totale actuele kost per bespaarde primaire energie (in EURO/kWhp)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	0,02	-	-	0,01	-	0,01	0,02
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	0,02	-	-	0,02	-	0,02	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	0,02	-	-	0,01	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	0,02	-	-	0,02	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	0,01	-	-	0,00	-	0,00	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	0,02	-	-	0,02	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	0,01	-	-	0,01	-	-	-

Tabel 42: Totale actuele kost per bespaarde ton CO₂ (in EURO/ton CO₂)

ID gebouw	ID TECHNIEK GEOTECHNIEKEN	Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
		TECH -1 KWO	TECH 2 Onttrekking	TECH 3 Onttrekking	TECH 4 BEO	TECH 5 Onttrekking	TECH 6 Energiepale n	TECH 7 Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	83	-	-	69	-	58	100
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	130	-	-	116	-	102	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	79	-	-	64	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	144	-	-	132	-	-	-

Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	32	-	-	16	-	5	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	67	-	-	68	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	43	-	-	33	-	-	-

Tabel 43: Statische terugverdientijd (in jaar)

		Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
ID gebouw	ID TECHNIEK	TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
	GEOTECHNIEKEN	KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	10	-	-	12	-	14	9
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	9	-	-	11	-	12	-
Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	11	-	-	14	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	7	-	-	9	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	18	-	-	> 20	-	> 20	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	8	-	-	9	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	5	-	-	7	-	-	-

Tabel 44: Dynamische terugverdientijd (in jaar)

		Hydrothermie						Aërothermie
		Open systemen		Gesloten systemen				lucht - bodem
		Grondwater		Horizontale wisselaars	Verticale wisselaars			
ID gebouw	ID TECHNIEK	TECH -1	TECH 2	TECH 3	TECH 4	TECH 5	TECH 6	TECH 7
	GEOTECHNIEKEN	KWO	Onttrekking	Onttrekking	BEO	Onttrekking	Energiepale n	Grondbuize n
Ter 1	Kantoor 1 (nieuwbouw)	7	-	-	10	-	12	9
Ter 2	Kantoor 2 (nieuwbouw)	11	-	-	15	-	18	-

Ter 3	Kantoor 3 (renovatie)	7	-	-	10	-	-	-
Ter 4	Kantoor 4 (renovatie)	10	-	-	14	-	-	-
Ter 5	Winkel (nieuwbouw)	20	-	-	> 20	-	> 20	-
Ter 6	Ziekenhuis (renovatie)	8	-	-	9	-	-	-
Ter 7	Rusthuis (renovatie)	4	-	-	7	-	-	-

7.4 Extrapolatie naar gehele Brusselse sector

Het economisch potentieel per type gebouw en per type geotechniek uit de vorige paragraaf wordt nu berekend voor het gehele Brusselse gebouwenbestand in de tertiaire sector. Zoals bij de extrapolatie van het technisch potentieel wordt ook bij het economisch potentieel rekening gehouden met een realistische schatting van het aantal mogelijke geothermie projecten in Brussel. Dit blijft een indicatie en geen exacte waarde.

7.4.1 Residentiele sector

Tabel 45 toont het economisch potentieel voor de gehele Brusselse residentiele sector naar meerinvesteringen en exploitatiekostenbesparing.

Tabel 45: Extrapolatie economisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse residentiele sector

Geotechniek	Meerinvesteringen per type gebouw (kEURO)	Totale meerinvesteringen BHG (kEURO)	Totale exploitatiebesparing BHG (kEURO/jaar)
KWO (TECH-1)	-	-	-
Grondwater (TECH-2)	23	1276	47
Hor ww (TECH-3)	12	3206	19
BEO (TECH-4)	-	-	-
Ver ww (TECH-5)	16	3363	35
EP (TECH-6)	-	-	-
Grondbuis (TECH-7)	1	152	15

7.4.2 Tertiaire sector

Tabel 46 toont het economisch potentieel voor de gehele Brusselse residentiele sector naar meerinvesteringen en exploitatiekostenbesparing.

Tabel 46: Extrapolatie economisch potentieel geotechnieken gehele Brusselse tertiaire sector

Geotechniek	Meerinvesteringen per type gebouw (kEURO)	Totale meerinvesteringen BHG (kEURO)	Totale exploitatiebesparing BHG (kEURO/jaar)
KWO (TECH-1)	165	4506	534
Grondwater (TECH-2)	-	-	-
Hor ww (TECH-3)	-	-	-
BEO (TECH-4)	196	10887	1030
Ver ww (TECH-5)	-	-	-
EP (TECH-6)	113	3682	278
Grondbuis (TECH-7)	10	1112	126

8 TAAK 7 : WETTELIJKE CONTEXT

8.1 Inleiding

De realisatie van energieopslagprojecten heeft vaak meer om handen dan enkel een “grondwaterwetgeving”. Andere richtlijnen, wetgevingen omtrent bouwvergunningen, gemeentelijke of provinciale wetgevingen, specifieke noden van vergunningsverlenende instanties, ... spelen samen een rol in het ontwerpproces en zijn soms samen van belang. Dit maakt dat dergelijke projecten soms letterlijk in het water vallen wegens de ondoorgrondelijkheid van wetteksten, richtlijnen en de complexiteit ervan (lees het administratieve werk).

Een toekomstige wetgeving rond energieopslagprojecten moet de gebruikers toelaten op een zo gestructureerde manier een vergunning te kunnen aanvragen en het gehele proces op een zo snel mogelijke manier te kunnen doorlopen zonder dat de wetgeving een rem of hinder dient te zijn voor het gehele bouwproces.

In dit hoofdstuk worden de voornaamste fragmenten uit de binnen- en buitenlandse wetgeving omtrent open en gesloten hydrothermieprojecten toegelicht. Er worden richtlijnen uitgewerkt waarop de toekomstige Brusselse wetgeving rond geothermische projecten kan gebaseerd worden, dit voor de specifieke noden van het BHG. In deze taak wordt ook weergegeven welke parameters bij een milieuvergunning dienen toegevoegd te worden.

8.2 Vlaamse wetgeving

In Vlaanderen is de toepassing van geothermie projecten onderworpen aan een Vlarem milieuvergunning. Vlarem 1 bepaalt de vergunningsplicht (melding of vergunning) en de klasse van de vergunning (klasse 1, 2 of 3) en Vlarem 2 bepaalt welke milieuvorwaarden er gesteld worden aan deze inrichtingen. (<http://www.emis.vito.be>)

Voor klasse 1 en 2 is een vergunningsplicht nodig, voor klasse 3 enkel een melding bij de gemeente waar de werken worden uitgevoerd. Een klasse 1 milieuvergunning wordt aangevraagd bij de bestendige deputatie van de provincieraad en voor klasse 2 bij gemeente waar de werken worden uitgevoerd. Er dient rekening gehouden te worden bij het ontwerpproces naar de termijnen van goedkeuring vermits geen enkel werk mag starten zonder milieu- en/of bouwvergunning. De Vlarem wetgeving wordt opgedeeld voor open (grondwater) en gesloten systemen (bodemwarmtewisselaars). Een warmtepomp met verticale bodemwarmtewisselaars valt dus onder een milieuvergunning (afhankelijk van warmtepompvermogen en diepte van de bodemwarmtewisselaars (boven de 50 m).

8.2.1 Open systemen

Voor het onttrekken (en al dan niet) infiltreren van grondwater is een milieuvergunning vereist in het kader van Vlarem. Volgende Vlarem 1 rubrieken zijn van toepassing voor open systemen:

Rubrieken (Vlarem 1)

Vlarem I rubriek 53.6

Boren van grondwaterwinningputten en grondwaterwinning die gebruikt wordt voor koudewarmtepompen, met inbegrip van terugpompingen, met een opgepompt debiet van :

** Minder dan 30.000 m³/jaar: klasse 2*

** Ten minste 30.000 m³/jaar: klasse 1*

Wanneer het geen gesloten systeem betreft (als niet al het opgepompte grondwater wordt terug geïnjecteerd):

Vlarem I rubriek 53.8

Boren van grondwaterwinningputten en grondwaterwinning, andere dan deze bedoeld in rubriek 53.1 tot en met 53.7, met een opgepompt debiet :

1° van minder dan 500 m³/jaar: klasse 3

2° van 500 m³/jaar tot 30.000 m³/jaar: klasse 2

3° van 30.000 m³/jaar of meer: klasse 1

en Vlarem I rubriek 54.1

Het kunstmatig aanvullen van grondwater op directe wijze (via geboorde putten) klasse 1 of Vlarem I rubriek 54.2 Het kunstmatig aanvullen van grondwater op indirecte wijze (via waterbekkens of vijvers) klasse 1.

Milieuvoorwaarden (Vlarem 2)

Voor de milieuvoorwaarden zijn volgende relevante hoofdstukken uit Vlarem 2 van belang.

Vlarem II hoofdstuk 5.53.6.2.1

Grondwateronttrekkingen zijn verboden in een beschermingszone van het type I of II van grondwaterwinningen bestemd voor openbare watervoorziening. Om te kijken of deze rubriek voor uw grondwaterwinning van toepassing is kan de website met webadres <http://dov.vlaanderen.be> geraadpleegd worden. Deze website bevat niet alle grondwaterwinningen in Brussel vermits een aantal geen vergunning hebben of niet geregistreerd werden. Het is nuttig om een dergelijk instrument op te zetten voor het beheer van grondwateronttrekkingen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Vlarem II hoofdstuk 5.53.2

De onttrekkings- en infiltratiefilters moeten in dezelfde watervoerende laag zitten, aangezien geen verschillende grondwaterlagen met elkaar in verbinding gebracht mogen worden. Met dezelfde watervoerende laag wordt hier zowel fysisch (dus geen scheidende laag tussen) als chemisch (denk aan zoet en zout water of ijzerrijk en ijzerarm water) dezelfde laag bedoeld. Om die reden moeten er kleistoppen voorzien worden ter hoogte van de scheidende lagen of cementering tussen de ingebrachte buizen en de wand van het boorgat. Daarnaast moet er ook voor elke filter een peilbuis in het betreffende deel van de watervoerende laag zitten, zodat een peilmeting kan uitgevoerd worden.

Vlarem II hoofdstuk 5.53.3

Er moet een debietsmeting worden geplaatst zodat het opgepompte volume getotaliseerd kan worden. De meters moeten voldoen aan de eisen zoals die in dit hoofdstuk vermeld staan. Er

moeten minstens twee debietmeters geplaatst worden, zodat het netto opgepompte vermogen kan bepaald worden, nl. één op de onttrekkingsfilter en één op de infiltratiefilter.

Heffingen

Een *aantal oppompingen van grondwater is evenwel vrijgesteld van heffing*. Het zijn oppompingen waarvoor in het kader van rationeel watergebruik niet direct alternatieve oplossingen voorhanden zijn (uit: het Belgisch Staatsblad (35239) van 30.12.1997 en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 19/12/1997. Decreet houdende bepalingen tot begeleiding van de begroting 1998 - Hoofdstuk IV. - Leefmilieu; Afdeling 4. - Grondwater):

- water dat met een handpomp wordt opgepompt
- water aangewend voor huishoudelijk gebruik
- water afkomstig van bronbemalingen op voorwaarde dat het water teruggebracht wordt in dezelfde watervoerende laag.

Art.21. In het artikel 28ter van het decreet van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake het grondwaterbeheer, ingevoegd bij decreet van 20 december 1996, worden de volgende wijzigingen aangebracht: 2° aan § 2 worden een 5°, 6°, 7° 8° en 9° toegevoegd, die luiden als volgt:

"8° grondwaterwinningen die gebruikt worden voor koude-waterpompen, op voorwaarde dat het grondwater na doorstroming van de koude-waterpomp integraal terug in dezelfde watervoerende laag wordt ingebracht;"

Opmerking: voor het oppompen van grondwater in het kader van een typisch geothermisch doublet, bestaan er vooralsnog geen wettelijke bepalingen of uitzonderingsmaatregelen.

8.2.2 Gesloten systemen

De installatie van gesloten systemen met verticale of horizontale bodemwarmtewisselaars zijn onderworpen aan de Vlarem wetgeving.

Rubrieken (Vlarem 1)

Voor **grond-water systemen met bodemwarmtewisselaars** is *Vlarem I rubriek 55.1* van toepassing. Verticale boringen ten behoeve van de aanleg van peilputten en voor andere doeleinden dan deze bedoeld in de rubrieken 53.54 en 55.2:

- * Tot op een diepte van 50 m t.o.v. het maaiveld : klasse 3
- * Vanaf een diepte van 50 m of meer t.o.v. het maaiveld : klasse 2

Dit betekent dat tot een diepte van 50 m enkel meldingsplicht is op standaardformulieren via de gemeente (klasse 3). Vanaf 50 m vergunningsplicht via de gemeente (klasse 2) zoals bij de water/water systemen.

Vlarem I rubriek 52

Elke directe lozing in grondwater van gevaarlijke stoffen bedoeld in de bijlage 2B bij titel I van het Vlarem, alsmede elke indirecte lozing van gevaarlijke stoffen bedoeld in lijst 1 van dezelfde bijlage, is verboden krachtens het decreet van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake het grondwaterbeheer en zijn uitvoeringsbesluiten. Elke directe lozing in

grondwater van andere dan gevaarlijke stoffen wordt beschouwd als een kunstmatige aanvulling van het grondwater.

Dezelfde rubriek stelt ook dat bij gebruik van stoffen uit bijlage 2B van Vlarem I een vergunning klasse 1 verplicht is, als een indirecte lozing tot de mogelijkheden behoort. Omdat het risico van een lekkage nooit helemaal uitgesloten kan worden, betekent dit dat een vergunning klasse 1 verplicht is als er gevaarlijke stoffen zoals bedoeld in bijlage 2B gebruikt worden in het warmtedragend medium van de bodemwarmtewisselaar.

Milieuvoorwaarden (Vlarem 2)

Vlarem II hoofdstuk 5.55.2

Het boorgat wordt boven afgedicht om verontreiniging van de grondwaterlagen te voorkomen. Het is verboden verschillende watervoerende lagen met elkaar in verbinding te brengen. Inzonderheid moeten ter hoogte van de scheidende lagen kleistoppen worden geplaatst ofwel de ruimte ter hoogte van scheidende lagen worden gecementeerd.

Wanneer het gaat om een boring met een diepte van meer dan 50 m ten opzichte van het maaiveld, bezorgt de exploitant, uiterlijk negentig dagen na het boren, de volgende gegevens aan de afdeling Water van de administratie Milieu, Natuur-, Land- en Waterbeheer :

1. het doel van de boring;
2. het boorverslag met een beschrijving van de aard van de aangeboorde lagen;
3. de geologische beschrijving van de lagen, voor zover deze bekend zijn;
4. de technische beschrijving van de uitrusting van het boorgat;
5. de diepte van het grondwater in rust na de putontwikkeling ten opzichte van het maaiveld; Bijlage 8 Deel 3, bladzijde 50
6. de maatregelen die werden getroffen ter voorkoming van verontreiniging van het leefmilieu in het algemeen en van het grondwater in het bijzonder;
7. de ligging op een kaart op schaal 1/250 met aanduiding van op het terrein waarneembare referenties.

Vlarem II hoofdstuk 5.55.3

Hierin wordt vastgelegd welke acties verplicht zijn bij het uit dienst nemen van een dergelijke boring, namelijk afdekken en desgevallend opvullen om verontreiniging te voorkomen.

8.3 Waalse wetgeving

In Wallonie is er een wetgeving die het gebruik van grondwater en het gebruik van natuurlijke rijkdommen (oa. de bodem) aan banden legt. Voor de toepassingen van KWO en BEO is een milieuvergunning nodig die afgeleverd wordt door het “Ministere de la Region Wallonne: direction générale des Ressources naturelles et de l’environnement” (website: <http://environnement.wallonie.be/>).

De formulieren die gebruikt worden voor de aanvraag van een milieuvergunning zijn zeer duidelijk en uitgebreid maar vragen heel wat tijd om deze administratief te doorlopen. Deze zijn terug te vinden op de volgende website <http://formulaires.wallonie.be>.

Interessante gegevens die gevraagd worden bij de aanvraag zijn in annex 3 “Formulaire relatif aux prises d’eau” (pagina 2 - 3) bevatten oa.:

- De Lambert coördinaten (X, Y coördinaten). In het kader van geothermieprojecten is dergelijke informatie onontbeerlijk om een eerste evaluatie te kunnen uitvoeren naar de geschiktheid van het gebruik van de bodem op die locatie;
- Transversale en longitudinale doorsnedes van de locatie;
- Opnemen van de resultaten van een pompproef oa. onttrokken debiet en waterniveau. Interessante gegevens voor de bepaling van de haalbaarheid van een open hydrothermiesysteem en bepaling invloed op de grondwaterspiegel;
- Gedetailleerde beschrijving met oa. een geologische studie met geologische kaart en beschrijving karakteristieken aquifers.

8.4 Buitenlandse wetgeving

8.4.1 Nederland

In Nederland zijn reeds meer dan 400-tal KWO-installaties in werking en het aantal stijgt nog steeds elk jaar. Nederland heeft dus veel ervaring met open systemen en de milieueffecten ervan. Voor energieopslagprojecten in Nederland geldt een registratie- en vergunningsplicht in het kader van de Grondwaterwet en dit op landelijk niveau. Deze wet is enkel geldig voor open systemen, voor gesloten systemen geldt geen enkele registratie- en vergunningsplicht (anno 2006). Daarnaast hebben provincies een aanvulling op deze grondwaterwet in de vorm van een waterhuishoudingsplan. Doel van het provinciale beleid is te zorgen voor voldoende grondwater met een kwaliteit die past bij de verschillende functies.

De provincie levert de vergunning af en bepaalt vanaf welke hoeveelheid grondwater een vergunning vereist is. Dit wordt bepaald door de lokale geologie en wordt per provincie bepaald. In sommige gevallen kan voor een pompdebiet van 10 m³/h een vergunning nodig zijn. Daarnaast heeft een provincie per gebruiksdoel (bronbemaling, grondwatersanering, permanente onttrekkingen, ...) nog specifieke eisen oa. maximum infiltratietemperatuur niet hoger dan 25°C, geen onttrekkingen in grondwaterwinningsgebieden, ...

De provincie hanteert de volgende **criteria** aangaande energiesystemen in de bodem [17]:

- Onttrekken van grondwater voor koeling gevolgd door lozen op het oppervlaktewater of in de bodem is niet toegestaan.
- Thermische energiesystemen moeten gesloten zijn zodat er via het systeem geen verontreinigingen in de bodem kunnen komen.
- Energieopslag mag niet leiden tot verzilting van het grondwater. Het mag alleen worden toegepast in watervoerende pakketten die volledig zoet of zout zijn. Dit geldt ook voor de zogenaamde monobronnen.
- In centra van grote steden waar ondergronds bouwen (infrastructuur) tot de mogelijkheden behoort en interactie is te verwachten tussen ondergrondse infrastructuur en opslagsystemen in het eerste watervoerende pakket moet de energieopslag in een dieper watervoerend pakket worden geplaatst.
- Warmteopslag (met temperaturen boven gemiddeld 25°C) mag geen onaanvaardbare (micro) biologische of chemische gevolgen hebben.
- Bij koudeopslag mag er netto geen warmte in de bodem worden geloosd.

Daarnaast mogen geen onttrekkingen plaatsvinden in een milieubeschermingsgebied voor grondwater.

De goedkeuring van de vergunning wordt onderworpen aan de hand van een **checklijst** met volgende vragen [17]:

- Is de onderlinge afstand tussen de koude en warme bron(nen) groot genoeg om thermische interactie te voorkomen?
- Hoe groot is het rendementsverlies ten gevolge van het verplaatsen van de koude of warme bellen van het bestaande systeem door het aanzetten van het nieuwe systeem?
- Hoe flexibel is het nieuwe systeem, oftewel hoe gaat het systeem om met verschillende koude- en warmtevragen per seizoen, zijn grote verschillen in onttrekkings- en injectiedebieten te verwachten?
- Wat zijn de verwachte extra pompenergiekosten bij het al bestaande systeem ten gevolge van stijghoogteverlagingen of -verhogingen door het nieuwe KWO-systeem?

De vergunningsaanvraag bestaat uit een aanvraagformulier met een onderbouwend rapport. In de aanvraag worden volgende aspecten beschreven:

- Een algemene beschrijving van de situatie;
- Technische gegevens zoals onttrekkingsdebiet, doel en noodzaak van de onttrekking;
- Beschrijving van locatie, omgeving en geohydrologische situatie;
- Berekening (primaire) geohydrologische en hydrothermische effecten van de energieopslag;
- Beschrijving effecten op overige grondwateronttrekkingen.

De proceduredtijd kan soms tot 7 ½ maand duren en men dient bij het bouwproces hier rekening mee te houden.

8.4.2 Duitsland

In de internationale literatuur wordt vaak naar de VDI richtlijnen VDI 4640 “Thermische Nutzung des untergrundes” verwezen [18]. Deze richtlijnen zijn opgesteld na een ineenstorting van de markt voor grondgekoppelde warmtepompen. Het objectief was om een wettelijk bindend document samen te stellen met de basis voorwaarden, milieu-voorwaarden en installatietechnieken. De richtlijnen, opgebouwd uit 4 delen, zijn van toepassing op een breed scala van toepassingen gaande van grondgekoppelde warmtepompen tot direct gekoppelde toepassingen (toepassingen waar de verdampers van de warmtepomp in de bodem wordt gebracht en hier rechtstreeks warmte aan onttrekt).

Het gebruik van natuurlijke rijkdommen in Duitsland is gebonden aan een wetgeving rond “wasserrecht” en “bergrecht” die van toepassing is bij open en gesloten systemen. We verwijzen hier graag naar de richtlijnen voor verdere informatie [18].

8.5 Richtlijnen en aanbevelingen voor toekomstige wetgeving

Voor de toekomstige wetgeving in Brussel rond geothermieprojecten geven we aantal richtlijnen. Het betreft hier richtlijnen voor zowel open als gesloten geothermieprojecten.

Een eerste bemerking volgt uit de analyse van de looptijden bij de aanvraag van een milieuvergunning voor geothermie projecten. Aangezien het aanvragen van een milieuvergunning administratief zwaar en praktisch moeilijk haalbaar is voor kleine gebruikers, wordt gepleit voor de afschaffing van de milieuvergunning voor deze categorie. Het betreft hier de particuliere sector met oa. eengezinswoningen (geen meergezinswoningen of appartementen) voor privé gebruik. Eventueel kan de vergunning vervangen worden door een melding bij de gemeente. Een studie per project is niet haalbaar en zou een te grote financiële belemmering vormen voor de implementatie van warmtepompen.

Opzetten van een gezamenlijke wetgeving rond geothermieprojecten

Vermits in Brussel nog geen wetgeving rond geothermieprojecten bestaat, is het aanbevolen om met de diverse instanties tot één gezamenlijke wetgeving of richtlijnen te komen. In Nederland heeft men geen wetgeving voor gesloten systemen maar bestaat wel een zeer uitgebreid document rond “Kwaliteitsrichtlijnen voor verticale bodemwarmtewisselaars” [7]. Voor open systemen bestaat er in Nederland een document voor richtlijnen over KWO [5] uitgegeven door de NVOE (Nederlandse vereniging van ondergrondse energieopslag). Bij een wetgeving is het van belang dat slechts één instantie de milieuvergunning aflevert en/of advies geeft, dit versnelt de aanvraag van een milieuvergunning voor de aanvrager en heeft zo een versnelde werking op de uitvoering van geothermieprojecten. Zeker in een dicht bevolkt stadsgedeelte is de aanleg van een ondergronds energieopslagveld vaak het eerste bouwwerk. De aanvraag van een milieuvergunning mag niet als een belemmering aanzien worden door de aanvrager. Als basis voor de toekomstige wetgeving rond geothermie projecten kan de Vlaamse Vlarew wetgeving gebruikt worden.

De minimale zaken die zeker in een milieuaanvraag zouden moeten zitten betreft (1) een studie van de geo(Hydro)logie van de locatie, (2) een beschrijving van de locatie en (3) een technische beschrijving van de installatie met een bepaling van het energieverbruik voor verwarming en koeling.

Monitoring geothermieprojecten

Eventueel kan voor geothermieprojecten ook een monitoring opgenomen worden gedurende een aantal jaren van de grondwaterdebieten, de temperaturen en de thermische vermogens. Dit kan door het opstellen van een jaarlijkse energiebalans van de installatie. Dit vereist de integratie van meetapparatuur in de installatie maar deze kosten wegen helemaal niet op tegen de voordelen en nemen slechts een heel klein deel in van de totale installatiekosten. Voor Vlaanderen werden in het kader van het subsidieprogramma “ANRE demonstratieprojecten” een 5-tal installaties gedurende 3 jaar opgevolgd en elk uur gemonitord. Dit gaf verbluffende resultaten voor de toepassingen van koude-warmteopslag en een beter inzicht in de optimale regeling van dergelijke installaties. Rapporten van deze projecten zijn beschikbaar bij Vito of Vlaams Energieagentschap (VEA) te Brussel.

Opzetten van een databank ondergrondse toepassingen in Brussel

In Vlaanderen is de databank ondergrond Vlaanderen een handige webapplicatie waar gebouweigenaars, projectontwikkelaars, studiebureaus, .. geologische informatie met oa. grondwaterwinningen, boringen, ... kunnen opzoeken [14]. Het is een handige tool die toelaat dat alle gegevens rond ondergrondse projecten zoals boringen, grondwaterwinningen, .. in één gezamenlijke applicatie (en door één instantie) worden beheerd. Er wordt een advies gegeven om een dergelijk systeem ook voor de Brusselse bodem in een wettelijke context te gieten. In de toekomst kunnen dan alle boorverslagen, grondwaterwinningen, tot zelfs locaties met sterke bodemverontreiniging op deze applicatie aangeduid worden.

Informeer over kansenkaarten open en gesloten systemen

Aanbevolen wordt om de belangstellenden te informeren over de bevindingen van deze studie en over de kansenkaarten voor energieopslag. De kansenkaarten kunnen op de website van het BIM geplaatst worden. Ook kunnen de kansenkaarten voor een groter publiek van projectontwikkelaars, studiebureaus, ... gepresenteerd worden. Met deze informatiecampagne wordt bereikt dat energieopslag meer en meer bekendheid krijgt en dat geïnitieerde projecten met zeer kleine slaagkans volgens de kansenkaarten niet worden uitgevoerd. Het geeft aan de aanvragers een middel om op voorhand zonder veel studiewerk te bekijken welke technologie mogelijk is voor de locatie.

8.6 Richtlijnen voor aanvullende hydrogeologische studie Landeniaan

Vele ingediende projecten in Brussel met open systemen willen grondwater onttrekken uit het Landeniaan. Het maximaal mogelijke debiet uit het Landeniaan is echter beperkt (maximaal 10 m³/h op sommige locaties). Onttrekkingen uit het Landeniaan zijn dus niet erg productief voor koude-warmteopslag. Er dienen afspraken gemaakt te worden met de verschillende instanties welke formaties geschikt zijn voor grondwateronttrekkingen. In het Brusselse Gewest zijn dat er niet veel (zie hoofdstuk Brusselse bodem) vandaar dat een aanvullende geohydrologische studie nuttig zou zijn om meer duidelijkheid te brengen.

Een hydrogeologische studie naar het gebruik van het Landeniaan voor grondwateronttrekking en injectie zou volgende zaken kunnen bevatten:

- bevat een beschrijving van de hydrogeologie van het gebied en een hydrogeologisch model;
- bevat een beschrijving van effecten op grond- en oppervlaktewater;
- (eventueel) bevat een beschrijving van effecten op landbouw en natuur;
- Om een goede inschatting te kunnen maken van de broncapaciteiten (en de mogelijke afpompings) is het uitvoeren van een pompproef (+ plaatsing van een aantal peilputten) voor een aantal locaties te Brussel zeer wenselijk. Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan de oostelijke zone van Brussel. Het uitvoeren van een pompproef vraagt wel een bijkomende investering maar de gegevens zijn zeer bruikbaar voor dimensionering van de installatie;
- Een bepaling van de invloed van het grondwaterpeil indien er in Brussel veel grondwateronttrekkingen in het Landeniaan worden uitgevoerd;
- De vereisten van de Vlaamse milieuwetgeving dienen opgenomen te worden.

Vanuit de Vlaamse milieuwetgeving worden voor een geohydrologische studie volgende zaken gevraagd:

a. algemene geologische situatie:

- geologische opbouw
- precieze granulometrische en lithologische kenmerken van de verschillende formaties;

b. algemene hydrogeologische situatie:

- een uitvoerige beschrijving van alle hydrogeologische kenmerken der watervoerende lagen (o.a. hydraulische geleidbaarheid, transmissiviteit, bergingscapaciteit, enz.)
- bepalen van stromingsrichtingen en stromingssnelheid van het grondwater;
- vermelden en beschrijven der ondoorlatende lagen;
- analyse van piëzometrische waarnemingen;

c. fysico-chemische kenmerken van het grondwater:

- aan de hand van referentiewaarnemingen moet de scheikundige samenstelling van de respectievelijke grondwatertafels ter plaatse precies gekend zijn;

d. omschrijving van de waterwinningen in de omgeving (straal = 5 km):

- algemene historiek;
- debiet van afpompings;
- piëzometrische effecten;

- continuïteit der bemaling;
- doelstelling van de bemalingsactiviteiten;
- fysico-chemische analyseresultaten der specifieke bemalingsactiviteiten;

Het gebruik van het Landeniaan mag als grondwatertoepassing op voorwaarde dat er voldoende garanties kunnen gegeven worden naar (1) respect voor thermische verontreiniging en (2) er in dezelfde aquifer kan gereinjecteerd worden. Aldus heeft dit geen impact op de grondwatertafel.

8.7 Richtlijnen voor haalbaarheidsstudies open en gesloten systemen

Bij de indiening van een milieuaanvraag kan door de wetgever een haalbaarheidsstudie gevraagd worden voor de open en/of gesloten systemen. Er kan een grens opgelegd worden dat deze studies enkel nodig zijn voor tertiaire en industriële projecten. Deze hoeft persé niet zeer uitgebreid te zijn maar dient op zijn minst een aantal belangrijke zaken te bevatten.

Een haalbaarheidsstudie dient minimaal volgende zaken te bevatten:

- een beschrijving van de projectinformatie met de belangrijkste randvoorwaarden van de studie (bijv. oppervlakte gebouwen, type toepassing, ...);
- een bepaling of vermelding van de warmte- en koudevraag (alsook de vermogens) van het gebouw, het proces of het systeem;
- een beschrijving van de geologie ter plaatse met een indicatie/beschrijving van de lokale grondwaterwinningen (zowel naar debiet als naar gebruikte formatie);
- de technische details van het systeem
 - o voor een open systeem:
 - aantal bronnen;
 - diepte van de bronnen;
 - onttrokken grondwater (dagelijks en jaarlijks);
 - details van de filter;
 - ...
 - o voor een gesloten systeem:
 - aantal bodemwarmtewisselaars;
 - diepte van de bodemwarmtewisselaars;
 - ...
- een grafisch schema met de aanduiding van de gebouwen, processen of systeem en de inplanting van de open of gesloten systemen.

Extra kan hierbij gevraagd worden naar een economische evaluatie van het systeem maar dergelijke getallen zijn vaak verbonden aan de nodige geheimhouding en zijn aldus voor een milieuverlenende overheid niet specifiek van belang.

9 TAAK 8 : MILIEU-IMPACT

9.1 Inleiding

Het technisch en economisch potentieel van grondwatersystemen en verticale en horizontale bodemwarmtewisselaars (de geotechnieken) werd in de vorige hoofdstukken berekend. Het is duidelijk dat bij implementatie van deze geotechnieken zowel milieuvoordelen (primaire energiebesparing en vermindering van CO₂ uitstoot) als negatieve milieueffecten kunnen ontstaan. Een milieueffect wordt gedefinieerd als een toestandsverandering in de bodem als gevolg van een belasting door stoffen, water of energie.

In deze studie zal niet ingegaan worden op de hydrologische milieueffecten daar deze in een latere studie dieper worden uitgewerkt. Ook de milieueffecten naar ruimtelijke ordening, systemen met temperaturen boven de 25°C en de in pandig geplaatste warmtepomp maken geen deel uit van deze studie. Als systeemgrens voor de bepaling van de milieueffecten geldt de feitelijke installatie in de bodem. Alle andere elementen in het gebouw en de installatie, uitgezonderd de warmte en koudevraag van het gebouw, die een invloed hebben op het milieu worden buiten beschouwing gelaten. De warmtewisselaars in het bodemcircuit van de installatie worden wel meegenomen omdat dit een risico voor de bodem kan vormen bij lekkage van vloeistoffen.

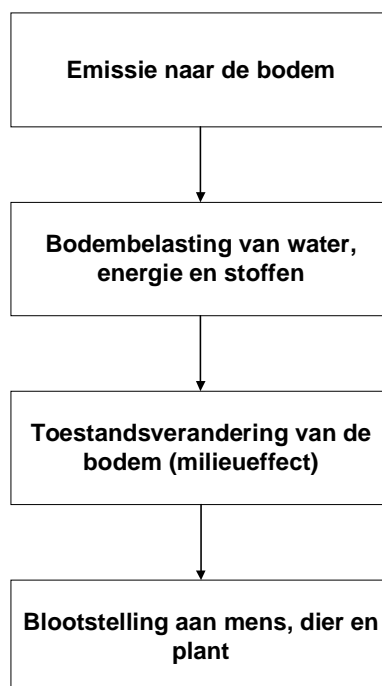
In dit hoofdstuk wordt vooreerst de voornaamste milieueffecten (voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars) onder verschillende werkomstandigheden geïnventariseerd en de kans en ernst van de gevolgen kort besproken. Ook worden elementen en storingen die milieueffecten teweegbrengen kort besproken. Vervolgens gaan we dieper in op de preventieve en correctieve maatregelen ter vermindering van deze milieueffecten en worden deze beoordeeld op hun effectiviteit en de kosten. Tenslotte geven we aanbevelingen waaruit een latere diepgaandere studie rond de milieueffecten dient opgebouwd te worden.

9.2 Milieueffecten

9.2.1 Van emissie tot blootstelling

We maken voor de bepaling van de milieueffecten een onderscheid maken tussen de grondwatersystemen en de systemen met verticale of horizontale bodemwarmtewisselaars. De milieueffecten bij aërothermie systemen zijn vergelijkbaar met deze van bodemwarmtewisselaars toch is hun invloed op het milieu eerder beperkt.

Figuur 50 toont een schematische weergave van oorzaak en gevolg van emissie tot blootstelling.



Figuur 50: Schematische weergave van oorzaak en gevolg van emissie tot blootstelling

Een toestandsverandering in de bodem is het gevolg van een bodembelasting door water, stoffen of energie. Het gevolg van een toestandverandering zelf is de **blootstelling** aan plant, dier en mens. Deze laatste wordt in deze studie niet verder behandeld vermits het de bedoeling is om via preventieve en correctieve maatregelen de milieueffecten zoveel mogelijk te beperken of zelfs volledig te vermijden.

Emissies van stoffen, water en energie kunnen optreden naar de bodem, oppervlaktewater en atmosfeer. Bij grondwatersystemen komt het grootste deel van deze emissies in de bodem terecht en gedeeltelijk op het oppervlaktewater bij het spuien of spoelen van de bronnen. Naar de atmosfeer vindt geen directe emissie plaats uitgezonderd een indirecte emissie van de elektriciteitsproductie voor de bronpompen en werking van het grondwatersysteem. We beschouwen enkel de directe emissie naar de bodem. Een voorbeeld van een emissie naar de bodem is de uitstoot van warm water via een infiltratiebron.

Bij het gebruik van de bodem voor grondwateronttrekking en warmteonttrekking via bodemwarmtewisselaars vindt altijd een bepaalde **bodembelasting** plaats. Een bodembelasting kan incidenteel of structureel van aard zijn. Een lekkage uit bodemwarmtewisselaars door graafwerken is een incidentiele belasting. Bij een structurele belasting is de gebeurtenis te voorzien in een ontwerpfase. Deze kunnen optreden tijdens de aanleg, beheer of buitendienststelling van een installatie.

Een bodembelasting kan een **toestandsverandering** van de bodem tot gevolg hebben of een milieueffect veroorzaken. Een voorbeeld hiervan is de stijging van het grondwatertemperatuur als gevolg van een warmtebelasting bij grondwatersystemen.

9.2.2 Overige toestandsveranderingen

Toestandsveranderingen kunnen opgedeeld worden in verschillende typen:

- hydrologische toestandsveranderingen;
- biotische toestandsveranderingen;
- fysische toestandsveranderingen;
- chemische toestandsveranderingen.

Er zijn echter milieueffecten of toestandsveranderingen welke niet of slechts gedeeltelijk tot deze typen kunnen ingedeeld worden. Het betreft de volgende milieueffecten;

- archeologische toestandsveranderingen;
- paleontologische toestandsveranderingen;
- aardkundige toestandsveranderingen.

Sommige toestandsveranderingen zullen alleen optreden tijdens het goed of slecht functioneren van de installatie, andere zullen enkel merkbaar zijn na de buitendienststelling en weer andere effecten zijn permanent aanwezig. We maken daarom een onderscheid tussen permanente en tijdelijke effecten. Permanente effecten zijn die effecten die na buitengebruikstelling van en installatie nog langer dan 100 jaar aanwezig zijn.

Archeologische toestandsveranderingen kunnen ontstaan door de uitvoering van graafwerken. Waardevolle objecten kunnen beschadigd of verwijderd worden. Dit is een permanent effect en treedt niet op als gevolg van een emissie van water, stoffen of energie maar door het verwijderen van grond bij graafwerken. De kans dat een dergelijke toestandsverandering kan ontstaan in het Brusselse grondgebied is uiterst klein vermits de ontgraving zeer beperkt is indien men vergelijkt met de aanleg van wegen of de bouw van complete nieuwbouwwijken. Veelal zijn archeologische sites reeds op voorhand gekend.

Ook de aanwezige fossiele planten en dierenresten kunnen verwijderd of beschadigd worden bij graafwerken en zijn permanent. We spreken dan over **paleontologische toestandsveranderingen**. Vermits de oppervlakte eerder beperkt is bij de aanleg van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars is de kans zeer klein dat een dergelijke toestandsverandering zich voordoet. In de technische lastenboeken van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars is een paragraaf opgenomen die oplossingen geeft indien een dergelijke situatie zich voordoet. We gaan op deze beide toestandsveranderingen niet verder in het kader van deze studie.

Veel belangrijker dan de 2 bovenstaande zijn de aardkundige toestandsveranderingen. Deze kunnen onderverdeeld worden in volgende typen:

- geomorfische toestandsveranderingen;
- bodemkundige toestandsveranderingen;
- geologische toestandsveranderingen;
- geohydrologische toestandsveranderingen.

Figuur 51 geeft een schematische weergave van de verschillende toestandsveranderingen.

Geomorfische toestandsveranderingen of veranderingen in de vorm of visuele beleving van het terrein kunnen ontstaan door lokale bevrozing en inkalving van de ruimte rond de bodemwarmtewisselaars of bij aanleg van grondwatersystemen. De schade die veroorzaakt wordt is echter klein en derhalve beschouwen we deze toestandsverandering niet verder.

Bodemkundige (aard, samenstelling en ontstaanswijze van de bodem) toestandsveranderingen kunnen ontstaan door toepassing van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars. Door genoemde ingrepen gaat informatie betreffende de bodem gedeeltelijk verloren. De oorzaak is niet een emissie van water, stoffen of energie naar de bodem en wordt niet verder beschouwd.

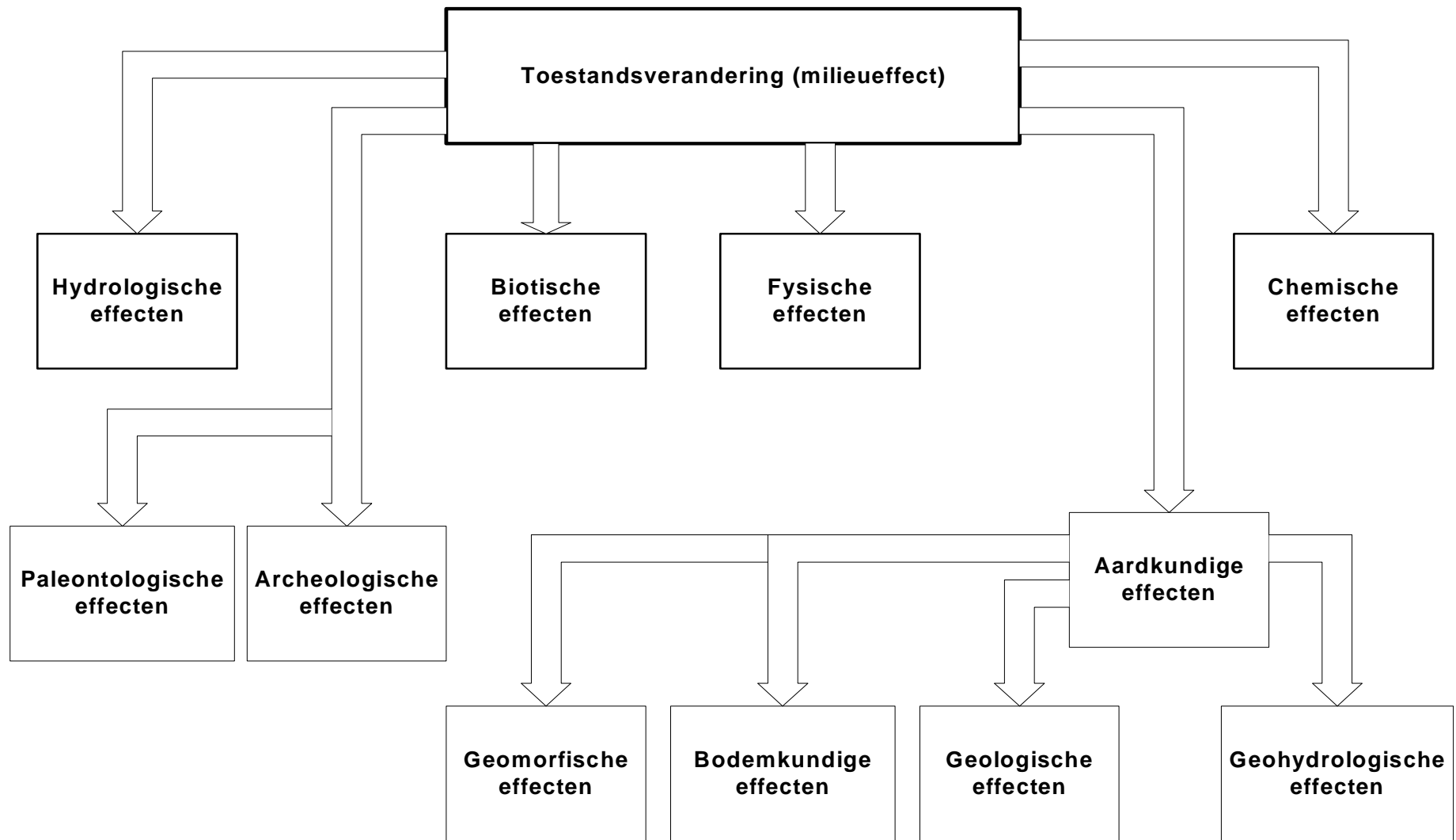
De **geologische toestandsveranderingen** hebben betrekking op de gehele aarde. Door de implementatie van dergelijke geotechnieken dieper dan 1 m maaiveld kan de opbouw en samenstelling van de aarde verstoord raken. Er dient onderscheid gemaakt te worden tussen de geologische structuur van de aarde (opeenvolging van aardlagen) en geologische waardevolle objecten. Bij de aanleg van verticale bodemwarmtewisselaars worden verschillende lagen doorboord en gaat informatie verloren al is het effect eerder klein.

De **geohydrologische toestandsveranderingen** ontstaan door plaatselijke veranderingen en zijn reeds veelvuldig aanwezig door waterwinningen, drainages, bemalingen, etc. De grondwaterstroming in relatie tot de bodem en geologie wordt hierin bestudeert. Hierbij gaat het niet enkel over stijghoogten en grondwaterveranderingen als gevolg van onttrekkingen en infiltreren van grondwater maar ook over de verandering van grondwaterrichting en grootte.

Tabel 47 geeft een overzicht van enkele aardkundige toestandsveranderingen, de oorzaken, gevolgen en de toepasbaarheid bij grondwatersystemen (GWS) en bodemwarmtewisselaars (BWW). Tevens is aangegeven of de toestandsverandering een emissie naar de bodem als gevolg geeft.

Tabel 47: Overzicht aardkundige toestandsveranderingen

Aardkundige toestandsverandering	Oorzaken	Gevolgen	GWS	BWW	Emissie
Geomorfisch	Bevrozing rondom bodemwarmtewisselaar	Inkalving bodem	-	X	Energie
Bodemkundig	Graven van sleuven en boren van gaten	Verloren gaan van informatie	X	X	Nee
Geologisch	Boren van gaten	Verloren gaan van informatie	X	X	Nee
Geohydrologisch	Onttrekken en infiltreren van grondwater	Verloren gaan van informatie en verandering van stromingsrichting en grootte	X	-	Water



Figuur 51: Schematische weergave van de verschillende toestandsveranderingen

9.2.3 Milieueffecten

Zoals uit vorige paragraaf kan worden afgeleid zijn er heel wat categorieën en dus heel wat milieueffecten mogelijk. We bespreken hier enkel de belangrijkste milieueffecten van grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars. Het is duidelijk dat ook de verschillende elementen van geotechnieken aanleiding kunnen geven tot verschillende milieueffecten. Alles hangt natuurlijk samen met een goed en doordacht ontwerp, uitvoering en uitbating van de installatie. Een goed ontworpen systeem kan door fout gebruik aanleiding geven tot een permanent en soms onherstelbaar milieueffect.

Het is bij deze technieken een must dat de boorwerkzaamheden en de installatie van het systeem (bodemwisselaars en bronnen) op een goede manier gebeurt. Dit is de basisvoorwaarde en kan gerealiseerd worden door de planning, ontwerp en uitvoering van deze systemen in handen te geven van gespecialiseerde firma's die beroep kunnen doen op gespecialiseerde knowhow, lastenboeken, ervaringen, ... De implementatie van deze geotechnieken in de HVAC wereld heeft een ander dimensie dan de installatie van klassieke ketels en koelmachines. Het uitvoeren van boorwerkzaamheden is een sterk gespecialiseerde functie die niet door iedereen kan uitgevoerd worden. Enkel indien de combinatie van het HVAC systeem met het ondergronds systeem perfect op elkaar zijn afgesteld wordt het aantal milieueffecten tot een minimum herleid. Onder de milieueffecten rekenen we ook de positieve milieuvoordelen zoals een besparing op de primaire energie en een CO₂ reductie.

Tabel 48 toont de verschillende elementen van geotechnieken die al dan niet aanleiding kunnen geven tot milieueffecten.

Tabel 48: Overzicht (hoofd)onderdelen geotechnieken

Geotechnieken	(Hoofd)onderdelen
Grondwatersystemen	Bronnen Leidingen Koppelingen Pompen Warmtewisselaars (Warmtepomp)
Bodemwarmtewisselaars	Lussen Leidingen Koppelingen (Warmtepomp)

Zonder al te diep in detail te gaan op alle individuele onderdelen zullen bij de milieueffecten deze onderdelen aan bod komen. We beperken ons in deze studie tot de grondwatersystemen gebruikt als koude-warmteopslagsysteem en de verticale bodemwarmtewisselaars. Er wordt in de residentiële sector uitgegaan van alleen warmteonttrekking met bodemwarmtewisselaars of grondwater. Het aspect koeling wordt niet in rekening gebracht. In de tertiaire sector wordt uitgegaan van een systeem met warmtepomp dat zowel voor verwarming als voor koeling kan ingezet worden.

Tabel 49 toont een overzicht van de beschouwde milieueffecten voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars op basis van onze nationale en internationale ervaringen van

deskundigen. In wat volgt gaan we voor elke milieumaatregel beschrijven wat de oorzaak, het gevolg en de ernst kan zijn.

Deze milieueffecten kunnen grofweg ingedeeld worden in 3 categorieën:

1. Verontreiniging van de bodem
2. Hydraulisch en thermisch invloedsgebied (daling grondwaterpeil of grondtemperatuur)
3. Lekken van vloeistoffen of grondwater naar de bodem

Buiten deze opgesomde milieueffecten zijn er nog algemene effecten zoals het broeikaseffect, aantasting van de ozonlaag, verzuring, uitputting van de natuurlijke grondstoffen, humane toxiciteit, lawaai, aantasting landschap, etc. We gaan hierop niet verder in maar in een volgende studie dienen deze milieueffecten te worden opgenomen. Het is echter zo dat geotechnieken een kleine kans geven tot het mogelijks ontstaan of belangrijke bijdragen leveren aan de meeste van deze bovenstaande milieueffecten.

Tabel 49: Overzicht beschouwde milieueffecten bij grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars

ID	Milieueffect	Toestands- verandering	Grondwater- systemen	Bodemwarmte- wisselaars
1	Menging van verzilt of verontreinigd grondwater	Menging watertypen	x	-
2	Volume glycol dat naar bodem lekt	Veranderende watersamenstelling	x	x
3	Hydraulisch invloedsgebied in opslagaquifer	Stijghoogte- en grondwaterstijging	x	-
4	Hydraulisch invloedsgebied in deklaag of freatische aquifer	Stijghoogte- en grondwaterstijging	x	-
5	Thermische invloedsgebied met $dT = 2$ K halverwege de boordiepte na 20 jaar	Verandering grondtemperatuur	x	x
6	Thermische invloedsgebied met $dT = 1$ K op 0,5 m-mv na 20 jaar	Verandering grondtemperatuur	-	x
7	Percentage extra infiltratie over de deklaag langs lekkende boorgaten	Menging van milieuvreemd water	x	x

X: milieueffect kan optreden; -: milieueffect is niet van toepassing of kan niet optreden

9.2.3.1 Verontreiniging van de bodem

Door een verkeerd gebruik van een installatie kan verontreiniging van de bodem ontstaan. Dit milieueffect kan zowel optreden bij grondwatersystemen als bij bodemwarmtewisselaars. Bij grondwatersystemen kan menging van verzilt of verontreinigd grondwater plaatsvinden (milieueffect 1) of water van verschillende kwaliteiten vermengd worden. Bij bodemwarmtewisselaars wordt geen grondwater gebruikt maar kan verontreiniging van de bodem ontstaan door een bepaald volume glycol dat naar de bodem kan lekken (milieueffect 2) indien de installatie niet goed functioneert of gebouwd is. Dit laatste heeft een grotere milieubelasting dan het eerste effect.

Door het onttrekken en infiltreren van grondwater zal grondwater van verschillende kwaliteiten gemengd worden. Om menging zoveel mogelijk te voorkomen dienen de onttrekking- en injectiefilters in hetzelfde watervoerend pakket of aquifer te worden geplaatst. Het te injecteren grondwater mag niet van slechtere kwaliteit zijn dan het ontvangende water ter plaatse van de retourputten.

Storingen aan pompen en kleppen in het grondwatersysteem kunnen aanleiding geven tot het ontstaan van deze effecten. Bij grondwatersystemen is een grondigere controle nodig van de werking van de installatie gedurende de ganse levensduur van de installatie. Een lekkende transportleiding zal enkel ontdekt worden tijdens stilstand of als het lek heel groot is. Een lekkende bronkop zal enkel ontdekt kunnen worden door een periodiek visuele controle. Ter voorkoming van beschadiging van de bronnen wordt het grondwatercircuit beveiligd op grootheden zoals de minimale en maximale druk in het circuit en de minimale en maximale waterniveaus in de bronnen.

Voor de bodemwarmtewisselaars kan door slechte koppelingen lekken naar de bodem ontstaan. Dit laatste kan echter opgevangen worden door bij de realisatie van het project de nodige aandacht te besteden aan het (op druk) aftesten van de wisselaars en koppelingen. Deze worden gedurende een bepaalde tijd onder druk geplaatst om lekken te controleren. Een keer de installatie werd afgetest is het ontstaan van lekken eerder klein tenzij door beschadigen van de bodemwarmtewisselaars door graafwerken. Door het aanbrengen van de nodige signalisatie en/of waarschuwingslinten kan dit vermeden worden.

De gevolgen van deze milieueffecten zijn dat de installatie niet meer optimaal kan werken of helemaal niet meer functioneert.

Milieueffect 1: Menging van verzilt of verontreinigd grondwater

Dit milieueffect treedt enkel op bij grondwatersystemen en minder bij bodemwarmtewisselaars (tenzij bij boorwerkzaamheden en een slechte afdichting van het boorgat). Dit milieueffect kan optreden door de menging van zoet en zout water of mengingen van verschillende grondwaterkwaliteiten. Menging van verontreinigd en niet-verontreinigd grondwater speelt een belangrijke rol in stedelijke gebieden met een zandige ondergrond. Indien een verontreiniging aanwezig is kan deze door het grondwatersysteem aangetrokken en/of afgestoten worden. In een aantal gevallen kan het grondwatersysteem de verontreiniging terug naar de bron sturen zodat een bodemsanering wordt versneld. In de andere gevallen wordt de verontreiniging verplaatst wat een groter milieueffect veroorzaakt.

We spreken hier uiteraard niet over bodem verontreiniging door gevaarlijke stoffen maar over grondwaterverontreiniging. Enkel bij de aanleg van een grondwatersysteem is bodemverontreiniging door stoffen van belang voor het kunnen afvoeren op een adequate manier van grond.

Het grondwater dat tijdens het ontwikkelen en onderhoud vrijkomt kan niet zomaar geloosd worden op het riool of op de oppervlaktewateren. Door aangepaste ontwikkel- en afvoertechnieken kan de belasting voor het milieu zoveel mogelijk beperkt worden. In principe treedt hier geen directe bodembelasting op.

Milieueffect 2: Volume glycol dat naar bodem lekt

Dit milieueffect kan zowel optreden bij grondwatersystemen als bij bodemwarmtewisselaars. Bij grondwatersystemen kan de warmtewisselaar tussen het primaire grondwatercircuit en het secundaire gebouwencircuit gaan lekken. Stoffen uit het gebouwencircuit komen dan terecht in het grondwatercircuit. Deze kunnen tot grote dieptes doordringen. De kans dat dergelijk milieueffect zich voordoet bij grondwatersystemen is echter uiterst klein vermits de primaire warmtewisselaar vaak als dubbelwandig wordt uitgevoerd en er bij een lek geen doorstroming is naar het grondwatercircuit vermits het circuit op een overdruk staat. In de literatuur bestaan dan ook niet veel cijfers hierover of zijn er geen installaties bekend waar dit effect zich heeft voorgedaan. In geval van een lek zal dit gedetecteerd worden door een drukopnemer in het gebouwencircuit en zal de installatie in alarm gaan waardoor deze (tijdelijk) niet meer functioneert.

Bij bodemwarmtewisselaars kunnen lekken in de bodem onttreden als gevolg van incidenten bijvoorbeeld tijdens graafwerkzaamheden boven het bodemwarmtewisselaarsveld. Dit is vooral het geval bij het horizontale leidingwerk en minder bij het verticale leidingwerk vermits dit dieper zit (meer dan 1 m onder maaiveld). Door het gebruik van zorgvuldig uitgekozen materialen, aanbrengmethoden, type lasverbindingen en het uitvoeren en inbouwen van de nodige testprocedures, kunnen lekken naar de bodem zoveel mogelijk vermeden worden. Indien er lekken ontstaan zal dit op termijn vastgesteld kunnen worden door een daling van de druk in het leidingcircuit waardoor de installatie (tijdelijk) in alarm gaat. Vermits de verschillende bodemwarmtewisselaars in serie of parallel en per circuit op een verzamelcollector zijn aangesloten kan bij lekken het welbepaalde circuit worden afgesloten teneinde de milieubelasting te stoppen. Er bestaat een kleine kans dat een dergelijk milieueffect kan optreden doch door de gepaste maatregelen bij installatie en uitbating kan dit zo goed als mogelijk vermeden worden.

Belangrijk nog is om te melden dat producenten van kant en klaar producten inhibitoren toevoegen die qua samenstelling of effect op het milieu niet bekend zijn. Het gebruik van monopropyleenglycol in bodemwarmtewisselaars wordt geadviseerd omdat indien het in de bodem terecht komt na enkele weken is afgebroken. Aan bepaalde voedingsmiddelen wordt trouwens monopropyleenglycol toegevoegd.

Lekken in het warmtepompcircuit kunnen enkel in de bodem komen indien er ook tegelijkertijd lekken zijn in de bodemwarmtewisselaars, hetgeen onwaarschijnlijk is.

Het gebruik van directe expansiesystemen waar het koelmiddel van de warmtepomp ook doorheen de bodemwarmtewisselaars wordt gestuurd wordt afgeraden vermits de kans op lekken naar de bodem dan zeer reëel is en het milieueffect nog groter is.

9.2.3.2 Hydraulisch invloedsgebied

Door het onttrekken van grondwater –vinden er altijd stijghoogteveranderingen in de aquifer en eventueel grondwaterveranderingen plaats. Dit heeft gevolgen op de verdroging van de bodem en menging van milieuvreemd water. Verdroging van de bodem vindt plaats als de grondwaterstand wordt verlaagd of beïnvloed. Dit heeft uiteraard een effect op de fauna en flora van de omgeving maar is verwaarloosbaar klein. Het inbrengen van grondwater kan gevolgen hebben op de vernatting van de bodem en menging van verschillende waterkwaliteiten. Vernatting vindt plaats bij verhoogde grondwaterstand en kan gevolgen hebben op fauna en flora en kan wateroverlast in ondergrondse gebouwen en infrastructuur (kelders, parkeergarages, tunnels, etc.) veroorzaken.

De hydraulische invloed van een grondwateronttrekking zal minder zijn wanneer de filters geplaatst worden in een relatief dik watervoerend pakket met een hoge doorlatendheid. Stijghoogtes in het watervoerend pakket zijn dan minder groot dan bij een lagere doorlatendheid. Het stromingspatroon wordt echter op dezelfde manier beïnvloed. Daarnaast zal, om de freatische grondwaterstand zo min mogelijk te beïnvloeden, gestreefd moeten worden naar een zo hoog mogelijke weerstand tussen de filters en het maaiveld. Dit is te bereiken door de filters diep te plaatsen en gebruik te maken van een eventueel aanwezige slecht doorlatende deklaag of tussenlaag. Met een grondwatermodel is deze invloed te berekenen.

Voor de grondwatersystemen worden 2 milieueffecten 3 (hydraulisch invloedsgebied in aquifer) en 4 (hydraulisch invloedsgebied in deklaag) beschreven. Deze hebben geen belang bij bodemwarmtewisselaars.

Milieueffect 3: Hydraulisch invloedsgebied in opslagaquifer en **Milieueffect 4:** Hydraulisch invloedsgebied in deklaag of freatische aquifer

Over het algemeen kan gesteld worden dat het hydraulische invloedsgebied toeneemt met de omvang en grootte van de installatie. Het bodemtype aquifer of freatisch speelt een belangrijk rol. Bij het ontwerp van grote installaties worden de bronnen bijvoorbeeld kruiselings geplaatst om het effect te verminderen. De hydraulische invloed is afhankelijk van zeer diverse factoren (energievraag, filterlengte, aantal bronnen, afstand tussen de bronnen, etc.). Voor kleinere grondwatersystemen heeft deze parameter in de opslagaquifer niet zo'n groot effect, wel in het freatisch pakket.

Er is echter een verband tussen de stijghoogte en de grondwaterstand. Daar waar een groot gebied beïnvloed wordt qua stijghoogte, wordt veelal ook een groot gebied beïnvloed qua grondwaterstand. Een belangrijke parameter bij de stijghoogteveranderingen is de bepaling van de injectiedruk. Indien de stijghoogteveranderingen te hoog zijn worden de bronnen meer dan 15 meter uit elkaar geplaatst. Indien deze maatregel niet voldoende is worden de bronnen kruiselings geplaatst. Dit is het geval indien op één site verschillende onttrekkingen en

injectiebronnen worden geplaatst. Aandacht bij het ontwerp van een installatie kan dit milieueffect zodoende doen verminderen.

Om de hydraulische effecten van de grondwatersystemen te berekenen kan gebruik gemaakt worden van hydrologische softwarepakketten of numerieke modellen. Dit softwarepakket kan zowel stationaire als niet-stationaire stromingen onderzoeken. In een haalbaarheidsstudie wordt de hydraulische invloedstraal en de stijghoogteverandering berekend. Indien een voldoende dik watervoerend pakket en de bronnen op een voldoende afstand van elkaar worden geplaatst is de hydraulische invloedstraal klein. De injectiebronnen worden ingeplant op voldoende afstand van de onttrekkingbronnen enerzijds en op voldoende afstand van winning in de omgeving anderzijds om hydraulische beïnvloeding te vermijden.

9.2.3.3 Thermisch invloedsgebied

Door geleiding, dispersie en afstroming wordt een deel van de geïnjecteerde koude en warmte tot buiten het thermisch invloedsgebied van het grondwatersysteem getransporteerd. Met een model kunnen de temperatuursveranderingen berekend worden die het grondwater in de loop der jaren ondergaat. Dit wordt eveneens berekend tijdens een haalbaarheidsstudie KWO. In deze studie wordt uitgegaan van systemen met een maximale temperatuur van 30°C in de bodem. Warmte die in de bodem wordt gebracht kan de grondwatersnelheid en – richting gaan beïnvloeden. Hierdoor kan ook menging van grondwaterkwaliteiten voorkomen zoals beschreven in de vorige milieueffecten. De optredende effecten zijn echter gering omdat het temperatuurverschil klein is.

Het thermische invloedsgebied wordt gedefinieerd als de thermische straal rondom de warme of koude bron. Binnen deze straal wordt aangenomen dat bij grondwatersystemen in een periode van 20 jaar een stijging of daling van de natuurlijke grondwatertemperatuur kan voorkomen. Ook het rechthoekig gebied in de richting van het stromingsgebied maakt deel uit van de thermische straal. De invloed van de temperatuur (stijging met 2K bij warme bron en daling met 2K bij koude bron) wordt beschreven in milieueffect 5 (thermische invloedsgebied met $dT = 2$ K halverwege de boordiepte na 20 jaar) en milieueffect 6 (thermische invloedsgebied met $dT = 1$ K op 0,5 m-mv na 20 jaar).

Voor de grondwatersystemen is enkel milieueffect 5 van toepassing. Voor de bodemwarmtewisselaars zijn de milieueffecten 5 en 6 van toepassing.

Milieueffect 5: Thermische invloedsgebied met $dT = 2$ K halverwege de boordiepte na 20 jaar

Voor grondwatersystemen geldt dat hoe groter de filterlengte, hoe kleiner het beïnvloede gebied. Het is logisch dat bij een grote grondwaterstroming de thermische straal groter zal zijn en dus een groter beïnvloedbaar gebied ontstaat. Ook hier geldt dat met een relatief dik watervoerend pakket met een hoge doorlatendheid de invloed minder is. Tevens geldt dat de thermische invloed kan worden beperkt door watervoerende pakketten te kiezen waarin de stromingssnelheid van het grondwater klein is. Gezien de geringe temperatuurverschillen bij de meeste koude- warmteopslagsystemen (7 tot 25°C) worden slechts beperkte effecten verwacht op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater. Aan

maaiveld zijn thermische effecten te verwaarlozen ten opzichte van de dagelijkse in- en uitgaande zonnestraling.

Voor bodemwisselaars geldt dat bij een grotere energievraag het beïnvloedbare gebied kleiner wordt. Dit is ook van toepassing op de diepte. Indien de bodemwisselaars 2 maal zo diep worden geplaatst, wordt het beïnvloedgebied ongeveer 2 maal zo klein. Dit is van toepassing in Brussel bij projecten matig geschikt en zeer geschikt.

Milieu-effect 6: Thermische invloedsgebied met $dT = 1 \text{ K}$ op 0,5 m-mv na 20 jaar

Dit milieueffect is niet van toepassing bij grondwatersystemen wel bij bodemwarmtewisselaars. Algemeen kan geconcludeerd worden dat hoe dieper de bodemwarmtewisselaars worden geplaatst hoe kleiner het thermische beïnvloedingsgebied aan maaiveld is. Het beïnvloedingsgebied wordt niet beïnvloed door de energievraag naar de bodem dwz dat bij grotere systemen het beïnvloedingsgebied ongeveer gelijk blijft. Dit hangt nauw samen met een goede dimensionering en uitbating van het systeem en met de energiebalans van de bodem.

9.2.3.4 Lekken

Lekken naar de bodem kunnen optreden doordat het systeem niet goed functioneert of geïnstalleerd werd. Dit is van toepassing bij grondwatersystemen als bij bodemwarmtewisselaars. We beschouwen twee milieueffecten. Het eerste milieueffect werd reeds besproken bij de paragraaf van de bodemverontreiniging (**Milieueffect 2:** Volume glycol dat naar bodem lekt) en is geldig bij de 2 systemen. **Milieueffect 7** geeft aan dat een bepaald percentage extra infiltratie over de deklaag langs lekkende boorgaten kan optreden en is van toepassing bij grondwatersystemen als bij bodemwarmtewisselaars.

Milieueffect 7: Percentage extra infiltratie over de deklaag langs lekkende boorgaten (S2)

Lekkage van water kan optreden als een boorgat niet goed wordt afgedicht. Het niet afdichten van het boorgat tijdens de afwerking van het boorgat geeft aanleiding tot het ontstaan van dit milieueffect en kan structureel of incidenteel van aard zijn. Structureel betekent dat de uitvoeringswijze niet volgens goed vakmanschap werd uitgevoerd. Om deze laatste situatie te voorkomen wordt in het lastenboek voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars bestekteksten en beschrijvingen toegevoegd op welke manier een boorgat dient afgedicht te worden. Bij grondwatersystemen kan dergelijk milieueffecten ook optreden door een openbarsting van de bronnen met als reden een te hoge injectiedruk. Dit kan vermeden worden door een doordacht ontwerp en door meten van de injectiedruk. Bij een te hoge injectiedruk dient er een alarm gegeven te worden. Eventueel kan men op dat moment gebruik maken van een spuivoorziening. Bij kleinere systemen is de kans groter dan bij grotere systemen en dit omwille van de gebruikte boormethode. Voor zover bekend zijn in de literatuur geen cijfers voorhanden die deze lekkans becijferen.

9.3 Preventieve en correctieve maatregelen

In deze paragraaf worden preventieve en correctieve maatregelen beschreven die milieueffecten kunnen verminderen op basis van onze nationale en internationale ervaringen en literatuuronderzoek. De doelstelling van deze maatregelen is om te sterven naar een aanvaardbaar of verwaarloosbaar risico van bodembelasting door stoffen, water of energie. In eerste instantie gaat de voorkeur uit naar preventieve maatregelen. Heeft dit geen effect dan kan door het toepassen van correctieve maatregelen het milieueffect worden teruggedrongen. Een preventieve maatregel is een maatregel waarbij een bepaald (ongewenst) resultaat wordt voorkomen. Een correctieve maatregel is een maatregel waarbij het (ongewenste) resultaat geheel of gedeeltelijk ongedaan wordt gemaakt. In deze studie wordt uitgegaan van maatregelen volgens de best uitvoerbare en bestaande technieken. De maatregelen worden eerst getoetst op hun haalbaarheid, effectiviteit en kosten.

Niet alle maatregelen zijn praktisch inzetbaar en het is een aanbeveling om bij de implementatie van deze maatregelen geen negatieve effecten voor de marktontwikkeling van geotechnieken mee te geven. Een al te zware belasting aan maatregelen zou een negatieve impact kunnen hebben op de marktontwikkeling. Een aantal maatregelen heeft een effect op meer dan één milieueffect en de keuze is vaak ook locatiegebonden en hangt af van de insteek die men wil bereiken.

9.3.1 Overzicht preventieve en correctieve maatregelen

Tabel 50 geeft een overzicht van de preventieve maatregelen bij grondwatersystemen voor de verschillende milieueffecten (nummer 1 tot en met 7). Tabel 51 geeft dezelfde tabel weer voor de bodemwarmtewisselaars. De (+) betekent dat de maatregel positief werkt (en dus het milieueffect verminderd wordt) en de (-) dat de maatregel negatief werkt.

Tabel 50: Overzicht preventieve en correctieve maatregelen bij grondwatersystemen

Preventieve maatregelen	Milieueffecten						
	1	2	3	4	5	6	7
Vergroting van het aantal vollasturen		+	+				
Vergroten van dT	+	+	+		+		
Energetische balans					+		
Bronnen in lijn met stroming					+		
Bronnen kruislings plaatsen			+	+			
Meerdere kleine bronnen toepassen			+	+			
Boorgat afdichten of grouten		+					+
Boorgatmeting		+					+
Waterbalans sluitend maken	+/-						
Dubbelwandige warmtewisselaar gebruiken							+
Propyleenglycol gebruiken							+
Overdruk in grondwatersystemen							+
Lekdetectie							+
Bodemherstel							+

Vergroting van het aantal vollasturen

Indien het aantal vollasturen van een grondwatersysteem wordt verhoogd met bijvoorbeeld een factor 2 dan neemt het benodigde vermogen (en dus het benodigd te onttrekken grondwaterdebiet) met de helft af. Door een kleine broncapaciteit worden de investeringskosten lager, dient er geboord te worden met kleine diameters en worden de hydraulische effecten (milieueffecten 3 en 4) kleiner. De kans op een lekkend boorgat zal dan ook verminderen (milieueffect 2).

Een vergroting van het aantal vollasturen heeft dus een invloed op de beperking van de emissie van water tot gevolg. Dit is een preventieve maatregel.

Vergroten van dT

Als met vorige maatregel is dat bij het vergroten van het temperatuurverschil tussen de koude en warme bron de benodigde broncapaciteit wordt verminderd. Ook hier worden de bron diameters dan kleiner met een invloed naar de hydraulische en thermische effecten (milieueffect 1, 2, 3 en 5). Een vergroting van het temperatuurverschil heeft dus een invloed op de beperking van de emissie van water tot gevolg. Dit is een preventieve maatregel.

Energetische balans

Door een energetische balans te handhaven wordt het thermische effect (milieueffect 5) mogelijks verkleind. Bij het ontwerp van een grondwatersysteem dient voldoende aandacht te worden besteed aan de bepaling van de uurlijkse warmte en koudevraag van het gebouw of proces. Deze maatregel kan enkel genomen worden indien de installatie zich daarvoor leent. Bij enkel koude of warmteonttrekking zal steeds een energetische onbalans aanwezig zijn en zijn extra investeringen nodig.

Bronnen in lijn met stroming

Het plaatsen van de bronnen in lijn met de grondwaterstroming kan leiden tot een verkleind thermische invloedsgebied (milieueffect 5) doordat de thermische bel van de ene bron de andere thermische bel overlapt.

Het ontwerp van een grondwatersysteem is complex en dient uitgevoerd te worden door gespecialiseerde firma's die de beschikking hebben over grondwatermodellen.

Bronnen kruislings plaatsen

Door het kruislings plaatsen van de bronnen wordt het hydraulische invloedsgebied en de snelheidsveranderingen van het grondwater in de omgeving van de bronnen verkleind.

Er zal dan ook minder verplaatsing zijn van verontreinigd grondwater en de stijghoogte- en grondwaterveranderingen zijn dan ook geringer. Nadeel bij deze maatregel is dat er meer horizontaal leidingwerk nodig is tussen de bronnen. Ook zijn de injectiedrukken lager wat in het buitenland reeds veelvuldig wordt toegepast en ook op sites met meerdere bronnen een nuttige maatregel is.

Meerdere kleine bronnen toepassen

Om de stijghoogteveranderingen nog te beperken kan het benodigde debiet verdeeld worden over meerdere bronnen die dan ook kleiner zijn. Nadeel van deze maatregel is dat de totale investeringskosten van de bronnen toenemen en dat de exploitatie complex wordt.

Boorgat afdichten (of grouten) in combinatie met boorgatmeting

Het goed afdichten van een boorgat is een maatregel die eigenlijk “common practice” zou moeten zijn. Bij “grouten” wordt het boorgat afdicht met een mengsel van bentoniet, zand, cement en water. Hiervoor zijn op de markt verbeterde thermische grouts beschikbaar die reeds in een bepaalde verhouding zijn gemengd.

Voor de rest is het bij deze maatregel nodig dat er op voldoende dieptes van elkaar grondstalen worden genomen van de bodem en bij eventuele doorboringen van verschillende lagen voldoende wordt afdicht. Indien deze maatregel wordt toegepast zal de kans op extra infiltratie via het boorgat van grondwater verminderd worden.

Waterbalans sluitend maken

Door een waterbalans sluitend te maken (evenveel onttrokken als geïnjecteerd) wordt de verplaatsing van de verontreiniging van grondwater geminimaliseerd en wordt het energetisch rendement beter. Nadeel van deze maatregel is dat de grondwatersystemen hiervoor dienen uitgerust te zijn om die balans te kunnen sluiten en dat de investeringskosten hoger zijn. Dit kan gerealiseerd worden door het gebruik van koeltorens die het opgewarmde water terug kunnen afkoelen. Dit is niet per definitie nodig zolang de bodemtemperatuur niet boven de 25°C oploopt.

Dubbelwandige warmtewisselaar gebruiken

Door het plaatsen van een dubbelwandige primaire warmtewisselaar met het grondwater- en het gebouwencircuit verkleint de kans op lekken vanuit het gebouwencircuit naar het grondwater.

Propyleenglycol en geen antivries gebruiken

Het gebruik van monopropyleenglycol in plaats van ethyleenglycol is een maatregel die een effect heeft op de verontreiniging van de bodem en op het milieueffect door lekken. Monopropyleenglycol is minder schadelijk voor menselijke consumptie, breekt sneller af indien het in de bodem komt maar is aanzienlijk duurder.

Overdruk in grondwatersystemen

Als het grondwatersysteem op een hogere druk bedreven wordt dan het gebouwencircuit (met eventueel glycol als transportmiddel) zal in het geval van een lek grondwater naar het gebouwencircuit lekken en niet andersom. Er dient op gelet te worden dat de bronpompen niet op een te hoge druk werken vanwege een hoge druk in het gebouwencircuit. Het hogere elektriciteitsverbruik van de bronpompen zou de energiebesparing door vrije koeling sterk verminderen.

Lekdetectie

Bij grondwatersystemen valt lekdetectie onder de “common practice” maatregelen. Controle op lekdetectie wordt uitgevoerd via niveau en drukmeting in de bronnen. Deze maatregel zou algemeen moeten worden toegepast en wordt dan ook beschreven in de lastenboeken voor grondwatersystemen.

Bodemherstel

Indien er ondanks alle preventieve maatregelen toch een bodembelasting optreedt, dient de bodem te worden hersteld. In een aantal landen is dit in de wetgeving opgenomen. Deze maatregel kan uitgevoerd worden door een bodemsanering en valt onder de correctieve

maatregelen en is enkel haalbaar voor ondiepe verontreinigingen. Vaak kan door het gebruik van een grondwatersysteem de sanering van het grondwater worden uitgevoerd. Het grondwater wordt opgepompt, gefilterd en gezuiverd teruggeplaatst.

Tabel 51: Overzicht preventieve en correctieve maatregelen bij bodemwarmtewisselaars

Preventieve maatregelen	Milieueffecten						
	1	2	3	4	5	6	7
Energetische balans		+			+	+	+
Eisen stellen aan maximaal vermogen		-			-	-	-
Geen antivries gebruiken		-			-	-	+
Boorgat afdichten of grouten		+			-	-	-
Propyleenglycol gebruiken							+
Boorgatmeting							+
Lekdetectie							+

Energetische balans

Zoals bij grondwatersystemen heeft een energetische balans van het systeem een invloed op het aantal benodigde lussen en dus de investeringskosten. Ook heeft deze maatregel een invloed op de verschillende milieueffecten (2, 5, 6 en 7). Indien jaar in jaar uit dezelfde hoeveelheid warmte aan de bodem wordt onttrokken zal de temperatuur over een tijdspanne van 10 jaar dalen tot onder de natuurlijke grondwatertemperatuur. Daarom wordt voor dergelijke systemen vaak gesproken van een koudeopslag omdat de temperatuur na verloop van tijd rond de 8°C zal schommelen. Het in evenwicht brengen van de energiebalans is hier ook een nuttige maatregel die de bodem zal sparen van bevriezing of uitputting.

Eisen stellen aan maximaal vermogen

Hoe hoger het te onttrekken vermogen per meter boorgatlengte, hoe sneller dat de temperatuur in het boorgat zal dalen. Er zal dus minder bevriezing optreden indien het vermogen per meter boorgatlengte lager is. Deze maatregel kan ook verschillen naarmate de bodemstructuur zodat bijvoorbeeld een strenge eis naar maximaal te onttrekken vermogen in zeer geschikte gebieden de economische haalbaarheid zou kunnen schaden. In andere gebieden zou dan te vlug bevriezing optreden.

Boorgat afdichten of grouten

Zelfde maatregel als bij de grondwatersystemen.

Propyleenglycol en geen antivries gebruiken

Zelfde maatregel als bij de grondwatersystemen.

Boorgatmeting

Zelfde maatregel als bij de grondwatersystemen.

Lekdetectie

Zelfde maatregel als bij de grondwatersystemen.

9.3.2 Overzicht haalbaarheid, effectiviteit en kosten maatregelen

In de vorige paragraaf werd een beschrijving gegeven van de preventieve en correctieve maatregelen ter vermindering van de milieueffecten. Niet alle maatregelen zijn haalbaar, zijn ook effectief (voorkomen ze of bestrijden ze het milieueffect) en zijn economisch haalbaar (kosten). Ook dient bij de implementatie van deze maatregelen via een wettelijk kader aandacht besteed te worden aan de realiseerbaarheid. Door een onwerkbaar situatie te creëren door het instellen van te veel maatregelen kan de introductie van dergelijke systemen sterk belemmerd worden.

Tabel 52 toont een overzicht van de haalbaarheid, effectiviteit en kosten voor de preventieve en correctieve maatregelen bij grondwatersystemen. Deze cijfers zijn afgeleid uit eigen ervaringen van grondwatersystemen en uit internationale ervaringen van deskundigen en uit literatuuronderzoek. Ze worden aangegeven in de vorm van tekens vermits een bepaling op basis van reële kostprijzen niet mogelijk is gezien het aantal varianten op de installaties en de verschillende invloedsfactoren. Tabel 53 toont dezelfde tabel maar voor bodemwarmtewisselaars. De aangegeven prestatiebeoordeling in de tabel ziet er als volgt uit:

- ++: zeer groot;
- +: groot;
- 0: redelijk;
- -: gering;
- --: zeer gering.

Tabel 52: Overzicht toetsing preventieve en correctieve maatregelen bij grondwatersystemen

Preventieve maatregelen	Haalbaarheid	Effectiviteit	Kosten
Vergroting aantal vollasturen	+	+	+
Vergroten van dT	+/-	+	0
Energetische balans	-	+	-
Bronnen in lijn met stroming	-	+	-
Bronnen kruislings plaatsen	-	+	-
Meerdere kleine bronnen toepassen	+/-	0	--
Boorgat afdichten of grouten	+	+	0
Boorgatmeting	+	-	-
Waterbalans sluitend maken	-	+	-
Dubbelwandige warmtewisselaar	+	+	--
Propyleenglycol gebruiken	+	0	-
Overdruk in grondwatersystemen	+/--	0	+/--
Lekdetectie	+	+	0
Bodemherstel	-	-	--

Voor de grondwatersystemen kunnen de milieueffecten op volgende manier verminderd worden:

- Door het verhogen van het aantal vollasturen worden hydraulische effecten gereduceerd. Nadeel is dan weer dat de kans op lekken wordt verhoogd. Het gebruik van grondwatermodellen wordt aanbevolen in het ontwerpstadium van een project.
- Een verhoging van het temperatuursverschil tussen warme en koude bron heeft een invloed op de hydraulische en thermische effecten. Bovendien wordt een vergroting van de verontreiniging verminderd (doordat er minder grondwater dient onttrokken te worden voor hetzelfde vermogen te leveren bij een hoger temperatuurverschil).
- Door het uitgaan van een thermische balans wordt het invloedsgebied drastisch verkleind. Ook het in lijn of kruiselings plaatsen van de bronnen heeft hierop een invloed al zal deze maatregel niet altijd technisch en financieel haalbaar zijn.
- Er dient ten allen tijden gewerkt te worden met monopropyleenglycol in plaats van ethyleenglycol omdat bij lekken het milieueffect een stuk kleiner is en de bodem nog hersteld kan worden zonder extra investeringen. De lekkans is in beide gevallen dezelfde maar de schade aan het milieu is dat niet.

Tabel 53: Overzicht toetsing preventieve en correctieve maatregelen bij bodemwarmtewisselaars

Preventieve maatregelen	Haalbaarheid	Effectiviteit	Kosten
Energetische balans	-	+	--
Eisen stellen aan maximaal vermogen	-	+	--
Geen antivries gebruiken	+	++	--
Boorgat afdichten of grouten	-	+	--
Propyleenglycol gebruiken	+	-	-
Boorgatmeting	+	-	-
Lekdetectie	+	+	0

Voor de bodemwarmtewisselaars kunnen de milieueffecten op volgende wijze worden verminderd:

- Een energetische balans van het systeem en de installatie zijn steeds wenselijk. Dit hangt nauw samen met de toepassing van de geotechniek maar algemeen kan men stellen dat deze maatregel effectief is maar dat de kosten kunnen toenemen. Ook hier is een berekening van de uurlijkse warmte- en koudevraag van een project met gebouwsimulatieprogramma's aan te raden.
- Door het gebruik van leidingwater als transportmiddel wordt de kans op lekken niet minder maar de milieueffecten naar verontreiniging van de bodem worden minder. Echter, door deze maatregel nemen alle andere milieueffecten toe doordat meer bodemwisselaarslengte nodig is om eenzelfde vermogen te kunnen onttrekken. Het gebruik van monopropyleenglycol wordt dan ook aangeraden boven ethyleenglycol al is het een pak duurder. Dus het vermijden van een antivriesmiddel is ongunstig voor het milieu.
- Het gecontroleerd afdichten van het boorgat en het tegelijkertijd uitvoeren van een boorgatmeting aan de hand van bodemstalen is een maatregel die effectief blijkt te zijn.
- Voor de grotere projecten (meer dan 25 wisselaars) wordt geadviseerd om een TRT-meting te laten uitvoeren die de bodemkarakteristieken ter plaatse kan opmeten. In een TRT-meting wordt de thermische geleidbaarheid en de boorgatweerstand opgemeten.

Deze hebben immers een sterke invloed op het mogelijks ontstaan van milieueffecten indien de ontwerper uitgaat van literatuurgegevens.

9.4 Voorstel onderzoeksmogelijkheden volgende studie

De in de vorige paragrafen opgelijste milieueffecten, de preventieve maatregelen en de effectiviteit en kosten van deze maatregelen voor geotechnieken kunnen als uitgangspunt (en als basisdocument) gebruikt worden voor een volgende studie waar het effect op de hydro(geo)logie nader onderzocht kan worden. De effecten op de bodemkundige en geologische waarden vereisen ook meer onderzoek.

De milieueffecten kunnen elk op zijn beurt technisch berekend worden in getalwaarden op basis van beschikbare of soms ingeschatte informatie. Alhoewel in de bestaande literatuur rond de milieueffecten van geotechnieken er nog een aantal kennishiaten zijn die in een volgende onderzoek zouden kunnen opgenomen worden. Het betreft hier vooral kennishiaten of onbrekende data over bijvoorbeeld lekverliezen, ... De samenstelling van toegevoegde inhibitoren aan antivriesmiddelen is vanwege bedrijfseconomische argumenten van de producent geheim en hun invloed op de bodem en de bodemecologie is daarom niet gekend.

Een volgende studie zou volgende zaken meer in detail kunnen uitwerken:

- Een onderscheid kan gemaakt worden in de grootte van het systeem (in MWh onttrokken energie uit de bodem). Afhankelijk van de hoeveelheid onttrokken energie kan één of ander milieueffect een grote rol gaan spelen. Hier geldt trouwens hoe meer MWh onttrokken hoe groter de kans op een milieueffect. Deze parameter blijkt voor alle milieueffecten een goede parameter te zijn voor de classificatie;
- Het effect van verschillende bodemsoorten (opgespoten terrein, zandgebied, ...) kan onderzocht worden. Hier dient gedacht te worden aan verschillende geologische samenstellingen en de invloed van de samenstellingen op het milieueffect;
- Een verdere opsplitsing in installaties en systemen zijn mogelijk. Zo denken wij aan grondwatersystemen volgens het recirculatietype of monobron systemen. In de voorliggende studie zijn enkel de basisvarianten en de meest voorkomende systemen opgelijst.
- De milieueffecten bij de verwijdering van de installatie of het systeem kunnen in rekening gebracht worden. Dit geldt eveneens voor maatregelen tijdens het ontwerp, het beheer en de exploitatie ;
- Negatieve milieueffecten zoals het in de bodem ingebrachte kunststof materiaal bij bodemwarmtewisselaars of het ingebrachte materiaal klei of grind bij grondwatersystemen zou verder onderzocht kunnen worden. Dit geldt eveneens voor het achterblijvende materiaal in de bodem bij deze laatste systemen;
- De geohydrologie van Brussel kan meer in detail onderzocht worden en de kansenkaarten kunnen verder verfijnd en uitgebreid worden.

10 TAAK 9 : GOEDE PRAKTIJK

In deze paragraaf worden de goede praktijk regels opgesteld voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars die de ontwerper, de installateur, de exploitant en de vergunningsverlenende overheid toelaten om dergelijk systemen op de markt te implementeren. De extra kosten van een aantal maatregelen zijn verwaarloosbaar vermits deze deel uitmaken van een goed en doordacht ontwerp.

Vooreerst worden een aantal technische voorwaarden beschreven die aan een aanvrager kunnen opgelegd worden in het kader van een milieuvergunning. Nadien worden criteria gegeven die door de overheid kunnen gebruikt worden om de systemen te kunnen beoordelen. Het is duidelijk dat dit algemene richtlijnen zijn vermits door de vele verschillende combinaties van geotechnieken en thermische gebouwinstallaties verschillende specifieke richtlijnen mogelijk zijn. Deze richtlijnen zijn ook niet bindend en in een specifiek geval kan van deze afgeweken worden. Als laatste worden regels van goede praktijk meegegeven die door de ontwerper, installateur of exploitant kunnen gegeven worden bij de implementatie van een project.

10.1 Technische voorwaarden milieuvergunning

Tabel 54 geeft een aantal technische voorwaarden voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars die aan de milieuvergunningen kunnen toegevoegd worden.

Tabel 54: Overzicht technische voorwaarden milieuvergunningen

Grondwatersystemen	Bodemwarmtewisselaars
- geen grondwateronttrekkingen in openbare watervoorzieningsgebieden	- afdichten van het boorgat
- onttrekking- en infiltratiefilters in hetzelfde watervoerend pakket zowel fysisch als chemisch	- voorzien van kleistoppen ter hoogte van scheidende lagen
- voorzien van kleistoppen ter hoogte van scheidende lagen	- bij boringen dieper dan 50 m boorverslag opstellen
- voorzien van peilbuis per filter	- bij buitendienststelling boorgaten afdekken en opvullen
- voorzien van metingen onttrekking- en infiltratiedebiet en vermogen	- voorzien van energiemetingen en temperaturen ondergrond
- geen lozing van opgepompt grondwater op de oppervlaktewateren of in riool (uitgezonderd spuien)	
- opleggen pompproef indien onvoldoende zekerheid omtrent grondwaterdebiet	- opleggen thermische repons test indien bodemkenmerken niet gekend zijn en bij grote systemen vanaf 20 boringen standaard op te nemen

Bij het toekennen van een milieuvergunning voor een project zou aan de indiener een aantal technische voorwaarden kunnen opgelegd worden bij ontwerp, installatie, exploitatie en

buitendienststelling zonder dat dit onnodige zware eisen zou geven en dat de installatie niet economisch wordt.

Grondwatersystemen

Grondwatersystemen die een vergunning vragen in hetzelfde watervoerend pakket als de openbare watervoorzieningsgebieden dienen verboden te worden. Ook is het van belang dat door de indiener geëvalueerd wordt welke grondwateronttrekkingen er in de buurt van het project zijn. Dit om de invloed van het ene systeem op het andere te kunnen evalueren.

Om menging van verschillende waterkwaliteiten te vermijden en om bodemverontreiniging tegen te gaan is het noodzakelijk dat uit hetzelfde watervoerend pakket wordt onttrokken en geïnjecteerd. Hierbij hoort ook de technische voorwaarde van het afdichten van scheidende lagen.

Absoluut noodzakelijke voorwaarde is een meting via een piepbuis op te leggen evenals een continue meting van het grondwaterdebiet en het vermogen. Met deze gegevens kan gecontroleerd worden of het systeem een energetische balans heeft of niet. Indien niet kunnen maatregelen genomen worden. Deze debietsmeting kan eenvoudig uitgevoerd worden door het plaatsen van een turbinemeter of elektromagnetische meter. De temperatuursensoren dienen wel gepaarde sensoren te zijn omdat zij het temperatuurverschil dienen te meten. Deze worden dan in een labo tezamen gekalibreerd.

Bij het injecteren van grondwater dient verboden te worden dat dit geloosd wordt op de oppervlaktewateren of in de riool. Uitzondering hierop betreft het spuien van de bronnen tijdens onderhoudswerken. Een maximaal debiet kan toegelaten per jaar en per project. Deze toelating dient niet elk jaar opnieuw te worden aangevraagd.

Bodemwarmtewisselaars

Voor bodemwarmtewisselaars is het afdichten van het boorgat bovenaan en in de het boorgat een technische voorwaarde die “common practice” zou moeten zijn. We verwijzen hier graag naar [23] voor regels van goede praktijk.

Ook het afdichten van scheidende lagen bij doorboring wordt aanbevolen om de menging van verschillende waterkwaliteiten en vervuiling van de bodem tegen te gaan.

Een algemene eis is dat bij boringen op meer dan 50 m diepte er een boorverslag dient opgemaakt te worden en aan de vergunnende overheid wordt overhandigd. In dit boorverslag kan een beschrijving van de geo(hydro)logie opgemaakt worden alsook de plaats en de locatie van de boring, met welke materiaal er werd aangevuld, ...etc. Na verloop van tijd kan een database worden opgesteld met mogelijke boorverslagen in het BHG. Dit laat aan andere partijen toe om de lokale geologische situatie te kunnen bekijken.

Bij een buitendienststelling van een installatie is het belang dat de boorgaten voldoende worden afgedicht met een geschikt materiaal en dat eventueel de bronnen kunnen dichtgevuld worden.

10.2 Beoordelingscriteria en minimum eisen

10.2.1 Beoordelingscriteria

Bij het indienen van een milieuvergunning moet het voor de overheid duidelijk zijn op welke milieueffecten het systeem een invloed kan hebben. Bij het ontvangen van dossiers moet het voor de overheid duidelijk zijn of de systemen bij uitbating en realisatie geen schade gaan geven aan de bodem. In deze paragraaf worden kort een aantal beoordelingscriteria voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars opgesomd. Tabel 55 toont de beoordelingscriteria voor grondwatersystemen en voor bodemwarmtewisselaars.

Tabel 55: Beoordelingscriteria grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars

Beoordelingscriteria	Grondwatersystemen	Bodemwarmtewisselaars
Is locatie geschikt voor techniek ?	Techniek is toepasbaar waar mogelijk en eerst te bekijken (zie kansenskaart KWO)	Overall toepasbaar (zie kansenskaart BEO)
Geo(hydro)logie	Wat is de lokale bodemopbouw? Kan voldoende grondwaterdebiet onttrokken worden uit de aquifer (minimum 10 m ³ /h)?	Wat is de lokale bodemopbouw?
Grondwateronttrekkingen	Minimum straal van 500 m voor nabijliggende grondwateronttrekkingen of grondwatersystemen	Minimum straal van 300 m voor nabijliggende grondwateronttrekkingen of bodemsystemen
Is pompproef nodig ?	Ja indien onvoldoende garantie kan gegeven worden over het grondwaterdebiet	NvT
Is thermische respons test nodig ?	NvT	Ja indien weinig info gekend over ondergrond en vanaf 20 boringen standaard op te nemen
Werd een haalbaarheidsstudie opgemaakt?	Nodig voor grote systemen of ongekende ondergrond	Nodig voor grote systemen of ongekende ondergrond
Is energiebalans sluitend?	Balans in warmte en koudevraag nodig	Balans in warmte en koudevraag nodig
Zijn milieueffecten en maatregelen beschreven?	Kan opgenomen worden in haalbaarheidsstudie anders in milieuvergunningaanvraag op te nemen	Kan opgenomen worden in haalbaarheidsstudie anders in milieuvergunningaanvraag op te nemen

10.2.2 Minimum eisen

Voor de grondwatersystemen en de bodemwarmtewisselaars kunnen een aantal minimumeisen opgelegd worden vanaf dewelke deze systemen rendabel zijn. Deze grenzen zijn echter niet bindend en niet limiterend. Tabel 55 toont de minimumeisen voor grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars.

Tabel 56: Minimumeisen grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars

Minimum eisen	Grondwatersystemen	Bodemwarmtewisselaars
Grondwaterdebiet	Min 10 m ³ /h	NT
Watervoerende laag	Min 30 m aquifer en niet dieper dan 150 m	NT
Natuurlijke grondwaterstroming	< 30 m/jaar	< 10 -20 m/jaar
Nodig koelvermogen	Min 150 kW	Geen eis
Temperatuurstraject verwarming met warmtepomp	30 – 45 °C	30 – 45 °C
Temperatuurstraject koeling	12/18°C	14/18°C
Thermische straal	500 m	300 m

Het opgeven van minimale energiehoeveelheden, minimale grondoppervlakte, ... is moeilijk omdat het ontwerp van geotechnieken gesteund is op een dynamische opslag en hier zowel de combinatie van het vermogen als de energiehoeveelheid een belangrijke rol speelt.

De geotechnieken zijn echter toepasbaar vanaf een minimum kantooroppervlakte van een 2.000 à 3.000 m², ziekenhuizen en rusthuizen hebben geen ondergrens. Voor de appartementen geldt een ondergrens van een 4 à 6 flats per appartementsgebouw voor de beide geotechnieken.

10.3 Regels of adviezen aan ontwerper, installateur of exploitant

10.3.1 Projectverloop

Aan een ontwerper, installateur of exploitant kunnen een aantal regels of adviezen worden meegegeven om het project een zo groot mogelijke slaagkans te geven en eventuele fouten in een vroeg stadium te kunnen vermijden. Een project met energieopslag kan best in een aantal fasen worden onderverdeeld. Deze fasering heeft als doel om voor elk van de betrokken partijen een aantal kritische momenten in te bouwen die toelaten om besluiten te nemen over bepaalde keuzes. De wijze waarop een project doorlopen wordt is steeds specifiek en wordt bepaald door de betrokken partijen en organisaties. De projecttijd (vanaf ontwerp tot realisatie en inbedrijfname) is afhankelijk van de gekozen geotechniek maar bedraagt typisch 6 à 12 maanden. Een project kan uit volgende fasen bestaan:

- Haalbaarheidsstudie;
- Voorontwerp;
- Vergunningsaanvraag;
- Definitief ontwerp en lastenboek;
- Aanbesteding;
- Uitvoering en realisatie;
- Nazorg en beheer.

Haalbaarheidsstudie

De haalbaarheidsstudie geeft een inzicht in de technisch-economische-ecologische mogelijkheden en beperkingen van de voorgestelde installatie en laat toe om een objectieve beslissing te nemen over het al dan niet in de praktijk brengen van deze technologie. Dit onderzoek betreft géén ontwerp van de installatie. Deze haalbaarheidsstudie wordt niet altijd uitgevoerd. Indien men zeker is van de toepasbaarheid naar geologie en energieconcept en de financiële consequenties naar investeringen en exploitatiekosten kan deze fase worden weggelaten.

Tijdens een haalbaarheidsstudie komen over het algemeen de volgende punten aan de orde:

- Systeemconcept (koudeopslag, BEO, EP, ...)
- Uitgangspunten (vermogen, energiehoeveelheid, temperatuurniveaus);
- Geohydrologie (bodempopbouw, grondwaterstroming, grondwateronttrekkingen);
- Globaal ontwerp van de installatie;
- Beschrijving hoofdcomponenten;
- Investeringsraming;
- Exploitatiekostenbesparing;
- Terugverdientijd, intern rendement en netto actuele waarde.

Voorontwerp

Bij de opmaak van een voorontwerp worden alle uitgangspunten vastgelegd en wordt er een schetsmatige ontwerp met kostenberekening en beschrijving van de hoofdcomponenten van het systeem gemaakt. De locaties van de bronnen (bij grondwatersystemen) en het BEO veld (bij bodemwarmtewisselaars) samen met energieconcept zijn de belangrijkste zaken. Ook het uitvoeren van energiesimulatie berekeningen is een belangrijke stap in het voorontwerp en is een uitgangspunt die de nodige aandacht en zorg vereist.

Na het voorontwerp kan gestart worden met de detaillering van het ontwerp in het definitief ontwerp en lastenboek en de werkzaamheden voor de milieuvergunning.

Milieuvergunning

Bij een geotechniekproject kan best zo vlug mogelijk gestart worden met de aanvraag van een milieuvergunning. In deze milieuvergunning dienen de aspecten te worden opgenomen die door de vergunningsverlenende overheid zijn opgelegd.

Definitief ontwerp en lastenboek

In de fase van het definitief ontwerp en lastenboek wordt het ontwerp meer in detail uitgewerkt. Dit ontwerp wordt dan vertaald in een lastenboek met beschrijvingen van het systeem. Bij het opstellen van een lastenboek moet rekening gehouden worden met de wijze waarop het werk wordt aanbesteed (turn key oplossing, offertevraag, openbare aanbesteding, ...).

Aanbesteding

Bij aanbesteding van het dossier worden aan een aantal partijen een prijs opgevraagd en afhankelijk van de toekenningvoorwaarden aan een partij gegund.

Uitvoering en realisatie

De realisatie van een ondergronds opslagsysteem wordt gerealiseerd door gespecialiseerde firma's die vaak met onderaannemers werken. De coördinatie en de onderlinge verantwoordelijkheden dienen op voorhand vastgelegd te worden zodat de planning en de uitvoering van de werken niet in het gedrang komen.

Nazorg en beheer

Een van de belangrijkste fasen uit een project is zeker de fase van de nazorg en beheer. Het project mag dan zo goed en doordacht zijn ontwikkeld maar indien er geen nazorg is van het systeem zal dit niet leiden tot een goede installatie. Het opstellen van een onderhoudscontract met de installateur of energieadviseur is dan ook geen overbodige luxe. Bij grondwatersystemen en bodemwarmtewisselaars dienen zeker de nodige voorzieningen te worden getroffen om continue monitoring van grondwaterdebiet, vermogen, energiehoeveelheid en temperaturen te voorzien. Deze geven een schat aan informatie over hoe het systeem zich door de jaren heen gedraagt en kunnen gebruik worden om een optimalere afstelling of instelling van het systeem te bekomen.

Vaak wordt deze fase in het bouwproces als overbodig geacht maar de gebruiker kan niet aan zijn lot worden overgelaten met een dergelijke geothermische installatie. De kans op slagen is immers groter indien een nazorg van het systeem wordt voorzien.

10.3.2 Algemene regels of adviezen

Volgende regels of adviezen zijn van toepassing op alle geotechnieken en dienen om de ontwerper, de installateur of de exploitant voldoende informatie te geven omtrent deze geothermische projecten. De volgende regels of adviezen kunnen meegegeven worden:

- Bepaal in een zo vroeg mogelijk stadium van het bouwproject of geotechnieken gaan worden opgenomen in het ontwerp. Vaak is het niet eenvoudig om een geotechniek in een bestaand HVAC ontwerp in te passen. Vooral het hogere koeltemperatuurniveau (12/18°C bij KWO of 14/18°C bij BEO) kan voor problemen zorgen indien de HVAC-installatie op 6/12°C is ontworpen;
- Laat een haalbaarheidsstudie uitvoeren indien de lokale geologie of de toepassing van het project niet voor 100% zeker zijn. De uitvoering van een pompproef bij KWO en een thermische respons test bij BEO projecten kunnen een aantal onzekerheden wegwerken;
- Bepaal de energiebehoefte (verwarming en koeling) nauwkeurig en gebruik geen richtwaarden voor vermogens en energiehoeveelheden. Een installatie is zo goed als zijn ontwerp. Het gebruik van energiesimulatie programma's is niet eenvoudig en wordt in menig bouwproject als te duur bevonden. Achteraf een installatie aanpassen is een nog duurdere optie;
- Leg de randvoorwaarden van het systeem vast en vraag een akkoord van alle partijen;
- Het ontwerp en realisatie van een geothermische installatie maakt slechts een klein deel uit van het gehele ontwerp doch interactie met de andere systemen is niet onbelangrijk en afspraken moeten gemaakt worden met verschillende aannemers bij de realisatie.

10.3.3 Voorbeeldprojecten rond geotechnieken

In bijlage 4 worden voor de verschillende geotechnieken voorbeeldprojecten aangehaald met energiebesparing, TVT, primaire energiebesparing en CO₂ reductie, ...

Voor de **grondwatersystemen** wordt de installatie bij het Klina ziekenhuis te Brasschaat en bij de verlichtingsfabrikant Etap te Oostmalle gepresenteerd.

Voor de **bodemwarmtewisselaars** zijn nog geen concrete monitoringsresultaten bekend maar worden de resultaten van de door VITO uitgevoerde haalbaarheidsstudies voor het kantoorgebouw EANDIS te Melle en het rusthuis De Notelaer te Beveren gepresenteerd.

Voor de **grondbuis** techniek wordt de resultaten van het kantoorgebouw SD worx te Kortrijk toegelicht.

11 BESLUIT

Voor de bepaling van het technisch en economisch potentieel van geotechnieken in Brussel zijn een 13-tal type referentiegebouwen in de residentiële en tertiaire sector gedefinieerd. In de residentiële sector zijn appartementen en rijwoningen geselecteerd.

In de tertiaire sector werd de nadruk gelegd op de kantoren, winkels, ziekenhuizen en tehuizen. Deze type gebouwen zijn zo gedefinieerd dat ze zo goed als mogelijk een representatief staal vormen van het Brusselse residentiële en tertiaire gebouwenbestand.

In totaal zijn 7 verschillende geotechnieken geanalyseerd. Het betreft de geotechnieken:

TECH 1: Koude-warmteopslag (verwarmen en koelen)

TECH 2: Grondwateronttrekking (louter warmte)

TECH 3: Horizontale bodemwarmtewisselaars (louter warmte)

TECH 4: Verticale bodemwarmtewisselaars of BEO (verwarmen en koelen)

TECH 5: Verticale bodemwarmtewisselaars (enkel warmteonttrekking)

TECH 6: Energiepalen (verwarmen en koelen)

TECH 7: Grondbuizen

Voor wat het technisch potentieel betreft kunnen we concluderen dat de grondwatersystemen de grootste primaire energiebesparing (en dus CO₂ emissie reductie) geven gevolgd door de verticale bodemwarmtewisselaars voor koelen en verwarmen. De horizontale systemen volgen dan maar enkel in de residentiële sector. Als laatste geotechniek komen de grondbuizen met een kleine primaire energiebesparing ten opzichte van de klassieke verwarming- en koudeopwekkers.

Voornamelijk in de tertiaire sector (kantoren en verzorgingsinstellingen) geeft het toepassen van geotechnieken een aanzienlijke primaire energiebesparing bij een gemiddelde meerinvestering van ongeveer 25 Euro/m². De totale actuele kosten van grondwatersystemen liggen een 20% lager dan de referentie en geven een terugverdientijd lager dan 10 jaar gebaseerd op de actuele energieprijzen. Verticale bodemwarmtewisselaars vormen een zeer goed alternatief indien de grondwatersystemen niet technisch mogelijk zijn (toch voor een groot gedeelte van Brussel). Ook hier ligt de terugverdientijd in de buurt van de 10 jaar met een iets hogere meerinvestering.

Bodemsystemen vragen om een preventieve en correctieve maatregelen omwille van een bescherming van het milieu. Hun milieu-impact is bij een goed en doordacht ontwerp echter verwaarloosbaar.

De gesloten systemen op basis van bodemwarmtewisselaars zijn voor het gehele grondgebied van Brussel technisch mogelijk. Alleen zal het aantal te boren meters wisselaar lengte afhankelijk zijn van de locatie. In het westen zullen hiervoor meer warmtewisselaars nodig zijn dan in het oosten van Brussel voor eenzelfde toepassing en vermogen/energiehoeveelheid. De techniek is trouwens toepasbaar zowel in de residentiële, tertiaire als in de industriële sector met een beperking naar het vermogen bij deze laatste.

Voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is nog geen wetgeving in gebruik rond geothermieprojecten (anno 2006). Er is wel een grondwaterwetgeving die een deel dekt van

de open systemen. In de studie werden adviezen opgenomen op welke manier een toekomstige wetgeving kan opgebouwd worden door oa. het opzetten van een systeem voor inventarisatie van boringen en grondwateronttrekkingen, monitoring van energieopslagprojecten, informatieverspreiding rond gebruik van kanskaarten en verder onderzoek naar mogelijkheden Landeniaan.

Milieu-impact

Het onttrekken van grondwater en het gebruiken van verticale of horizontale bodemwarmtewisselaars kan aanleiding geven tot het ontstaan van een milieueffect bij foutief of soms zelfs normaal gebruik. Door het toepassen van een aantal preventieve en correctieve maatregelen kan de milieu-impact van deze geotechnieken verwaarloosbaar of onbestaand worden met als enig doel om de natuurlijke rijkdommen (de bodem) te beschermen voor een jaarlang gebruik. Deze maatregelen vragen over het algemeen geen extra investeringen maar zijn een onderdeel van goed en doordacht ontwerp dat door gespecialiseerde firma's kan worden uitgevoerd.

Algemeen besluit

Als algemeen besluit kan men stellen dat het gebruik van geotechnieken zeker in de tertiaire sector een zeer goede optie is die quasi meerinvesteringen een iets hogere inspanning vraagt maar die energetisch (en dan vooral primair) de nodige energiewinsten oplevert. Een ondersteuning vanuit de overheid naar deze sectoren is dan ook gewenst wil men het potentieel kunnen realiseren. Grondwatersystemen leveren de grootste primaire energiebesparing tegen de laagste meerinvesteringen per m² vloeroppervlakte op ten opzichte van verticale bodemwarmtewisselaars maar grondwater is niet overal in Brussel aanwezig op economische dieptes. De gesloten systemen zijn overal in Brussel mogelijk zij het dat er locale verschillen kunnen optreden ten gevolge van de bodemopbouw (meer of minder wisselaars benodigd voor éénzelfde onttrekkingvermogen). Aandachtspunt bij het gebruik van grondbuizen is dat deze hun toepassing vinden in lage energiegebouwen maar dat aanvullende productie van warmte en of koude steeds nodig zal zijn. Andere geotechnieken komen hier veel beter tot hun recht.

Belangrijke noot

Om een evaluatie te maken van een welbepaald gebouw met een welbepaalde geotechniek in Brussel is steeds een specifieke analyse. Zo is bijvoorbeeld de geohydrologie in Brussel niet overal dezelfde en kan één geotechniek wel in het oosten van Brussel maar niet in het westen worden toegepast. Ook gebouwzijdige aspecten qua afgiftesystemen, temperatuurniveaus, renovatie of nieuwbouwprojecten, ... spelen een belangrijke rol. Veelal dan de exacte getallen geeft deze studie een inzicht in de mogelijkheden van geotechnieken in Brussel en kunnen beleidsrelevante trends afgeleid worden.

BIJLAGE 1: MSDS ETHYLEEN- EN MONOPROPYLEENGLYCOL

CAS-nummer: [107-21-1] - ETHYLEENGLYCOL

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN	BELANGRIJKE GEGEVENS	
Kookpunt, °C 198 Smeltpunt, °C -13 Vlampunt, °C 111 Zelfontbrandingstemperatuur, °C 398 Explosiegrenzen, volume% in lucht 3,2 -53 Soortelijke geleiding, pS/m 1,16*10 ⁸ Dampspanning in mbar bij 25°C 0,12 Relatieve dampdichtheid (lucht = 1) 2,1 Relatieve dichtheid bij 20°C van verzadigd damp/luchtmengsel (lucht = 1) 1,00 Relatieve dichtheid (water = 1) 1,1 Oplosbaarheid in water, g/100 ml volledig Log P octanol/water -1,4 Brutoformule: C ₂ H ₆ O ₂ Relatieve molecuulmassa 62,1	KLEURLOZE VISKEUZE HYGROSCOPISCHE VLOEISTOF (NAGENOEG) REUKLOOS De damp mengt zich goed met lucht. Reageert heftig met oxidatiemiddelen. Reageert heftig met oxiderende zuren.	
	MAC-waarde ¹⁾ (als damp) 20 ppm 52 mg/m ³ H MAC TGG-15 min. (als damp) 40 ppm 104 mg/m ³ H	
	Wijze van opname/inademingsrisico: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp, door inademing van de aerosol, door inslikken en ook via oogcontact. Een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht zal door verdamping van deze stof bij ca. 20°C niet of slechts zeer langzaam worden bereikt; bij vernevelen echter veel sneller. Directe gevolgen: De damp van de stof werkt irriterend op de ogen, de keel en de bovenste luchtwegen. De stof kan inwerken op het centraal zenuwstelsel, met als gevolg verlaging van het bewustzijn en stuiprekkingen. Blootstelling kan bij hoge concentraties tot bewusteloosheid leiden. ²⁾ In aanzienlijke concentraties kan de stof aanleiding geven tot verzuring van de stofwisseling. In ernstige gevallen kans op afwijkingen aan hart-en longweefsel. Gevolgen bij langdurige, herhaalde blootstelling: Contact met de huid kan door beschadiging een eczeemachtige huidafwijking veroorzaken. De stof kan op de lever en de nieren inwerken, met als gevolg orgaanbeschadigingen. Afwijkingen van het centraal zenuwstelsel kunnen optreden.	
DIRECTE GEVAREN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN
Brand: brandbaar.	geen open vuur en niet roken.	poeder, alcoholbestendig schuim, sproeistraal water, koolzuur.
SYMPTOMEN	PREVENTIE	EERSTE HULP
WORDT DOOR DE HUID OPGENOMEN	VORMING VAN NEVEL VOORKOMEN! STRENGE HYGIENE!	IN ALLE GEVALLEN ARTS RAADPLEGEN!
Inademen: keelpijn en hoesten, duizeligheid, sufheid, coördinatiestoornissen, misselijkheid, bewusteloosheid.	ventilatie.	frisse lucht, rust, arts raadplegen en direct spoedeisende medische hulp inzetten.
Huid: roodheid en pijn.	handschoenen (butylrubber, PVC).	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen en wassen met water en zeep en arts raadplegen.
Ogen: roodheid en pijn, bindvliesontsteking.	veiligheidsbril.	minimaal 15 minuten spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar (oog)arts brengen.
Inslikken: dronkenschap, stuiprekkingen, misselijkheid, kortademigheid, trillen, bewusteloosheid.		mond laten spoelen, actieve kool (carbomix) toe-dienen, GEEN braken opwekken en direct spoedeisende medische hulp inzetten.
NOODSITUATIE EN OPRUIMING	ETIKETTERING EN OPSLAG	
NOODSITUATIE: Acut gezondheidsgevaar! Bij grotere hoeveelheden: gevarezone ONMIDDELLIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen! Opruimen gemorst product: Draag handschoenen, laarzen, filtermasker met filtertype A en veiligheidsbril. Extra ventilatie. Gemorst product indammen, zorgvuldig opzuigen en eventueel hergebruiken. Restant verwijderen met water. Spoelwater afvoeren naar riool. Eventuele vaten etiketteren en afvoeren volgens regionale regels. Interventiewaarden: niet vastgesteld	Afleveringsetiket: Schadelijk R: 22 S: (2) Opslag: Gescheiden van oxidatiemiddelen en oxiderende zuren, droog, ventilatie langs de vloer. NFPA: 1 1 0	
OPMERKINGEN		
1) De MAC-waarde als druppels bedraagt 10 mg/m ³ . 2) Gebruik van alcoholische dranken versterkt de schadelijke (bedwelmende) werking. Laat arts zo nodig NVIC (030-274 88 88) of het Belgisch Antigifcentrum (070-245.245) bellen voor aanwijzingen over verdere behandeling. Dowtherm SR 1, Lutrol-9, Macrogol 400 BPC, Norkool, Tescol en Ucar 17 zijn handelsnamen. UN-nummer: VRIJ (RC)		

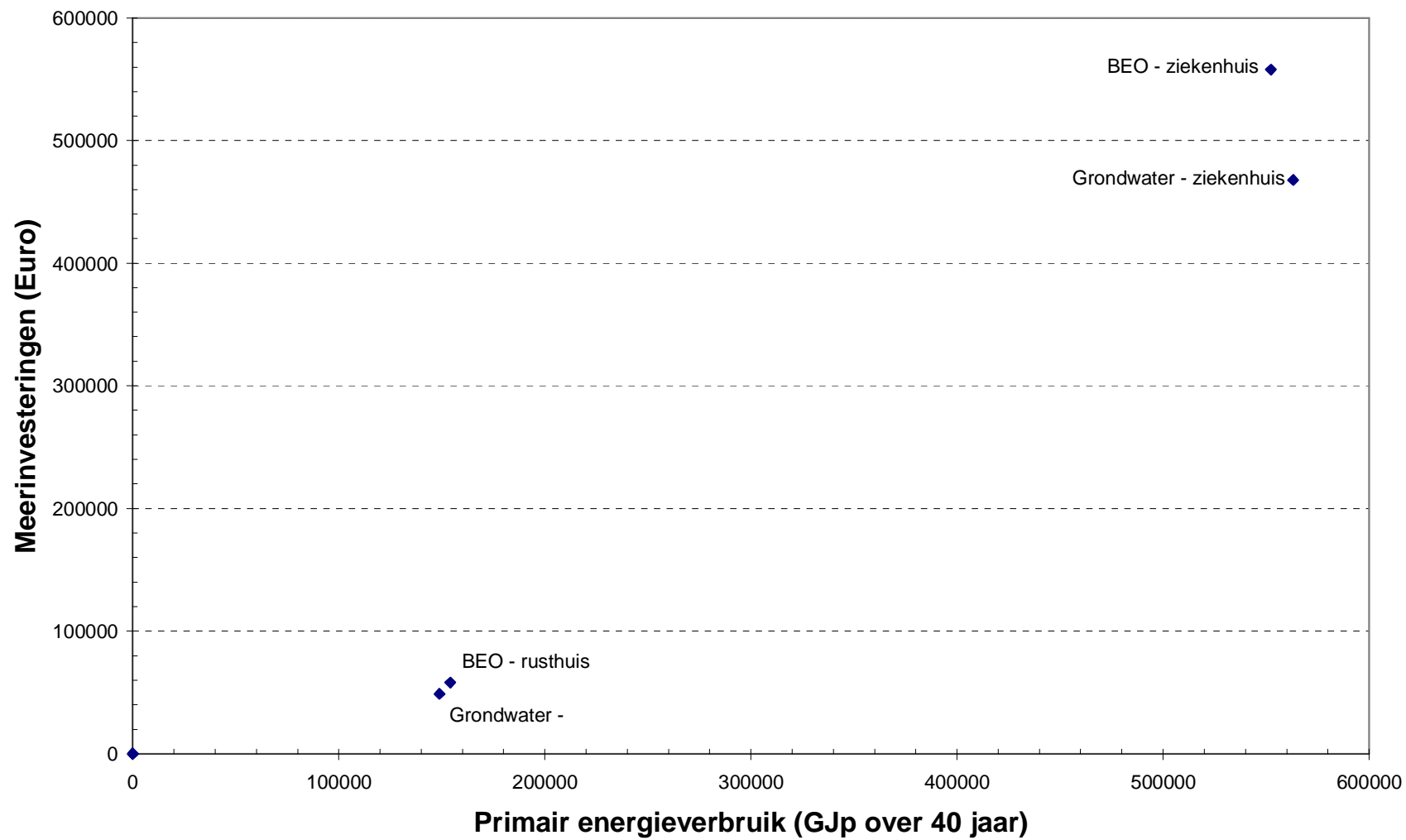
Bron: Chemiekaarten[®] 20^e editie 2005 **Kaartnummer C-0065**

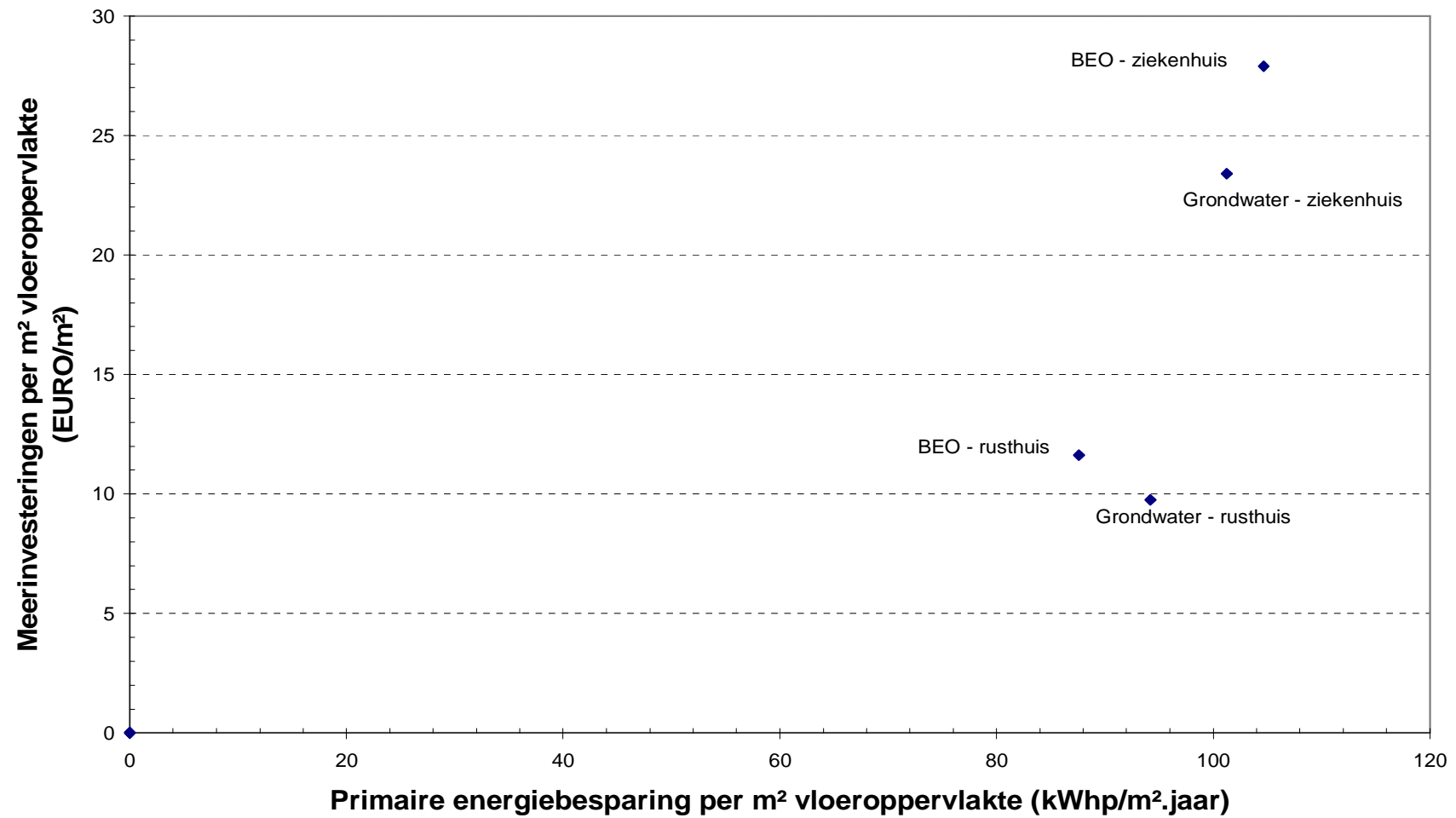
CAS-nummer: [57-55-6] 1,2-PROPYLEENGLYCOL

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN	BELANGRIJKE GEGEVENS	
Kookpunt, °C 188 Smeltpunt, °C ca. -59 Vlampunt, °C 99 Zelfontbrandingstemperatuur, °C 371 Explosiegrenzen, volume% in lucht 2,6 -12,6 Dampspanning in mbar bij 20°C 0,13 Relatieve dampdichtheid (lucht = 1) 2,6 Relatieve dichtheid bij 20°C van verzadigd damp/luchtmengsel (lucht = 1) 1,00 Relatieve dichtheid (water = 1) 1,04 Oplosbaarheid in water, g/100 ml volledig Log P octanol/water -0,9 Brutoformule: C ₃ H ₈ O ₂ Relatieve molecuulmassa 76,1	KLEURLOZE VISKEUZE HYGROSCOPISCHE VLOEISTOF. (NAGENOEG) REUKLOOS De damp mengt zich goed met lucht. Reageert heftig met oxidatiemiddelen en sterke zuren. Tast sommige kunststoffen aan.	
	MAC-waarde niet vastgesteld	
	Wijze van opname/inademingsrisico: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp en door inslikken. Een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht zal door verdamping van deze stof bij ca. 20°C niet of slechts zeer langzaam worden bereikt; bij vernevelen echter veel sneller. Directe gevolgen: De stof werkt irriterend op de ogen. De stof kan inwerken op het centraal zenuwstelsel, met als gevolg verlagings van het bewustzijn. 1) Blootstelling kan afwijkingen aan de nieren veroorzaken. Gevolgen bij langdurige, herhaalde blootstelling: De stof kan op de huid inwerken, met als gevolg uitdroging.	
DIRECTE GEVAREN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN
Brand: brandbaar.	geen open vuur en niet roken.	poeder, alcoholbestendig schuim, sproeistraal water, koolzuur.
Explosie: boven 99°C: damp met lucht explosief.	boven 99°C gesloten apparatuur, ventilatie.	
SYMPTOMEN	PREVENTIE	EERSTE HULP
	VORMING VAN NEVEL VOORKOMEN!	
Inademen: hoesten, zwaktegevoel, sufheid, bewusteloosheid.	ventilatie.	frisse lucht, rust, arts raadplegen en direct spoedeisende medische hulp inzetten.
Huid: droge huid, roodheid.	handschoenen (butylrubber, PVC).	verontreinigde kleding uittrekken en huid spoelen met veel water of douchen.
Ogen: roodheid en pijn, ooglidkramp en traanafscheiding.	veiligheidsbril.	minimaal 15 minuten spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar (oog)arts brengen.
Inslikken: branderig gevoel, zie verder 'Inademen'.		mond laten spoelen, arts raadplegen en direct spoedeisende medische hulp inzetten.
NOODSITUATIE EN OPRUIMING	ETIKETTERING EN OPSLAG	
NOODSITUATIE: Is niet te verwachten, ook niet bij ongecontroleerd vrijkomen van deze stof. Opruimen gemorst product: Draag handschoenen, laarzen en veiligheidsbril. Extra ventilatie. <i>Gemorst product</i> indammen, zorgvuldig opzuigen en eventueel hergebruiken. <i>Restant</i> verwijderen met water. <i>Spoelwater</i> afvoeren naar riool. Eventuele vaten etiketteren en afvoeren volgens regionale regels. Interventiewaarden: VRW = 200 mg/ms; AGW = 2000 mg/ms; LBW = 20000 mg/ms	Afleveringsetiket: vraag leverancier Opslag: Gescheiden van oxidatiemiddelen en sterke zuren, droog, ventilatie langs de vloer. NFPA: 0 1 0	
OPMERKINGEN		
1) Gebruik van alcoholische dranken versterkt de schadelijke (bedwelvende) werking. UN-nummer: VRLJ (RC)		

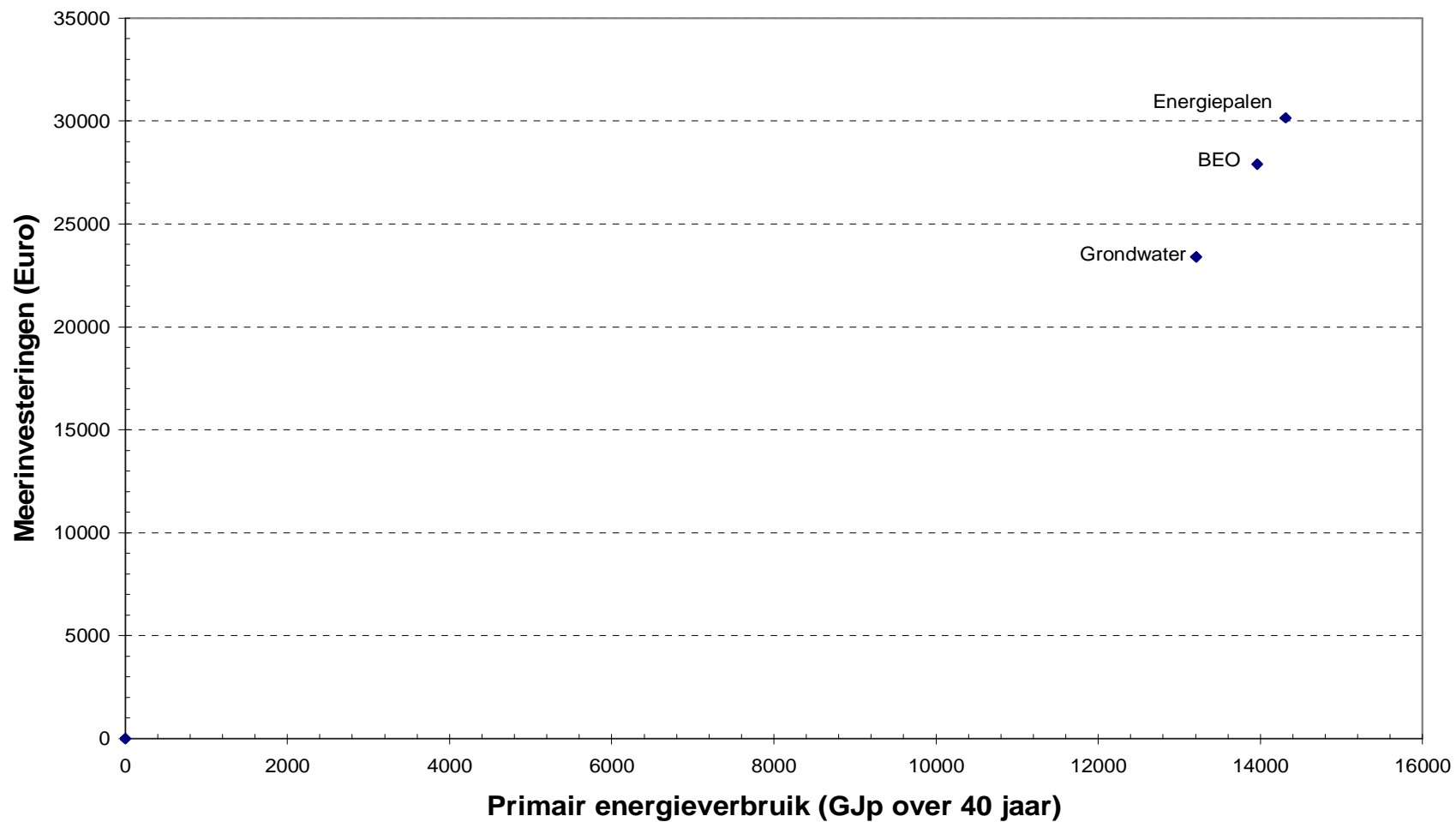
Bron: Chemiekaarten® 20e editie 2005 Kaartnummer C-0320

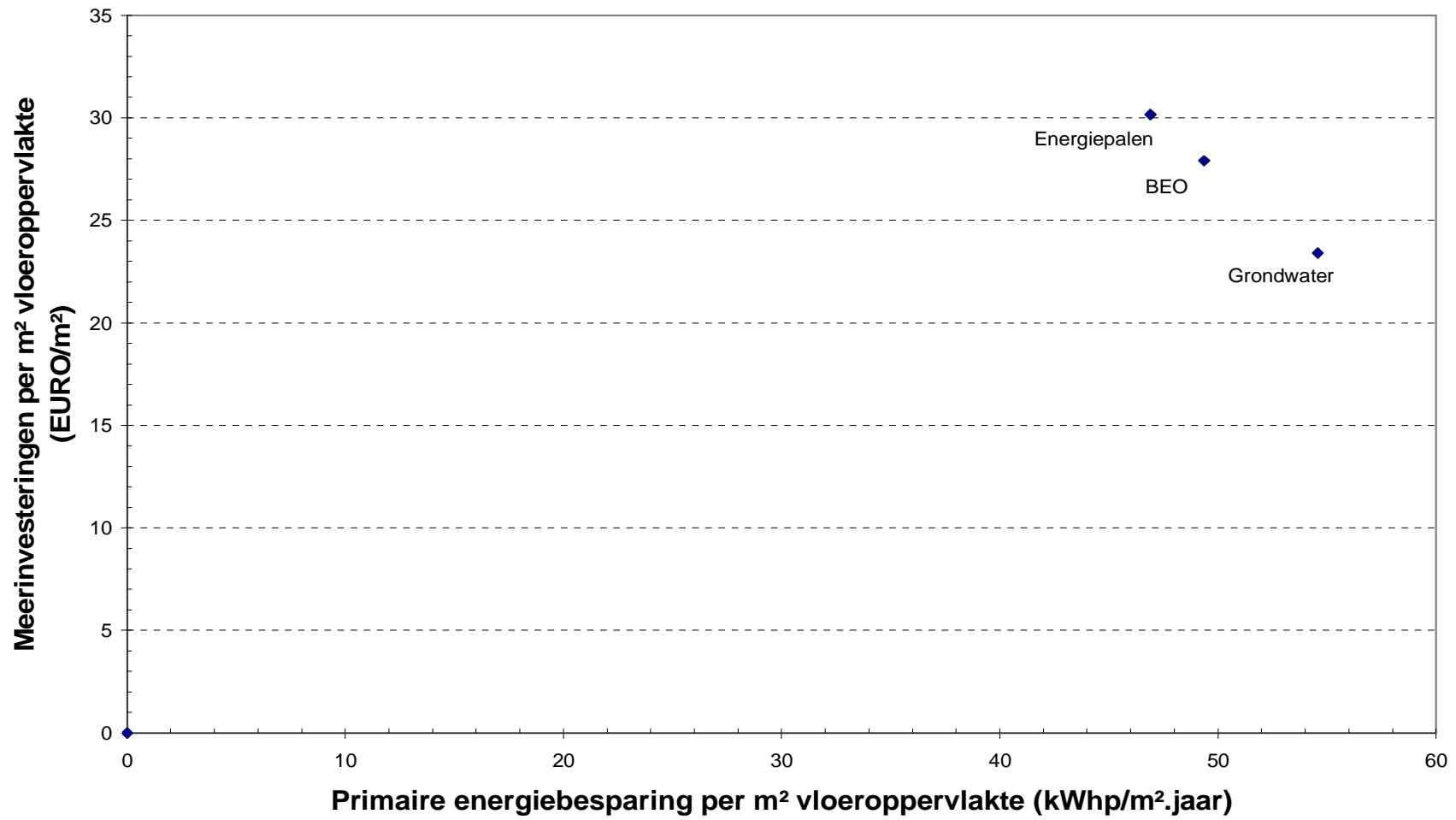
BIJLAGE 2: GRAFIEKEN TERTIAIRE SECTOR – ZIEKENHUIZEN / TEHUIZEN





BIJLAGE 3: GRAFIEKEN TERTIAIRE SECTOR – WINKELS





BIJLAGE 4: VOORBEELDPROJECTEN

Het KWO project Klina ziekenhuis

Projectbeschrijving

Klina staat voor 'Klinieken Noord-Antwerpen' en werd als vzw opgericht in 1987. Daarbij hoorde de bouw van een nieuw en dynamisch ziekenhuis, uitgerust met de modernste techniek, klaar om de 21ste eeuw in te stappen. Dit nieuwe ziekenhuis, AZ Klina genaamd, centraliseerde de diensten van de 3 ziekenhuizen die onder het beheer van de vzw vallen. Begin jaren '90 werd er gestart met de bouwwerken en in oktober 1999 werd het ziekenhuis in gebruik genomen, met een totale capaciteit van 440 bedden.

Uiteindelijk besliste de directie om in de nieuwbouw van het ziekenhuis comfortkoeling toe te passen om aan de steeds hogere comforteisen van de gebruikers en het personeel te voldoen. Daarvoor worden in de meeste applicaties elektrische compressiekoelmachines gebruikt, met als nadeel het hoge elektriciteitsverbruik. De techniek van koude-warmteopslag (KWO) vormt een energie-efficiënt en volwaardig alternatief. KWO is één van de technologieën om koude en warmte op te slaan in de bodem, en dit op langere termijn. De opslag van thermische energie gebeurt seizoenoverschrijdend: de winterkoude wordt gestockeerd in de bodem om in de zomer te koelen. Daarenboven wordt de zomerwarmte gevaloriseerd in de winter. Veelal wordt een KWO gecombineerd met een omkeerbare koelmachine, die in het stookseizoen werkt als warmtepomp en de opgeslagen warmte opwaardeert naar bruikbare regimes voor lagetemperatuurverwarming. 's Zomers kan de koelmachine bijspringen om de pieken in de koudevraag op te vangen.

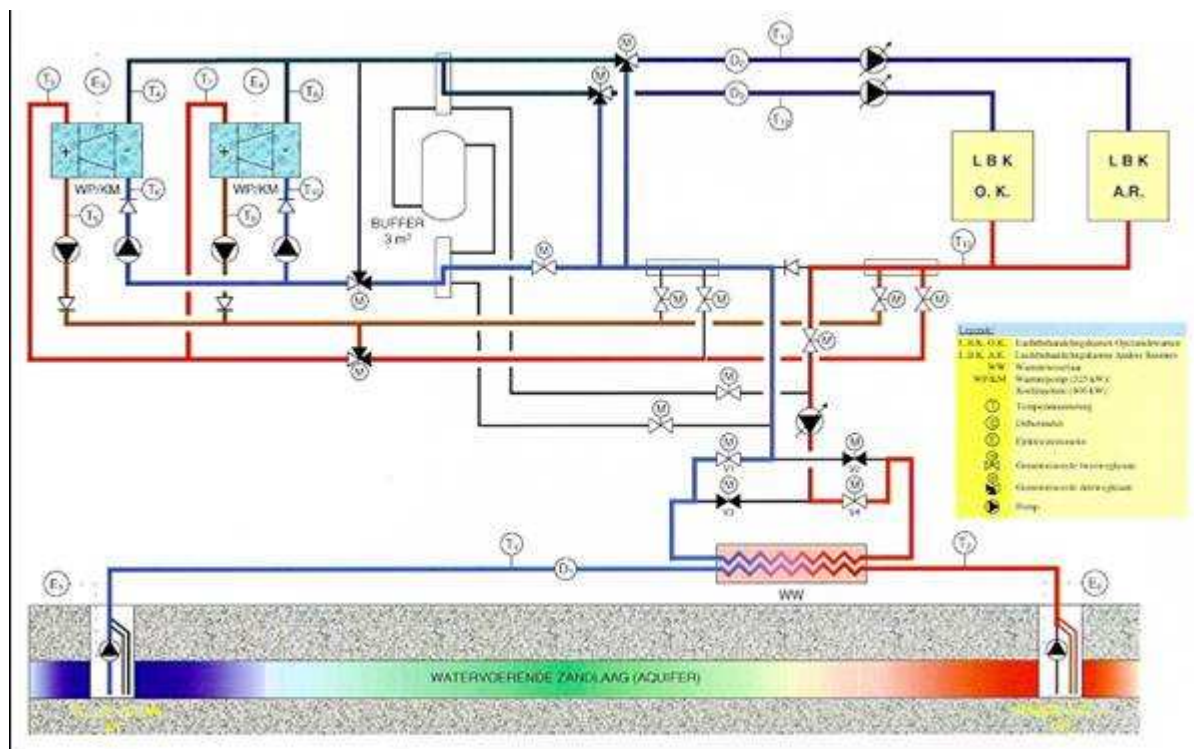
In de praktijk wordt die warmte en koude opgeslagen in een watervoerende laag via 2 geboorde bronnen: een koude en een warme bron. Het aanwezige grondwater in die watervoerende laag doet dienst als transportmedium voor de koude en de warmte. Het koude-warmteopslagsysteem levert hiertoe de koude door het oppompen van grondwater uit de koude bron. Dit grondwater neemt de gebouwwarmte op en wordt daarna geïnjecteerd in de warme bron. Deze koudelevering geschiedt aan een zeer hoog rendement omdat de koude niet geproduceerd wordt door een energieverlindende, conventionele koelmachine. Enkel wanneer de KWO een ontoereikend koelvermogen of een onvoldoende laag koelregime aanlevert, schakelt de koelmachine in waarbij de KWO de condensorwarmte ook naar de warme bron afvoert.

In de winter wordt grondwater opgepompt uit de warme bron met als doel het voorverwarmen van de ventilatielucht. De koelmachine, werkend als warmtepomp, waardeert daarbij de opgeslagen warmte op. De winterkoude afkomstig uit de ventilatielucht wordt door het opgepompte grondwater opgenomen om geïnjecteerd te worden in de koude bron. Zo laadt de KWO koude, als voorbereiding op de komende zomer.

Voor de klimatisering van het AZ Klina werd geopteerd voor een koude-warmteopslagsysteem in combinatie met 2 omkeerbare koelmachines. Het koude-warmteopslagsysteem bestaat uit één koude en één warme bron met elk een diepte van ongeveer 65 m en een boordiameter van 80 cm. De KWO zelf levert 1,1 MW, de twee omkeerbare koelmachines hebben elk een koelvermogen van 195 kW en produceren, afhankelijk van het seizoen, warmte of koude. In de zomer wordt er koude geproduceerd om

enerzijds voor wat verkoeling te zorgen in de afzonderlijke kamers en anderzijds voor de klimatisatie van de operatiekamers.

Gebouwszijdig zijn, met uitzondering van het operatiekwartier, alle luchtbehandelingskasten gedimensioneerd op een regime van 11°C/18°C, om optimaal gebruik te maken van de koelvoordelen van het systeem. In het operatiekwartier daarentegen gelden er strengere comforteisen, wat een temperatuurstraject van 6°/12°C noodzakelijk maakt.



Voor de opmeting van dit demonstratieproject worden volgende werkingsparameters opgemeten :

- 1) Energieoverdracht grondwatercircuit, meting van het grondwaterdebiet en grondwatertemperatuur voor en na de grondwaterwarmtewisselaar;
- 2) Warmtelevering koelmachine/warmtepomp 1, meting van werkingstijd van de condensorpomp (vast debiet) en meting van de watertemperatuur voor en na de condensor;
- 3) Warmtelevering koelmachine/warmtepomp 2, meting van werkingstijd van de condensorpomp (vast debiet) en meting van de watertemperatuur voor en na de condensor;
- 4) Koudelevering koelmachine/warmtepomp 1, meting van werkingstijd van de verdamperspomp (vast debiet) en meting van de watertemperatuur voor en na de verdamper;
- 5) Koudelevering koelmachine/warmtepomp 2, meting van werkingstijd van de verdamperspomp (vast debiet) en meting van de watertemperatuur voor en na de verdamper;
- 6) Elektriciteitsverbruik van koelmachine/warmtepomp 1;
- 7) Elektriciteitsverbruik van koelmachine/warmtepomp 2;
- 8) Elektriciteitsverbruik van de grondwater- en circulatiepompen;
- 9) Buitentemperatuur;
- 10) Relatieve vochtigheid buitenlucht;
- 11) Energievraag (warmte / koude) ziekenhuis.

Alle metingen gebeuren op half uurlijkse of uurlijkse basis. Voor temperaturen worden ogenblikkelijke waardes aangegeven, voor debieten/werkingstijden worden gecumuleerde waardes opgenomen. Metingen 1 tot en met 10 worden geregistreerd in het regel- en loggingssysteem van de koude-warmteopslag installatie (gebouwbeheersysteem Klina). De koudevraag van het ziekenhuis wordt gemeten door afzonderlijke apparatuur (2 debietsmeters en 4 temperatuursensoren), voorzien door Vito. De registratie van deze gegevens gebeurt met een datalogger. Deze registratie laat ook toe om het aandeel van de koude-warmteopslaginstallatie in de warmtevraag te meten, doordat de koelbatterijen als voorverwarmingsbatterij gebruikt worden in de winter. De totale warmtevraag van het gebouw wordt afzonderlijk geregistreerd door Klina.

Resultaten monitoring

Door het energiezuinig en milieuvriendelijk karakter werd dit project als demonstratieproject goedgekeurd in november 1995. Vito heeft in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit project uitgevoerd. Dit zijn daaruit de resultaten:

- Over de ganse periode was er een totale koelvraag van 1789 MWh en een totale warmtevraag (van het ventilatiesysteem) van 2841 MWh voor het gebouw;
- In totaal werd 78 % van de koelvraag en 19 % van de warmtevraag gedekt door het KWO-systeem;
- Toepassing van KWO gaf een totale jaarlijkse reductie van het primair energieverbruik met 3930 GJ (voor totale koeling van het ziekenhuis én verwarming van ventilatielucht);
- Vertaald naar de CO₂-uitstoot betekent dit een reductie met 207 ton per jaar;
- Globaal betekent dit een besparing van 85 % op het primair energieverbruik voor luchtbehandeling en 63 % op CO₂-emissie;
- Op het totale energieplaatje voor verwarming en koeling van het ganse ziekenhuis betekent dit een primaire energiebesparing van 44 % en een CO₂-reductie van 37 %;
- Deze innovatieve installatie (koude-warmteopslag + omkeerbare warmtepompen) levert warmte aan een globale SPF van 5,5 (verwarming) en een globale KF van 14,8 (koeling) voor de energievoorziening van het luchtbehandelingsstelsel.

De KWO-installatie bij KLINA te Brasschaat heeft de verwachtingen aangaande energiebesparing ruimschoots kunnen inlossen. De installatie biedt het grootste deel van de koude aan met een zeer hoog rendement. De combinatie met een omkeerbare koelmachine zorgt ervoor dat er steeds voldoende koude kan geladen worden in de koudere periodes en dat ook het aanbod van verwarmingsenergie geschiedt aan zeer hoog rendement (COP tussen 5 en 6). De KWO-technologie staat dan ook in voor een aanzienlijke besparing op het aanbieden van koude én warmte bij KLINA en hebben also een belangrijke gunstige invloed op de totale energiefactuur.

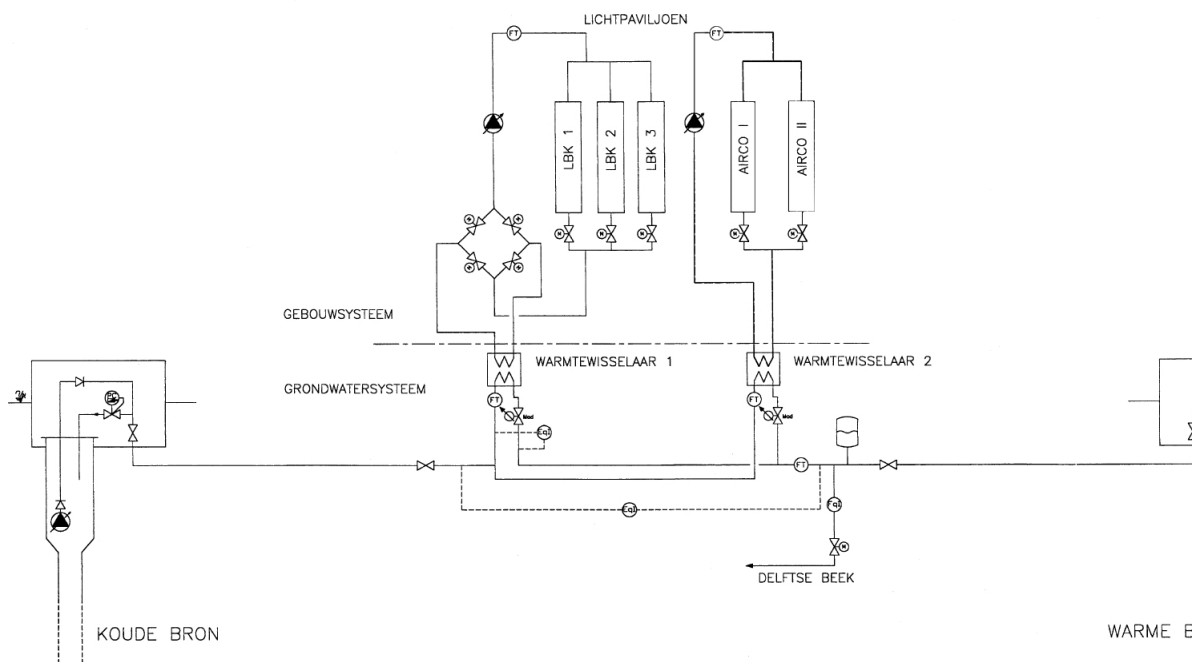
Het KWO project Etap verlichting

Projectbeschrijving

Etap is een bedrijf dat functionele verlichting ontwikkelt, fabriceert en commercialiseert. Etap heeft een nieuw lichtpaviljoen gebouwd om de expertise met betrekking tot algemene verlichtingstechniek, veiligheidsverlichting en verlichtingstoepassingen met moderne middelen uit te bouwen en te tonen aan de klanten. Het lichtpaviljoen centraliseert alle ruimten om proefopstellingen voor eigen gebruik te bouwen ten behoeve van nieuwe productontwikkelingen en om de klanten in aangepaste simulatieruimten te tonen welke lichttechnische- en energetische resultaten er verwacht kunnen worden in hun specifieke omgeving. Het nieuwe lichtpaviljoen werd geïntegreerd in het bestaande gebouw dat hierdoor uitgebreid werd met 3000 m² vloeroppervlakte. Voor de koeling en verwarming van dit lichtpaviljoen is geopteerd voor koude-warmteopslag in watervoerende lagen met een vermogen van 570 kW_{th}.

De koude van het KWO systeem wordt gebruikt voor de koeling van het nieuwe lichtpaviljoen en voor de koeling van het hoofdgebouw. In het lichtpaviljoen is geen bijkomende koelinstallatie voorzien. Het hoofdgebouw wordt gekoeld met Airco I en Airco II. Dit zijn 2 luchtbehandelingsgroepen, die gekoeld worden via de KWO. Bij het laden van koude in de winter wordt buitenlucht gebruikt. De ventilatoren worden geregeld op 100% vermogen. Afhankelijk van de warmtevraag in het lichtpaviljoen, wordt de opgewarmde lucht (gedeeltelijk) gebruikt in het lichtpaviljoen of afgeblazen in de buitenomgeving. De regeling gebeurt met een luchtkleppensysteem dat van 0% tot 100% kan geregeld worden. De naverwarming van de pulsielucht voor het lichtpaviljoen gebeurt met een aardgasketel (100 kW) geïnstalleerd in de kelder van het lichtpaviljoen.

De verwarming van het hoofdgebouw gebeurt met verschillende ketels. Deze warmteproductie wordt niet opgemeten gezien het KWO-systeem geen aandeel heeft in de warmtevraag van dit gebouw.



WARME E

Voor de energieregistratie van dit demonstratieproject werden onderstaande meters voorzien.

Parameter	Meter	Eenheid
KWO-koeling lichtpaviljoen	calorimeter (Etap)	kWh
KWO-koeling hoofdgebouw	calorimeter (Etap)	kWh
KWO-verwarming lichtpaviljoen	calorimeter (Etap)	kWh
grondwaterverplaatsing zomer	debietmeter (Etap)	m ³
grondwaterverplaatsing winter	debietmeter (Etap)	m ³
temperatuur warme bron	temperatuursensor (Etap)	°C
temperatuur koude bron	temperatuursensor (Etap)	°C
elektriciteitsverbruik KWO	elektriciteitsmeter (VITO)	kWh
gasverbruik ketel lichtpaviljoen	aardgasmeter (VITO)	m ³
gemiddelde klepstand	uitgestuurde spanning klep (Etap)	0-10 V
gemiddelde buitentemperatuur	temperatuursensor (Etap)	°C
gemiddelde relatieve vochtigheid	vochtigheidssensor (Etap)	%RV

De meeste meters werden reeds voorzien door Etap. Enkel de elektriciteitsmeter voor het KWO-systeem en de gasmeter voor de ketel van het lichtpaviljoen werden door VITO aangekocht.

Om de geleverde warmte van KWO aan het lichtpaviljoen op te meten, was het de bedoeling om met behulp van puntmetingen (luchtsnelheidsmetingen en luchttemperaturen) een verband te leggen tussen het uitgestuurde analoge signaal voor de klepstand en de nuttig geleverde warmte aan het lichtpaviljoen. Via continue meting van het uitgestuurde analoge signaal voor de klepstand kan dan bepaald worden welk aandeel van de geleverde KWO-warmte nuttig gebruikt wordt voor voorverwarming van de pulsieelucht in het lichtpaviljoen.

De bovenstaande gegevens worden elk half uur geregistreerd in het dataloggingssysteem van Etap (leverancier: Johnson Control). Maandelijks worden de gegevens per e-mail doorgestuurd naar VITO. De datafile is leesbaar in Excel.

Resultaten monitoring

Het toepassen van de koude-warmteopslagtechniek (KWO) leidt bij Etap tot volgende besluiten (evaluatie over 3 jaar, 01/2003 tem 12/2005):

- Over de ganse periode was er een totale koelvraag van 322.813 kWh en een totale warmtevraag van 280.478 kWh voor de gebouwen;
- In totaal werd 83.650 m³ grondwater verplaatst van de koude naar de warme bron (ontladen);
- In totaal werd 43.071 m³ grondwater verplaatst van de warme naar de koude bron (laden), hiermee werd 11 % van de warmtevraag gedekt door het KWO-systeem;
- Toepassing van KWO gaf een totale jaarlijkse reductie van het primair energieverbruik met 1.117 GJ (voor koeling én verwarming);
- Vertaald naar de CO₂-uitstoot betekent dit een reductie met 74 ton per jaar;
- Globaal betekent dit een besparing van 19 % op het energieverbruik en 22 % op CO₂-emissie.

Na een moeilijke start in de periode 2000 – 2002 (juiste datagegevens uit registratiesysteem halen), heeft de KWO-installatie bij Etap te Malle over de meetperiode toch een belangrijke hoeveelheid energiebesparing kunnen realiseren. De installatie biedt het grootste deel van de koude aan met een zeer hoog rendement (koudefactor (KF) = 27 versus KF = 3,5 voor klassieke koelmachine). Bij het laden van koude in de winter wordt de warmte toch gedeeltelijk nuttig gebruikt als voorverwarming voor de luchtbehandelingskasten van het lichtpaviljoen.

Wanneer het economische luik bekeken wordt van de installatie, kan er besloten worden dat het toepassen van koude-warmteopslag techniek een zekere meerkost met zich meebrengt. Deze zal echter terugverdiend worden door vermeden energiekosten alsook de vermeden kosten van een koelmachine met zijn specifiek onderhoud en de vermeden vermogenvergoeding. Dit alles in rekening gebracht geeft een terugverdientijd van 15 jaar zonder subsidies, en 5,7 jaar inclusief subsidies.

Het BEO project Eandis kantoorgebouw

Projectbeschrijving

Voor het nieuwbouw kantoorgebouw Netmanagement te Melle (totaal: 650 personen, 16.363 m² vloeroppervlakte) voerde VITO een haalbaarheidsstudie uit naar de mogelijkheden van een warmtepomp met verticale bodemwarmtewisselaars (BEO-veld). Binnen het streven naar een beperking van het primaire energieverbruik, werd onderzocht op welke manier de warmte- en koude-opwekking op een energiezuinige doch technisch-economisch efficiënte wijze kan gerealiseerd worden. In deze studie wordt de technische en economische haalbaarheid van een boorgat-energieopslag (BEO) onderzocht in combinatie met een elektrisch aangedreven water/water warmtepomp (WP) die zowel kan ingezet worden voor warmte- als voor koudelevering. Dit resulteert in een energiezuinige warmtelevering aan een rendement van meer dan 400% (grondgekoppelde WP) en een vrije koeling met behulp van ondergronds opgeslagen koude.

De installatie van een energieopslagsysteem laat toe om thermische energie (warmte/koude) voor langere termijn (seizoenaal over meerdere maanden) op te slaan via verticale bodem warmtewisselaars. We spreken dan in het vervolg van een BEO-veld of boorgat-energieopslag. Op die manier kan een energieopslag gerealiseerd worden om in dit geval koude op te slaan. De installatie van dergelijke bodemwarmtewisselaars is eveneens gekend bij warmtepompinstallaties met als doel louter warmteonttrekking. Om een opslagveld te creëren zullen de verschillende lussen met elkaar gekoppeld worden. Het doel wijzigt immers van louter warmteonttrekking of –dissipatie naar warmte- of in dit geval koudeopslag. Het komt erop aan om bij een grondgekoppeld warmtepompsysteem geen enkele (of toch zo weinig mogelijk) energie verloren te laten gaan. Door de gelijktijdige productie van koude en warmte door een warmtepomp komt dit neer op de buffering van koude bij warmtelevering en omgekeerd.

De energievoorziening van het kantoorgebouw wordt bepaald door een verwarmings- en koelsysteem bestaande uit een klein percentage radiatoren en koel- en warmbalken. De warmte voor de radiatoren dient aangeleverd te worden door CV-ketels vermits het hoge temperatuurniveau (tenzij sterk overgedimensioneerde radiatoren worden gebruikt). Voor de levering van warmte voor de radiatoren door de warmtepomp is een hoog temperatuurniveau nodig. Dit hoge temperatuurniveau doet het rendement van de warmtepomp sterk afnemen. Dus wordt de warmtepomp gekozen als lagetemperatuuraanbieder van warmte. De warmte en koude van de balken kan aangeleverd worden door de warmtepomp in combinatie met het BEO-veld.

Voor een optimale inzet van een grondgekoppelde warmtepomp (met een BEO-veld) wordt best gestreefd naar een maximale inzet van hoge temperatuurskoeling (HTK, hier de koelbalken) en lage temperatuursverwarming (LTV, hier de warmbalken). Het temperatuurniveau van de koel(warm)balken is een ideaal temperatuurtraject in combinatie met een ondergronds energieopslagsysteem.

Resultaten haalbaarheidsstudie

Voor een nieuwbouw kantoorgebouw (totaal: 650 personen, 15.000 m²) werd een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden van het gebruik van een warmtepomp met een BEO-systeem. Het BEO-veld staat in voor de koeling die zoveel mogelijk via ‘free’ cooling

geleverd wordt, terwijl de warmtepomp samen met het BEO-veld instaat voor de verwarming.

- De installatie van een grondgekoppelde WP met BEO-veld kan **78% van de jaarlijkse warmtevraag** van het kantoorgebouw dekken. De andere 22% wordt gedekt door de aardgasketels die hierdoor kleiner kunnen gedimensioneerd worden dan in de situatie zonder WP en BEO-veld.
- Het BEO-veld staat in voor **41% van de gevraagde jaarlijkse koudehoeveelheid** onder de vorm van 'natural' cooling. Het **BEO-veld en de WP tezamen staan in voor 86% van de jaarlijkse koudehoeveelheid** van het kantoorgebouw. De rest (14%) wordt door een koelmachine voorzien die veel kleiner kan gedimensioneerd worden dan in de referentiesituatie.
- De jaarlijkse **exploitatiekostenbesparing** bedraagt **25.000 € per jaar** wat neerkomt op een eenvoudige **terugverdientijd 9 jaar** en dit zonder subsidiesteun.
- Door het integreren van het BEO-veld en WP komt de **globale SPF** voor het aanreiken van koude op **6**. Dit komt doordat het BEO-veld **koude** levert aan een **SPF** van **44**.
- De **besparing op de CO₂-emissie** komt neer op **128 ton per jaar**.

Het BEO project De Notelaer rusthuis

Projectbeschrijving

Voor een nieuwbouw rusthuis te Beveren heeft VITO een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheden van het gebruik van een warmtepomp met een ondergronds energieopslagsysteem bestaande uit verticale bodemwarmtewisselaars. In het vervolg van de studie wordt dit aangeduid als BEO of boorgat-energieopslag. Naast verwarming van het rusthuis zal ook de functie koeling opgenomen worden door het energieopslagsysteem. Dit vraagt om een voorziening voor koudeproductie en –verdeling. Binnen het streven naar een beperking van het primaire energieverbruik, dient onderzocht te worden op welke manier de energieopwekking op een technisch-economisch efficiënte wijze kan gerealiseerd worden.

Resultaten haalbaarheidsstudie

Het OCMW Beveren wil een nieuw energiezuinig rusthuis bouwen en voorzien van een duurzame energievoorziening voor verwarming en koeling. VITO heeft een haalbaarheidsstudie uitgevoerd om het gebruik van een ondergronds boorgat-energieopslagsysteem (BEO), in combinatie met een elektrisch aangedreven water/water warmtepomp (WP), die zowel kan ingezet worden voor warmte- als voor koudelevering, te evalueren.

De studie geeft aan dat de BEO+WP-installatie kan ingezet worden om het rusthuis op een energie-efficiënte en duurzame wijze te voorzien van koeling en verwarming. Hiervoor dienen 42 verticale bodemwarmtewisselaars op een diepte van 150 m gecombineerd te worden met een warmtepomp (300 kWt). De totale BEO+WP-installatie zorgt bij de thermische energie-opwekking voor een gasbesparing van 52% ten opzichte van de referentie-installatie (CV-ketel en klassieke koelmachine). Vertaald naar primaire energie geeft dit een reductie van 431 MWh (-32%) en een vermindering van 67 ton CO₂-uitstoot op jaarbasis (-26%).

Met het innovatieve energieopslagsysteem kan 52% van de jaarlijkse warmtevraag van het rusthuis gedekt worden. De rest wordt door de ketels geleverd. Het BEO-veld staat in voor 74% van de jaarlijkse koudehoeveelheid via vrije koeling. Het BEO-veld en de omkeerbare WP tezamen staan in voor 100% van de jaarlijkse koudehoeveelheid van het rusthuis. Een koelmachine kan in dit geval weggelaten worden met een belangrijke besparing op het elektrisch aansluitvermogen (-42%).

De koeling via het BEO-veld wordt aan zeer hoge efficiëntie aangeboden (vrije koeling, enkel een circulatiepomp is benodigd en geen WP in dienst) zodat op het door het BEO-veld aangeleverde koude een grote energiebesparing gerealiseerd wordt ten opzichte van klassieke koeling met koelmachines. De gehanteerde referentie-installatie heeft een seasonal performance factor (SPF) van 3,2. Door het integreren van het BEO-veld en WP zal de **globale SPF** voor het aanreiken van koude oplopen tot **19,6**. Dit komt doordat het BEO-veld koude levert aan een SPF van **22**.

De installatie van dit BEO + WP-systeem vraagt een meerinvestering van € 160.726 ten opzichte van de referentie-installatie. De exploitatiekostenbesparing bedraagt € 19.148 per jaar (of een reductie van 34% ten opzichte van de referentie) wat neerkomt op een terugverdientijd van 8,4 jaar, een IRR @ 20 jaar van 12% en een NAW van € 67.994. Voor rusthuizen zijn er momenteel géén programma's beschikbaar waarbinnen deze innovatieve

investering kan gesubsidieerd worden buiten de huidige acties rond subsidie van warmtepompen via de netbeheerders in het kader van het REG-actieplan.

Belangrijk is dat de economische analyse gebaseerd is op de huidige markt energieprijzen. Een stijging van gas- én elektriciteitsprijzen met 15% geeft een daling van de terugverdientijd van 8,4 naar 7,4 jaar. De IRR stijgt van 12% naar 14%. De NAW stijgt naar ongeveer € 96.600. Indien enkel de gasprijs stijgt met 15% wordt de terugverdientijd 7,2 jaar. De IRR stijgt van 12% naar 15%. De NAW komt dan op € 105.000.

Het gebruik van een warmtepomp in combinatie met een ondergronds energieopslagsysteem bespaart bovendien 431 MWh primaire energie per jaar of 32% ten opzichte van de referentie-installatie. Vertaald naar CO₂-emissies geeft dit een besparing van 67 ton per jaar of 26%.

Indien het warmtepompvermogen van 300 naar 400 kWt wordt vergroot, geeft dit een verhoging tot 564 MWh van de warmtevraag of een dekkingsgraad van 58% (tov 52% initieel) en een aardgasverbruik van 482 MWh. Daartegenover staat dat een groter BEO veld (56 wisselaars, 150 m diepte, 280 kW_{koude}) nodig zijn die op hun beurt inderdaad meer vrije koeling leveren (200 MWh_{koude} of 85%) Maar zowel warmtepomp als BEO-veld vragen meer investeringen zodat het economische kostenplaatje er negatiever gaat uitzien (TVT 12 jaar, IRR 6% en negatieve NAW). Primaire energie (-37%) en CO₂ besparing (-30%) stijgen met enkele percenten. Een nog groter BEO veld met een 100% dekkingsgraad van de koude is niet meer economisch.

Het grondbuis project SD Worx

Projectbeschrijving

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse Gemeenschap aan het kantoorgebouw SD Worx te Kortrijk een investeringssubsidie toegekend van 18.973 € voor de plaatsing van horizontale grondbuizen als voorverwarming en voorcooling van de ventilatielucht in combinatie met een regeneratieve warmtewisselaar. Het gebouw heeft voor de verwarming 2 condenserende aardgasketels van elk 46 kW en een koelmachine van 21 kW voor koeling van computerlokalen. SD Worx staat in voor de loonberekening en administratieve verplichtingen naar overheidsinstanties (belastingen, sociale zekerheid, ...).

Het uitgangspunt van het project was om een uiterst energiezuinig (K36) en tegelijkertijd comfortabel kantoorgebouw voor haar medewerkers te bouwen. De energiebehoefte (warmte, koude, elektriciteit) van het 1.350 m² kantoorgebouw werd verlaagd door actieve en passieve energiezuinige technieken oa. doorgedreven isolatie, natuurlijke nachtventilatie, grondbuizen,

Resultaten monitoring

Evaluatie binnentemperatuur

In 286 uren (= 12% van de kantoor tijd) kwam de kantoortemperatuur boven de 25°C of meer uit. Ten opzichte van de initiële prestatie-eis ¹van het kantoorgebouw is dit een overschrijding die slechts voor een deel te wijten is aan het feit dat de installatie (cfr. nachtventilatie en regeling luchtgroep) werd geoptimaliseerd in 2003. Om aan die prestatie-eis te kunnen voldoen, dient door de koelmachine extra koude aan het kantoorgebouw te worden geleverd. In 2003 werd door de huidige regeling de koelmachine niet gebruikt voor (extra)koeling van de kantoorlokalen.

Evaluatie grondbuizen

Op een diepte van 3,5 en 5m werd een gemiddelde grondbuistemperatuur van 10°C opgemeten. Tijdens de wintermaanden bedroeg de gemiddelde grondbuistemperatuur 7°C terwijl dit tijdens de zomermaanden 15°C bedroeg. Een significant verschil tussen de grondbuistemperatuur op 3,5 en 5m diepte is er niet (slechts 1 à 2°C).

Tijdens de wintermaanden zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming van de ventilatielucht met een gemiddelde temperatuurwinst van ongeveer 7°C bij een buitentemperatuur van 0°C. Bij een buitentemperatuur van -7°C bleef de aanvoerlucht in de luchtgroep vorstvrij.

In het tussenseizoen zorgden de grondbuizen voor een voorverwarming of een voorcooling. De voorcooling was echter groter dan de voorverwarming. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 5°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer 2 à 3°C. Men kan stellen

¹ Als prestatie-eis werd een maximale comforttemperatuur in zomer en winter van 22 tot 25,5°C opgelegd (de overschrijdingsuren: < 30 h, 1% van de werktijd). De binnenlucht mag maximaal 26,5°C bedragen en mag niet overschreden worden.

dat bij buitentemperaturen boven de 8°C de grondbuizen voor een negatieve temperatuurwinst (dus verkoeling) zorgden.

Tijdens de zomermaanden zorgden de grondbuizen voor verkoeling van de ventilatielucht. Bij een gemiddelde buitentemperatuur van 25°C bedroeg de temperatuurwinst ongeveer -10°C. Bij een buitentemperatuur van 33°C bedroeg de ingeblazen grondbuistemperatuur 25°C zonder hierbij extra hulp van een koelmachine.

Met de grondbuis kan een maximale warmtewinst van 10 kW en een koudewinst van 25 kW gerealiseerd worden zij het in een zeer beperkte periode. Door de grondbuizen werd 3.044 kWh warmte en (-)19.367 kWh koude aan het gebouw afgegeven. De grondbuizen leverden dus maar 3,6% van de totale warmtebehoefte van het kantoorgebouw wat op zich niet veel is. De koudebehoefte van het kantoorgebouw wordt echter niet 100% gedekt door de grondbuizen vermits de binnentemperatuur van de kantoorlokalen in de zomermaanden boven de 25°C uitkwam (en dus in principe extra koeling nodig was). Een grondbuis werkt technisch goed maar zijn koude- of warmtebijdrage aan het geheel is niet hoog en kan dus nooit als alleenstaand systeem ingezet worden. Naverwarming of nakoeling is dus steeds noodzakelijk. Verder werkt de bodem als een dynamische thermosfles (indien je in de bodem geen warmte of koude in een bepaald seizoen opslaat, kan er ook geen uitgehaald worden).

Evaluatie regeneratieve warmtewisselaar

Het temperatuursrendement van de regeneratieve warmtewisselaar op maandbasis bedroeg gemiddeld 50% met een maximum van 81% en een minimum van 5%. Bij lagere debieten (orde grootte van 3.500 m³/h) is het temperatuurrendement van de luchtgroep lager maar toch nog hoger dan het rendement van een klassieke kruis- of platenwarmtewisselaar. Deze “lagere” rendementen worden wel gemeten bij relatief hoge buitentemperaturen (bijv. bij een buitentemperatuur van 21°C en een luchtdebiet van 3.500 m³/h bedraagt het rendement gemiddeld 60%). Bij dergelijke hoge buitentemperaturen zal de warmterecuperatie gemoduleerd worden (geen 100 % warmterecuperatie) om te vermijden dat teveel warmte gerecupereerd wordt. Dit verklaart de lagere rendementen bij hoge buitentemperaturen. Dergelijke warmtewisselaar presteren dan ook beter dan de klassieke warmtewisselaars met een rendement van ongeveer 70%. De gerecupereerde warmte door de warmtewisselaar bedroeg 16.513 kWh of 19% van de totale warmtevraag.

Primaire energiebesparing en CO₂ reductie

Het primair energieverbruik over de meetperiode van de huidige situatie bedroeg 359 GJ_{prim}/jaar. In de referentiesituatie zou hiervoor 504 GJ_{prim}/jaar nodig zijn. Dit betekent een besparing van 145 GJ_{prim}/jaar (of 29% t.o.v. de referentiesituatie).

De CO₂-emissie van de huidige installatie over de meetperiode bedroeg 30 ton/jaar. De CO₂-emissie in de referentiesituatie bedraagt 22 ton/jaar. Dit betekent dus een reductie van 8 ton/jaar CO₂ over de meetperiode (of 27% t.o.v. de referentiesituatie).

Economische rendabiliteit

De totale investeringen bedragen 54.209 €. Door toepassing van deze energiezuinige technieken wordt een aardgasbesparing van 23.008 kWh_{prim}/jaar of 647 €/jaar bereikt en een elektriciteitsbesparing van 7.595 kWh/jaar of 570 €/jaar. De totale energiebesparing bedraagt

1.217 €/jaar. We bekomen een terugverdientijd van 44,5 jaar zonder subsidie. Indien de subsidie mee in rekening gebracht wordt, dan bedraagt de terugverdientijd 29 jaar.

Zeer energiezuinig kantoorgebouw

Voor de bijverwarming van het kantoorgebouw werd 76.824 kWh_{ovw} aardgas verbruikt of 65.300 kWh warmte. Het totaal elektriciteitsverbruik bedroeg 87.750 kWh/jaar waarvan de pulsie- en extractieventilatoren 10.130 kWh/jaar (12%) innemen, de koelmachine 5.244 kWh/jaar (6%). De rest wordt ingenomen door verlichting, kantoorapparatuur, pompen, ... In vergelijking met het Vlaamse kantorenpark verbruikt het SDworx kantoorgebouw 47% minder elektriciteit en 44% minder aardgas!

Het is moeilijk te bepalen wat het aandeel van de isolatie, de nachtventilatie, de grondbuizen en de warmtewisselaar in het geheel hebben daar met te veel aannames en (onderlinge)invloedsfactoren dient rekening gehouden te worden. Wel kan gesteld worden dat dit kantoorgebouw een zeer energiezuinig kantoorgebouw mag genoemd worden waarbij de grondbuizen slechts een klein deel innemen.

Besluiten dus dat grondbuizen in dit goed geïsoleerd kantoorgebouw technisch goed werken is terecht maar deze conclusie (of de optie voor keuze van grondbuizen) geldt niet voor andere kantoorgebouwen of toepassingen.

In het kader van deze studie is het niet de bedoeling dat andere alternatieven voor (top)koeling bijv. verticale grondwarmtewisselaars, koude/warmte opslag, ... geëvalueerd worden.

REFERENTIES

- [1] Dreesen, R. & Lagrou, D. (1999): Geothermie in Vlaanderen: randvoorwaarden en acties ter bevordering van haar aanwending. VITO-rapport, 1999/GRO/R/029 met beperkte verspreiding, p 85.
- [2] Dirven, P. (1994): Aardwarmte toepassing van lage enthalpie geothermie in Vlaanderen. VITO-rapport ENE/RB/9432, studie uitgevoerd in opdracht van ANRE, 24 p.
- [3] Dirven, P., Patyn, J. & Vandekerckhove, P. (1998): Promotie en marktintroductie in Vlaanderen van seizoensgebonden koude-warmteopslag in de ondergrond. Eindverslag. VITO-rapport 1998/REG/R/045 met beperkte verspreiding.
- [4] Dirven, P., Patyn, J., Bronders, J. & Smolders, R. (1999): Koude-warmteopslag in watervoerende lagen voor klimaatregeling in gebouwen of industriële proceskoeling. Kartering van de geschikte gebieden in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van AMINAL, VITO-rapport 1999/REG/R/001. 25 p., 3 bijlagen.
- [5] NVOE (2001). NVOE-richtlijnen ondergrondse energieopslag, Maarn, Nederland.
- [6] Website Stiebel Eltron; <http://www.stiebel-eltron.be>
- [7] Novem (2003): Kwaliteitsrichtlijn verticale bodemwarmtewisselaars. Novem rapport nr. 2DEN-03.24. 56p.
- [8] Website Enercret : <http://www.enercret.com>
- [9] TNO (2003). Handboek energiepalen. TNO-rapport nr. R2003/456. 93p.
- [10] Santamouris, M. (2006): Use of earth to air heat exchangers for cooling. AIVC ventilation paper n°11.
- [11] Breesch, H. (2005): Nachtelijke natuurlijke ventilatie in kantoorgebouwen. Universiteit Gent proefschrift, ISBN 90-8578-090-X, 189 p.
- [12] Desmedt, J., Robeyn, N. & Jannis, P. (2004): ANRE demonstratieproject. Energiezuinig kantoorgebouw met horizontale grondbuizen en regeneratieve warmtewisselaar bij kantoorgebouw SD Worx, Kortrijk. Eindrapport. VITO-rapport 2004/ETE/R/0194 met beperkte verspreiding.
- [13] Maes, D., Liekens, J., Robeyn, N., Jannis, P. (2005): ANRE demonstratieproject. Eco-Bedrijfsgebouw met doorgedreven energiezuinige bouwtechnieken en installaties en een windturbine voor de elektriciteitsproductie bij Oxfam Wereldwinkels, Gent. Eindrapport. VITO-rapport 2005/ETE/R/0151 met beperkte verspreiding.
- [14] Website databank ondergrond Vlaanderen (DOV) (2006), <http://dov.vlaanderen.be>

- [15] Belgisch geologische dienst, geologisch kaartblad + overlegprofielen nummer 31.
- [16] Van Daele, T. (2003): Brochure hydrologische monitoring in natuurgebieden. Universiteit Gent, MINA/112/00/02.
- [17] Weerdhof, B. (2005): Meervoudige ontwerp- en effectenstudie van koude-warmteopslagsystemen in de binnenstad van Den Haag. Afstudeerrapport TU Delft.
- [18] VDI richtlijnen (2000): Thermische Nutzung des untergrundes, Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, ICS 27.080.
- [19] Statistieken NIS.
- [20] Energiebalans van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest 2004, ICEDD, mei 2006.
- [21] Technisch-economische analyse van de rendabiliteit van energiebesparende maatregelen, BIM bijzonder bestek Energie nr. E04-154, Roel De Coninck (3E) en Griet Verbeeck (KUL), 2005.
- [22] Gegevens meegedeeld door het BIM 2006.
- [23] Code van goede praktijk warmtepompen, ODE Vlaanderen 2006.