



Engineering the earth



**Engineering the earth**

---

# Bodemenergieplan

TU Delft en omgeving

---

Opdrachtgever

TU Delft  
Directie Facilitair Management & Vastgoed  
Kluyverweg 6  
Postbus 5  
2600 AA DELFT  
T 015 - 278 9409 | E n.v.j.prenen@tudelft.nl  
Contactpersoon: de heer N.V.J. Prenen

Adviseur  
bodemenergieplan

IF Technology bv  
Velperweg 37  
Postbus 605  
6800 AP ARNHEM  
T 026 - 35 35 555 | E d.vanbeek@iftechnology.nl  
Contactpersoon: mevrouw D. van Beek

---

## Inhoudsopgave

1	Inleiding .....	6
1.1	Aanleiding .....	6
1.1.1	Probleemstelling .....	9
1.2	Doelstelling project.....	9
1.3	Leeswijzer .....	10
2	Systeemconcepten .....	12
3	Beleidskader .....	14
3.1	Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen .....	14
3.2	Provinciaal toetsingskader vergunningverlening bodemenergie .....	14
3.3	Borging bodemenergieplan .....	15
4	Bodempotentieel en belangen .....	16
4.1	Bodemeigenschappen .....	16
4.2	Aanwezige en toekomstige belangen .....	17
4.2.1	Grondwatergebruikers .....	18
4.2.2	Gesloten bodemenergiesysteem .....	21
4.2.3	Natuurgebieden .....	21
4.2.4	Verontreinigingen.....	22
4.2.5	Archeologie en cultuurhistorie.....	24
4.2.6	Funderingen.....	25
4.2.7	Waterkeringen .....	26
4.2.8	Boven- en ondergrondse infrastructuur .....	26
4.2.9	Kabels en leidingen .....	26
5	Indeling planbied.....	28
5.1	Deelgebied 1: Terrein TU Delft .....	30
5.2	Deelgebied 8: Technopolis.....	31
5.3	Deelgebied 9: Deltares.....	32
5.4	Overige deelgebieden .....	32

---

6	Uitwerking Bodemenergieplan .....	33
6.1	Toepassingsbereik bodemenergieplan .....	33
6.2	Verdeling energiec capaciteit binnen het kerngebied .....	34
6.2.1	Orderingsprincipe.....	34
6.2.2	Minimale bronafstand tussen ongelijksoortige bronnen .....	36
6.2.3	Aandachtspunten berekening effecten .....	36
6.2.4	Energiebalans.....	39
6.2.5	Plankaart en toetsingscriteria open systemen .....	36
6.3	Verdeling energiec capaciteit buiten het kerngebied .....	40
7	Effecten en milieuvoordeel kerngebied .....	41
7.1	Hydrologische effecten.....	41
7.2	Zetting.....	41
7.3	Effecten op aanwezige belangen .....	42
7.3.1	Grondwaterstand .....	42
7.3.2	Verticale grondwaterstroming .....	42
7.3.3	Natuurgebieden .....	43
7.3.4	Verontreinigingen.....	43
7.3.5	Archeologie en cultuurhistorie.....	43
7.3.6	Bebouwing, infrastructuur, kabels en leidingen.....	43
7.4	Thermische effecten .....	44
7.5	Potentieel milieuvoordeel deelgebied 1 .....	46
8	Realisatie .....	49
8.1	Bronlocaties .....	49
8.2	Lozen .....	49
9	Conclusies .....	52
9.1	Juridische verankering .....	52
9.2	Realisatie .....	52
9.3	Monitoring en actualisatie bodemenergieplan .....	53
10	Literatuur.....	54

---

## Bijlagen

BIJLAGE 1	Belangen
BIJLAGE 2	Overzicht gebouwen
BIJLAGE 3	Energievraag en energieconcepten
BIJLAGE 4	Plankaart
BIJLAGE 5	Plaatsing systemen buiten kerngebieden
BIJLAGE 6	Uitgangspunten en kengetallen

# 1

---

## Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Op het terrein van de Technische Universiteit in Delft (TUD) wordt in de toekomst een aantal gebouwen gerenoveerd en vindt nieuwbouw plaats. Voor de klimatisering van deze gebouwen wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijke duurzaamheid en naar de toepassing van innovatieve oplossingen. Op dit moment wordt voor de verwarming gebruik gemaakt van hoge temperatuur warmtenet welke gevoed wordt door de warmtekrachtcentrale van de TUD. De koeling van een beperkt aantal ruimtes vindt plaats met behulp van koelunits.

Volgens het huidige beleid van de TUD zal voor de middellange termijn worden ingezet op midden- en hogetemperatuurwarmte uit (rest)warmtebronnen en mogelijk geothermie dat door het warmtenet van de TUD wordt geleverd. Voor koeling wordt gebruik gemaakt van bodemenergie. Dit heeft een grootschalige inzet van bodemenergiesystemen tot gevolg.

Voor drie gebouwen zijn reeds afzonderlijke bodemenergiesystemen aangelegd. Het betreft de systemen voor de TU Delft Library (bibliotheek), 3mE + IO (Faculteit Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek & Technische Materiaalwetenschappen) en EWI (Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica). Voor de bestaande bodemenergiesystemen op het TUD-terrein zijn separate vergunningen in het kader van de Waterwet verleend.

Omdat de toekomstige ontwikkelingen in totaal meer dan 10 miljoen m<sup>3</sup> water zullen verpompen, is voor de TUD een Milieu Effect Rapport (MER) opgesteld [Lit. 1], inclusief aanvullende notitie [Lit. 2]. De m.e.r.-commissie heeft in januari 2012 een positief advies gegeven over het MER. Echter, op de lange termijn kent de invulling van het terrein veel onzekerheden (energievraag, bronlocaties). Daarom is het niet mogelijk om op basis van het huidige MER een vergunning aan te vragen voor de eindsituatie.

De TUD wil juist flexibel zijn ten aanzien van het bouwprogramma en de fasering. Daarom is voor de inrichting van het TUD terrein een bodemenergieplan ontwikkeld. Daarnaast vinden ook ten zuiden van de TUD, op het Technopolis-terrein en in de wijken rondom de TUD ontwikkelingen plaats. Deze gebieden zijn tevens meegenomen in de planvorming. Begin 2012 is het bodemenergieplan voor het TUD-terrein en omgeving opgesteld (referentie 26.161/57466/MaK van 5 maart 2012). Figuur 1 presenteert de plankaart uit 2012.

Na het afronden van het plan, zijn de provincie en gemeente begin 2013 aan de slag gegaan met de juridische verankering van het bodemenergieplan. De provincie heeft ervaring opgedaan met verankering van het bodemenergieplan van Rotterdam en wil dit graag meenemen in dit traject. Daarnaast heeft de TU Delft aangegeven dat het zuidelijk deel van het TU terrein anders wordt ingericht. Dit heeft tot gevolg dat het bodemenergieplan uit 2012 niet meer voldoet. Het bodemenergieplan is hierop aangepast.

Figuur 1  
Oude bodemenergieplan uit 2012



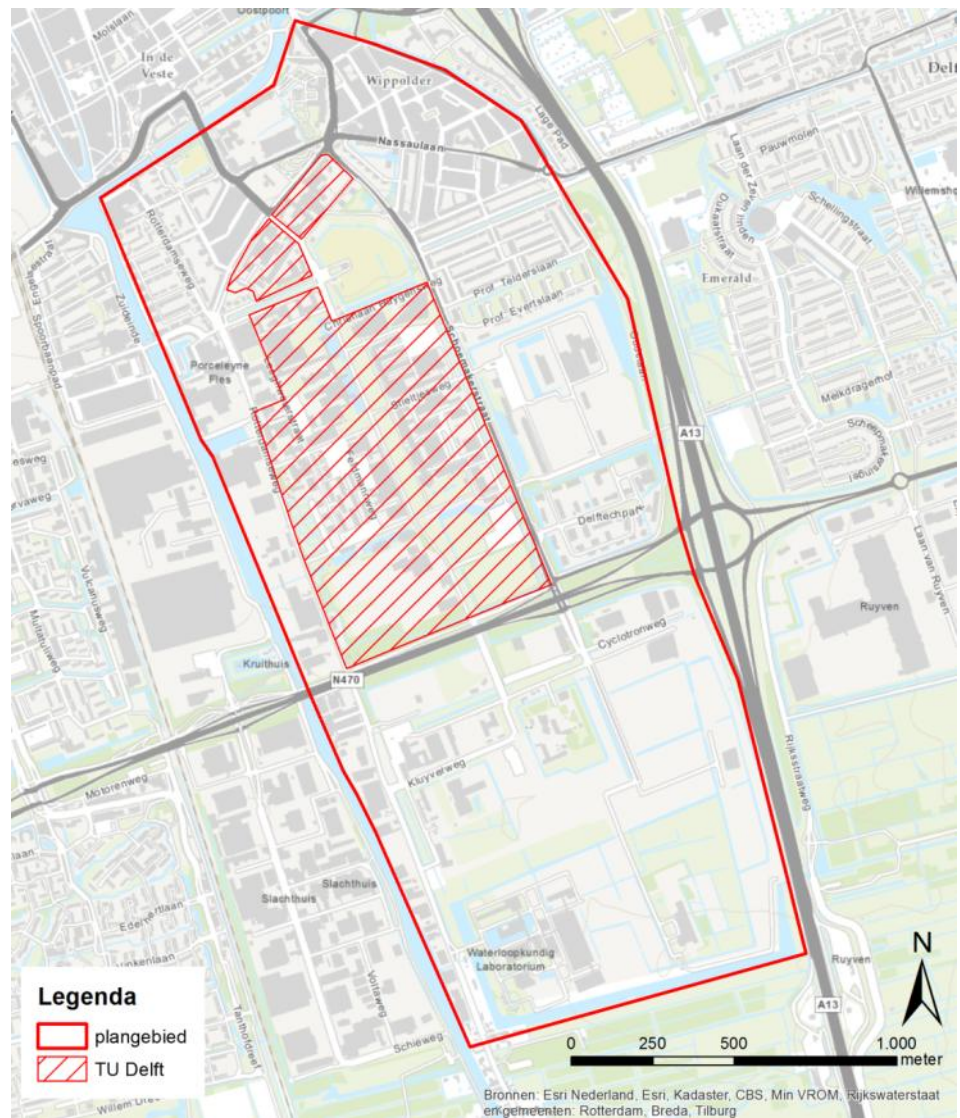
Het geactualiseerde bodemenergieplan heeft de volgende voordelen:

- er kan een flexibele invulling worden gegeven aan het bouwprogramma en de fasering;
- het plan geeft de TUD de mogelijkheid om de ondergrond te reserveren voor toekomstige bodemenergiesystemen (door middel van provinciale en gemeentelijke verankering).



Figuur 2 geeft het huidige plangebied weer.

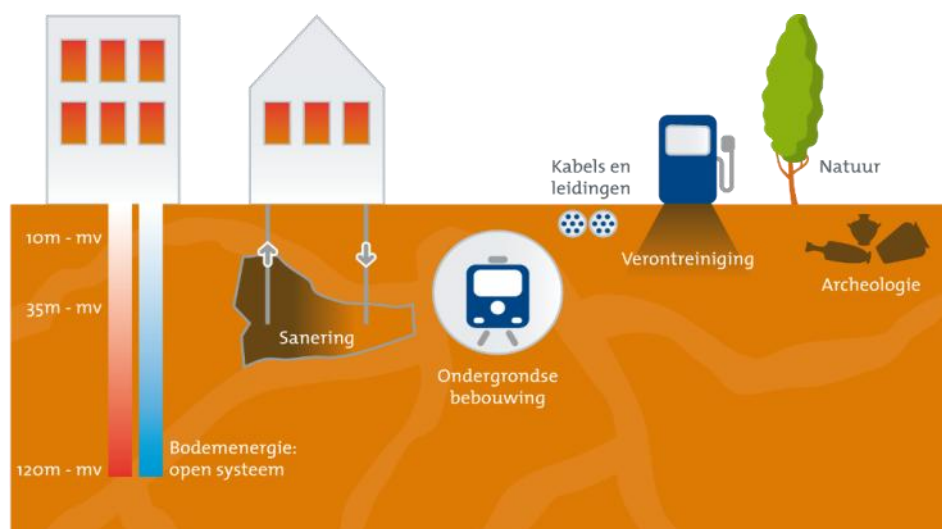
Figuur 2  
Begrenzing plangebied



### 1.1.1 Probleemstelling

Bij grootschalige toepassing van bodemenergie voor de beoogde nieuwbouw, herontwikkeling en renovatie neemt de drukte in de ondergrond, waar zich meerdere bestaande functies bevinden, sterk toe. Voorkomen moet worden dat bij een toename van het aantal bodemenergiesystemen negatieve interferentie tussen bodemenergiesystemen of nadelige beïnvloeding van andere ondergrondse functies optreedt (figuur 3).

Figuur 3  
Overzicht gebruikers  
van de ondergrond



Regie is gewenst om een optimaal en duurzaam gebruik van de ondergrond te borgen, zodat ongewenste interferentie (negatieve interactie) tussen bodemenergiesystemen onderling of met andere ondergrondse gebruikers wordt voorkomen.

## 1.2 Doelstelling project

Dit bodemenergieplan is opgesteld om de regie op bodemenergie op het terrein van de TUD nader vorm te geven. Het plan is zodanig ingericht dat zo goed mogelijk aan de bestaande en toekomstige ondergrondse belangen tegemoet wordt gekomen. Daarbij wordt de energetische capaciteit van de bodem optimaal benut. Het bodemenergieplan sluit aan bij de nieuwe regelgeving uit het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (AMvB Bodem-

---

energie) en het Toetsingskader vergunningverlening bodemenergie van de provincie Zuid-Holland.

Uitwerking van het bodemenergieplan vindt plaats door inventarisatie van de voornaamste inrichtingbepalende randvoorwaarden:

1. Bovengrondse inrichting plangebied (beschikbare ruimte voor bronpositionering)
2. Energievraag bouwontwikkelingen
3. Beschikbaar bodempotentieel
4. Bestaande en toekomstige overige ondergrondse functies/belangen
5. Thermische randvoorwaarden

Afweging van deze randvoorwaarden leidt tot een ordeningsplan van de ondergrond waarbij kansen voor combinatie van functies worden benut en negatieve interactie tussen verschillende gebruikers wordt geminimaliseerd.

### 1.3 Leeswijzer

De voorliggende rapportage is als volgt opgebouwd:

#### **Stelsystemen (hoofdstuk 2)**

Dit hoofdstuk beschrijft het concept bodemenergie. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk toegelicht welk type systemen in dit rapport aanbod komen.

#### **Beleidskader (hoofdstuk 3)**

In dit hoofdstuk is het huidige en toekomstige beleid rondom dit bodemenergieplan toegelicht. Daarnaast is ingegaan op de borging van het plan.

#### **Bodempotentieel en belangen (hoofdstuk 4)**

Dit hoofdstuk beschrijft de geplande bouwontwikkelingen in het plangebied. Tevens wordt ingegaan op de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond ter plaatse. Daarnaast brengt dit hoofdstuk de huidige en bekende toekomstige gebruikers van de ondergrond in de omgeving van de TUD in kaart.

---

### **Indeling plangebied (hoofdstuk 5)**

In dit hoofdstuk zijn de ontwikkelingen binnen het plangebied beschreven. Vervolgens wordt een selectie van de in te richten gebieden besproken.

### **Uitwerking bodemenergieplan (hoofdstuk 6)**

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de ordening van de ondergrond wordt vormgegeven in het bodemenergieplan. De randvoorwaarden voor het opstellen van de plankaart zijn toege-licht. Een voorstel voor de inrichting, waaraan nieuwe initiatiefnemers van bodemenergie in het plangebied zich aan moeten houden, is uitgewerkt.

### **Effecten (hoofdstuk 7)**

In dit hoofdstuk zijn de effecten op de omgeving en milieuvoordelen van de inzet van bodemenergie gekwantificeerd.

### **Realisatie (hoofdstuk 8)**

Dit hoofdstuk gaat in op het afstemmen van bronlocaties en de verschillende manieren om het grondwater dat vrijkomt tijdens het ontwikkelen van de bronnen te lozen.

### **Conclusies (hoofdstuk 9)**

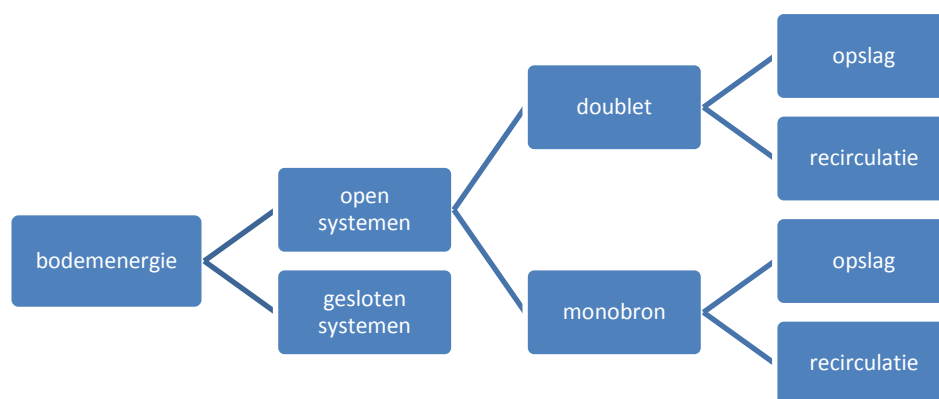
In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de belangrijkste conclusies uit dit bodemenergieplan.

# 2

## Systemconcepten

Bij bodemenergiesystemen wordt gebruik gemaakt van de bodem om gebouwen op duurzame wijze te voorzien van koeling en verwarming. Door het toepassen van bodemenergiesystemen worden aanzienlijke energiebesparingen ten opzichte van conventionele koude- en warmtelevering gerealiseerd. Onderstaande figuur geeft de verschillende typen bodemenergiesystemen weer.

Figuur 4  
Type bodemenergiesystemen



### Open versus gesloten systemen

Open systemen bestaan uit bronnen waar grondwater aan wordt onttrokken en geïnfiltreerd. Het principe bij open systemen is dat energie in de vorm van warmte en koude wordt opgeslagen in een ondergrondse watervoerende laag en dat in de warme perioden wordt gekoeld met koude uit de koude periode en in de koude perioden wordt verwarmd met warmte uit de warme periode.

Gesloten systemen, ook wel bodemwarmtewisselaars genoemd, bestaan uit flexibele kunststof lussen in de bodem waarmee warmte en koude aan de bodem wordt onttrokken. De hoeveelheid warmte en koude die geleverd kan worden met een gesloten systeem is beperkt ten opzichte van een open systeem. Daarnaast hebben gesloten systemen een veel groter ruimtebeslag.

### Doublet versus monobron

Open systemen zijn onderverdeeld in doubletten en monobronnen. Een doublet bestaat uit een koude en een warme bron (opslagvariant). Een monobron bestaat uit slechts één bron, waarbij twee filters op ongelijke diepte in de bodem gepositioneerd worden. Hierbij vormen de warme en koude bel zich onder elkaar. Een monobron heeft een beperkt vermogen

doordat het maximale debiet beperkt blijft. Het milieurendement (energiebesparing en emissiereductie) is voor beide type systemen gelijk.

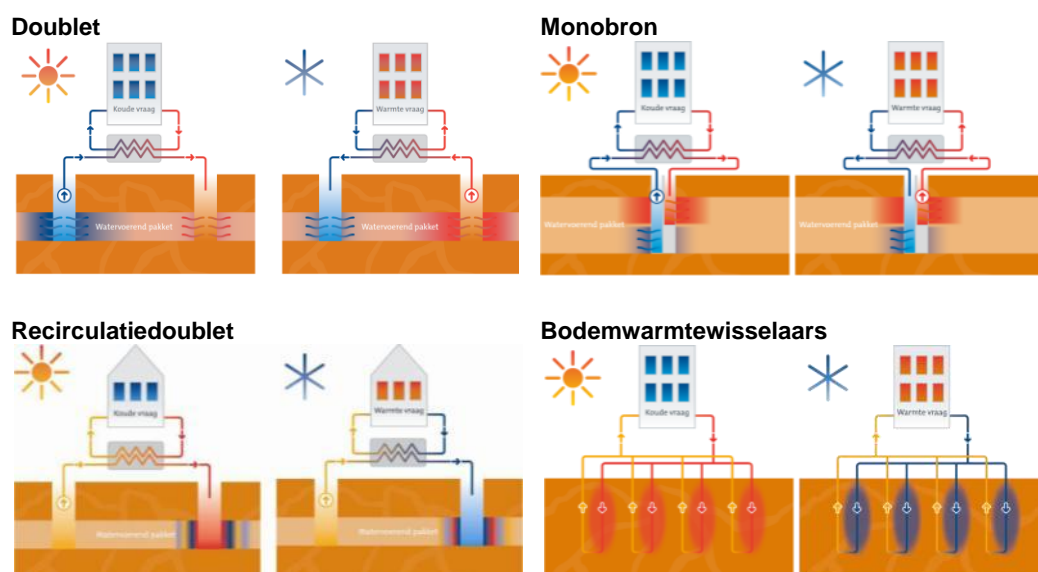
### Recirculatiesystemen

Een recirculatiesysteem is een alternatief systeem wat bestaat uit een onttrekkings- en een infiltratiebron. Hierbij is geen sprake van opslag. Er wordt namelijk continue grondwater onttrokken uit de ene bron en geïnfiltrated in de andere bron. Een recirculatiesysteem kan zowel als doublet- als monobronsystemen worden uitgevoerd.

Met het onttrokken grondwater, met een temperatuur gelijk aan de natuurlijke grondwatertemperatuur, wordt in de zomer gekoeld en in de winter verwarmd. De hoeveelheid warmte en koude die geleverd kan worden met een recirculatiesysteem is beperkt ten opzichte van een opslagsysteem. Daarnaast is het ondergrondse ruimtebeslag groter dan bij de opslagvariant.

In figuur 5 zijn de hierboven beschreven concepten schematisch weergegeven.

Figuur 5  
Type bodemenergiesystemen



# 3

---

## Beleidskader

Bij het opstellen van dit plan is geanticipeerd op de relevante beleidsontwikkelingen. De nieuwe regelgeving vanuit het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen heeft invloed op regelgeving met betrekking tot open en gesloten systemen.

Dit hoofdstuk beschrijft achtereenvolgens het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen, de ordeningsregels en de juridische borging van het bodemenergieplan.

### 3.1 Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen

Per 1 juli 2013 wordt het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (beter bekend als de AMvB Bodemenergie) van kracht [Lit. 3]. Dit besluit heeft vier belangrijke doelen:

1. Zoveel mogelijk gelijk speelveld open en gesloten systemen.
2. Beter ordenen ondergrond voor doelmatiger gebruik van bodemenergie en voorkomen van interferentie.
3. Het borgen van de kwaliteit van de aanleg van bodemenergiesystemen onder andere door middel van het invoeren van certificering van bedrijven.
4. Betere inpassing van bodemenergiesystemen in bouwprojecten.

Door de invoering van het wijzigingsbesluit zal de regelgeving voor open en gesloten systemen veranderen. De provincie blijft bevoegd gezag voor open systemen. De gemeente wordt (meestal) bevoegd gezag voor de gesloten systemen. Het voorliggende bodemenergieplan vormt de basis voor het beleid voor het TUD-terrein.

### 3.2 Provinciaal toetsingskader vergunningverlening bodemenergie

De provincie Zuid-Holland wil met behulp van het 'Toetsingskader vergunningverlening bodemenergie' [Lit. 4] in het stedelijk gebied van grotere gemeenten en glastuinbouwgebieden een optimaal mogelijke benutting van de bodem voor bodemenergie realiseren. Deze gebieden zijn daarom aangewezen als ambitiegebied. Het toetsingskader behelst het faciliteren van ruimtelijke afweging van bodemenergie in relatie tot andere functies.

Onderdeel van het toetsingskader is het binnen het ambitiegebied mogelijk maken van een open bodemenergiesysteem in het eerste watervoerende pakket, wanneer dat systeem deel uitmaakt van een bodemenergieplan met bijhorende beleidsregel. Vanwege de drukte

---

in de ondiepe ondergrond wordt in dit gebied geen gebruik gemaakt van het eerste water-voerende pakket.

Met het toetsingskader faciliteert de provincie het maken van bodemenergieplannen. Dit wordt door middel van een gebiedsgerichte beleidsregel door de provincie vastgelegd. Dit geldt dus ook voor dit bodemenergieplan.

### 3.3 Borging bodemenergieplan

Het is van belang om het bodemenergieplan juridisch te verankeren om duidelijkheid naar de initiatiefnemers te scheppen over het gebruik van de ondergrond voor bodemenergie en te borgen dat de energetische capaciteit van de bodem optimaal benut wordt.

De gemeente Delft stelt een verordening vast waarin het plangebied is aangewezen als interferentiegebied. Aan het interferentiegebied is een aantal regels gekoppeld die gelden voor de gesloten systemen binnen het interferentiegebied.

De provincie Zuid-Holland stelt op basis van het plan een beleidsregel vast voor open bodemenergiesystemen. Nieuwe vergunningaanvragen worden getoetst aan de regels die in deze beleidsregel zijn opgenomen.



# 4

## Bodempotentieel en belangen

### 4.1 Bodemeigenschappen

Het technisch functioneren van een bodemenergiesysteem is afhankelijk van een aantal bodemeigenschappen. De belangrijkste voorwaarde is dat in de bodem een geschikte watervoerende zandlaag aanwezig is die voldoende capaciteit biedt voor de opslag van koude en warmte. Daarnaast zijn de grootte en de richting van de grondwaterstroming van belang bij het positioneren van de bronnen. Bij een hoge grondwaterstroming kan thermische interactie tussen de warme en koude bellen optreden. Dit dient in verband met rendementsverlies te worden voorkomen. Tenslotte is de grondwaterkwaliteit van belang in verband met de materiaalkeuze van de bronnen. In het MER van de TUD bevindt zich een uitgebreide beschrijving van deze bodemeigenschappen [Lit. 1, paragraaf 4.1].

De bodem in de directe omgeving van het TUD-terrein is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. Figuur 6 geeft de globale bodemopbouw in het plangebied weer. Lokaal zijn verschillen aanwezig. De lokale bodemopbouw dient in een vergunningaanvraag voor een individueel systeem nader te worden beschouwd.

Figuur 6  
Schematisatie bodemopbouw



---

Het eerste watervoerende pakket is vanwege de ondiepe ligging en beperkte dikte minder geschikt voor de toepassing van (grootschalige) bodemenergiesystemen. Het tweede watervoerende pakket (A plus B) biedt bodemtechnisch gezien de beste mogelijkheden voor de toepassing van (grootschalige) bodemenergiesystemen. Ook in het derde watervoerende pakket is bodemenergie mogelijk. Maar vanwege de lagere doorlatendheid, de grotere diepte en de goede geschiktheid van het bovenliggende pakket, ligt het niet voor de hand om bodemenergiesystemen te realiseren in dit pakket. Daarom is in dit bodemenergieplan uitgegaan van open bodemenergiesystemen in het tweede watervoerende pakket.

De grondwaterstand op het TUD-terrein varieert tussen de -2,0 en -3,0 m t.o.v. NAP (circa 1 tot 2 m-mv).

Het grondwater in het tweede watervoerende pakket stroomt in noordnoordwestelijke richting met een snelheid kleiner dan 5 meter per jaar. De grondwaterstroming heeft hiermee nauwelijks invloed op het functioneren van open bodemenergiesystemen.

De overgang van zoet naar brak grondwater bevindt zich op circa 12 meter beneden NAP, de overgang van brak naar zout grondwater bevindt zich op circa 15 meter beneden NAP (beide in de deklaag). Het grondwater in het tweede watervoerende pakket is zout. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de materiaalkeuze voor bodemenergiesystemen.

## 4.2 Aanwezige en toekomstige belangen

Bij bodemenergie dient rekening gehouden te worden met reeds aanwezige en toekomstige belangen. In de vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet weegt Omgevingsdienst Haaglanden namens de provincie deze belangen af. Belanghebbenden mogen namelijk geen ontoelaatbare negatieve invloed ondervinden van de (beoogde) bodemenergiesystemen. Het risico op negatieve interferentie wordt bepaald door de grootte en configuratie van de beoogde systemen, de bodemopbouw en de afstand (zowel vertikaal als horizontaal) tot de aanwezige belangen.

Bijlage 1 geeft een overzicht van de belanghebbenden in de omgeving van de TUD. In de onderstaande paragrafen zijn de diverse belanghebbenden apart toegelicht. In deze inventarisatie zijn alle aanwezige en toekomstige belangen meegenomen die op het moment van

inventariseren (maart 2013) bekend zijn. In tabel 1 is opgenomen welk bevoegd gezag moet worden geraadpleegd om informatie in te winnen over het betreffende belang.

Tabel 1  
Bevoegd gezag per  
belang

belang	bevoegd gezag
grondwatergebruik (open systemen)	provincie Zuid-Holland
gesloten bodemenergiesystemen	gemeente Delft
natuurgebieden	provincie Zuid-Holland en gemeente Delft
bodem informatie (verontreinigingen)	gemeente Delft (milieu@delft.nl)
archeologie en cultuurhistorie	gemeente Delft (archeologie@delft.nl)
funderingen	TUD en gemeente Delft
waterkeringen	Hoogheemraadschap Delfland
infrastructuur	TUD en gemeente Delft
kabels en leidingen	TUD en gemeente Delft

#### 4.2.1 Grondwatergebruikers

In het plangebied zijn diverse grondwatergebruikers aanwezig. Het betreffen zowel meldings- als vergunningplichtige onttrekkingen in het kader van de Waterwet. Onder meldingsplichtige onttrekkingen vallen blusvoorzieningen, bronbemalingen en saneringen. Deze onttrekkingen bevinden zich in de deklaag en incidenteel in het eerste watervoerende pakket en zijn meestal van tijdelijke aard. Deze onttrekkingen zijn niet opgenomen in dit bodemenergieplan. Wel dient in de vergunningaanvraag van een beoogd bodemenergiesysteem ook de invloed op de meldingsplichtige onttrekkingen te worden gekwantificeerd: er moet worden aangetoond dat deze onttrekkingen niet nadelig worden beïnvloed.

Onder vergunningplichtige onttrekkingen vallen bodemenergiesystemen en industriële onttrekkingen zoals proceskoeling. Er zijn diverse vergunningplichtige onttrekkingen aanwezig waar rekening mee gehouden moet worden. De permanente onttrekkingen die in maart 2013 in het LGR geregistreerd stonden, zijn opgenomen in tabel 2. Figuur 7 geeft de ligging van die onttrekkingen weer.

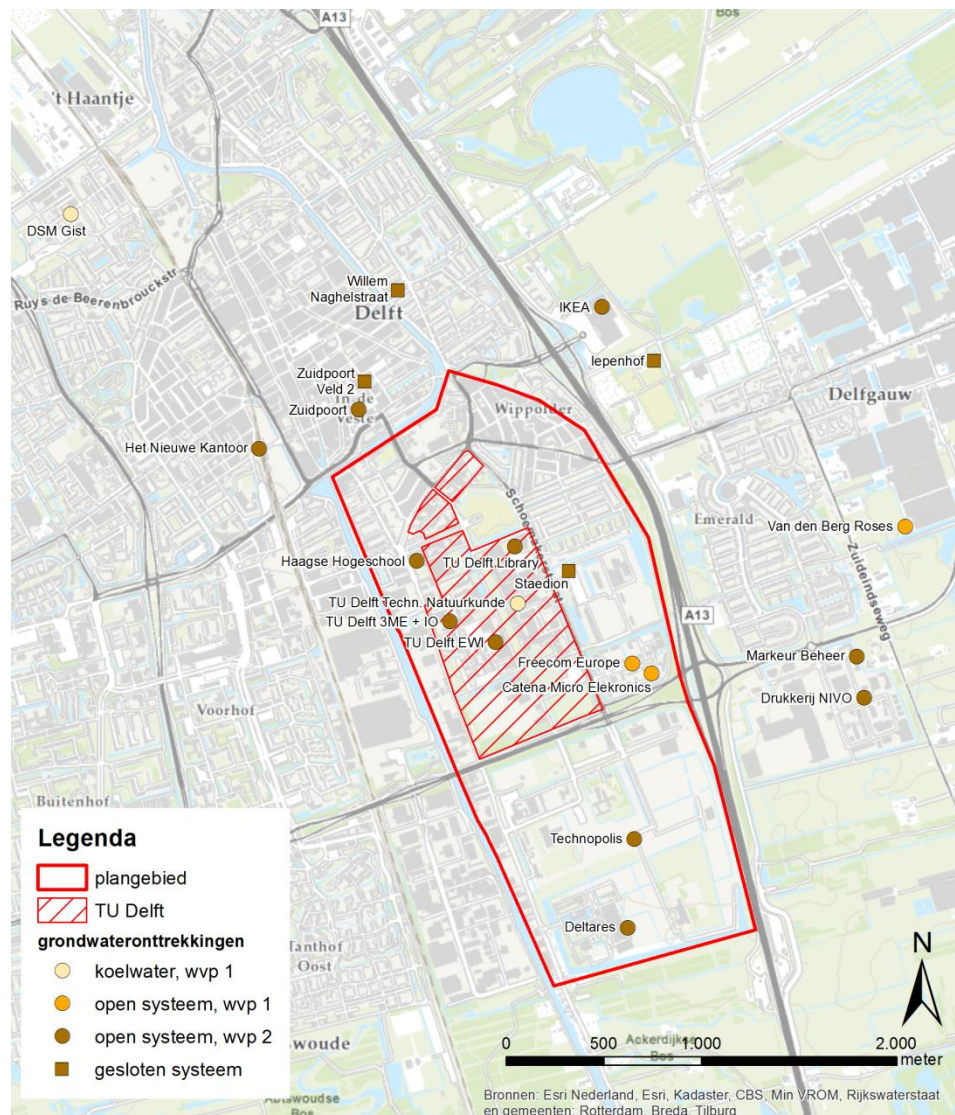
In tabel 1 en figuur 7 zijn de onttrekkingen binnen 1.500 m rondom het plangebied opgenomen. Binnen deze straal hebben de beoogde bodemenergiesystemen van de TUD invloed op de grondwaterstand en stijghoogte.

Tabel 2  
Grondwateronttrekkingen binnen 1.500 meter van de projectlocatie (bron: overzicht grondwateronttrekkingen van provincie Zuid-Holland)

naam van inrichting	ligging t.o.v. de grens van het plangebied	pakket	debiet [m <sup>3</sup> /uur]	waterhoeveelheid [m <sup>3</sup> /jaar]
TU Delft 3mE + IO <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 1 <sup>3</sup>	2A	80	200.000
TU Delft EWI <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 1 <sup>3</sup>	2A	216	422.500
TU Delft Library (bibliotheek) <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 1 <sup>3</sup>	2A	80	165.000
TU Delft Techn. Natuurkunde <sup>2</sup>	in plangebied, deelgebied 1 <sup>3</sup>	1	175	515.500
Technopolis <sup>1</sup> (Exact en Yes!)	in plangebied, deelgebied 8 <sup>3</sup>	2A	350	1.860.000
Freecom Europe <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 6 <sup>3</sup>	1	27	220.000
Applikon (in aanvraag) <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 8 <sup>3</sup>	2A	70	360.000
Deltares <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 9 <sup>3</sup>	2A	80	480.000
Catena Micro Electronics <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 6 <sup>3</sup>	1	17	148.920
Haagse Hogeschool <sup>1</sup>	in plangebied, deelgebied 10 <sup>3</sup>	2A	80	200.000
Zuidpoort <sup>1</sup>	200 m ten noorden	2A	110	294.000
Het Nieuwe Kantoor <sup>1</sup>	400 m ten noordwesten	2B	80	300.000
IKEA <sup>1</sup>	600 m ten noordoosten	2A	225	700.000
Markeur Beheer <sup>1</sup>	800 m ten oosten	2A	40	180.000
Drukkerij NIVO <sup>1</sup>	800 m ten oosten	2	8	20.000
Van den Berg Roses <sup>1</sup>	1.300 m ten oosten	1	200	1.200.000
DSM Gist <sup>2</sup>	1.500 m ten noordwesten	1	1.600	13.800.000

<sup>1</sup> bodemenergiesysteem, <sup>2</sup> proceskoeling, <sup>3</sup> zie hoofdstuk 4 voor gebiedsindeling

**Figuur 7**  
 Ligging aanwezige  
 grondwaterontrek-  
 kingen en gesloten  
 systemen



---

#### 4.2.2 Gesloten bodemenergiesysteem

Bij de gemeente Delft is informatie opgevraagd over de aanwezigheid van gesloten systemen. Deze bekende systemen zijn weergegeven in figuur 7.

Voor zover bekend is binnen het projectgebied één gesloten bodemenergiesysteem aanwezig. Dit systeem is gerealiseerd voor een gebouw van corporatie Staedion van 72 woningen en een kinderdagverblijf aan de Schoemakerstraat. De grootte en diepte van dit systeem zijn niet bekend.

Circa 200 meter ten noorden van het plangebied bevindt zich een gesloten bodemenergiesysteem ter plaatse van het nieuwbouwblok Zuidpoort Veld 2 Rozemarijn. Een tweede systeem bevindt zich circa 500 meter ten noorden van het plangebied aan de Willem Naghelstraat. En een derde systeem is gelegen bij de Iepen Hof, circa 500 meter ten noordoosten van het plangebied. De grootte en diepte van deze systemen zijn niet bekend.

Gesloten systemen hebben tot inwerkingtreding van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (waarschijnlijk per 1 juli 2013) geen meldings- of registratieplicht. De aanwezigheid van meer van deze systemen is daarom niet uit te sluiten.

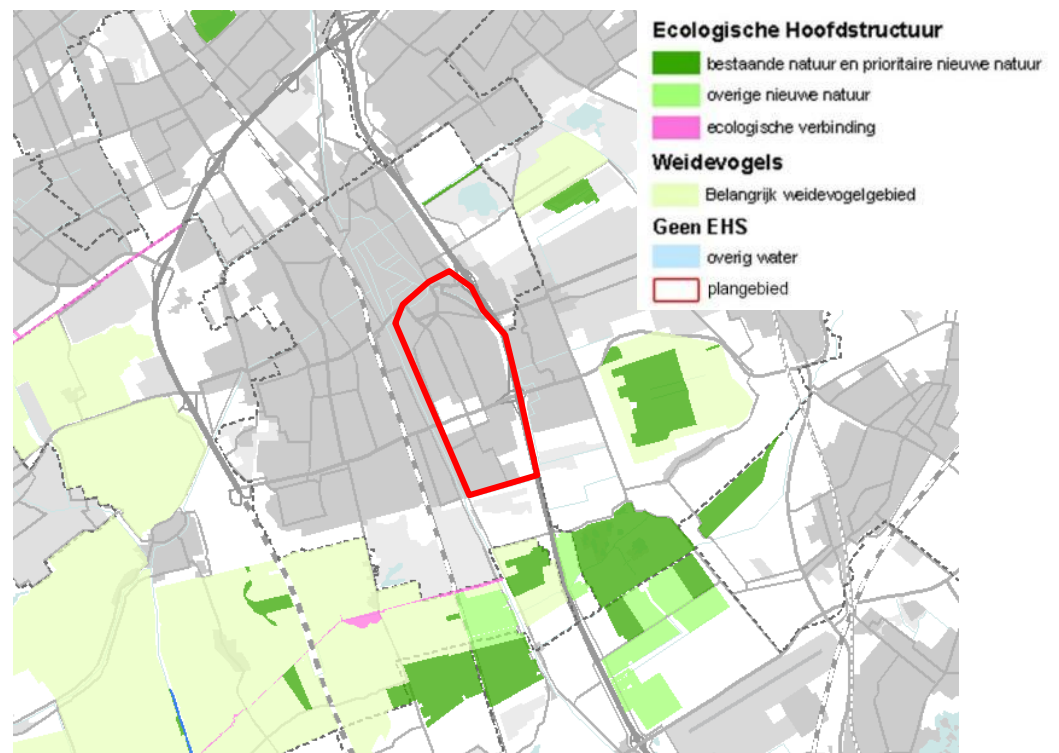
#### 4.2.3 Natuurgebieden

Volgens de Ecologische Hoofdstructuur Atlas van de provincie Zuid-Holland zijn binnen een straal van 2 km van de locatie geen Vogel- of Habitatrichtlijngebieden of Natuurbeschermingswetgebieden aanwezig. Wel zijn in de omgeving gebieden aanwezig die vallen onder de Ecologische Hoofdstructuur en weidevogelgebieden. In figuur 8 zijn alle aanwezige natuurgebieden in de omgeving van het plangebied weergegeven.

Ten noordoosten van het TUD-terrein ligt De Delftse Hout [Lit. 5]. De Delftse Hout is aangelegd in de jaren zeventig van de vorige eeuw en maakt samen met het Bieslandse Bos, het Balijbos en het Floriadebos onderdeel uit van een samenhangende groenstructuur die vanuit Delft reikt tot aan Zoetermeer (zie bijlage 1).

Bij het uitvoeren van de boringen en de realisatie van de bijbehorende pompinstallaties en putbehuizingen moet de Flora- en Faunawet in acht worden genomen. Het is niet toegestaan zonder omgevingsvergunning bomen te kappen ter realisatie van boringen, pompinstallaties en putbehuizingen. De minimale afstand voor het uitvoeren van een boring en het realiseren van de bijbehorende pompinstallaties en putbehuizingen ten opzichte van het

*Figuur 8*  
 Overzicht gebieden  
 Ecologische Hoofd-  
 structuur  
 (Ecologische Hoofd-  
 structuuratlas van de  
 provincie Zuid-  
 Holland)



hart van een boom is de straal van de boomkroon. Daarnaast is het verstoren van broedvogels verboden.

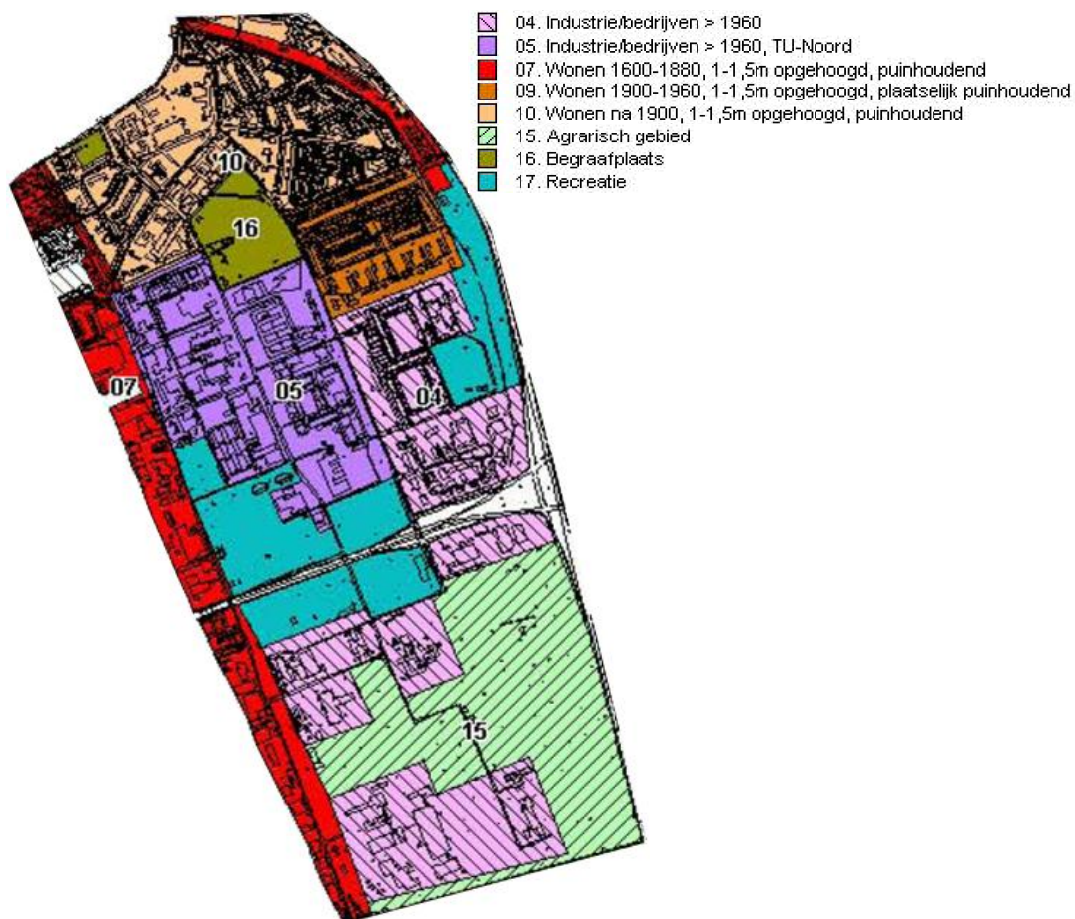
#### 4.2.4 Verontreinigingen

Op basis van informatie van de gemeente Delft is geconcludeerd dat binnen het plangebied, voor zover bekend, geen mobiele grondwaterverontreinigingen aanwezig zijn in het eerste en tweede watervoerende pakket A en B.

Volgens informatie van de gemeente zijn binnen het plangebied twee verontreinigingen aanwezig in de deklaag (zie bijlage 1). De eerste verontreiniging bevindt zich tussen de Watermanweg en de A13, ter plaatse van Yes! Delft. Dit is een voormalige stortplaats voor puin en bouw-/sloopafval. Voor deze locatie is de sanering inmiddels opgestart. De tweede verontreiniging bevindt zich tussen de Thysseweg en de snelweg A13, ter plaatse van het NMI. Dit is een voormalige puinstort welke sterk verontreinigd is met puin, PAK en zware

metalen. Deze locaties vormen een aandachtspunt voor boorwerkzaamheden vanwege de aanwezigheid van sterk verontreinigd puin. Bij werkzaamheden ter plaatse dient rekening gehouden te worden met de Wet bodembescherming.

*Figuur 9*  
Bodemkwaliteitszonen (bron: nota 'Duurzaam bodembeheer in Delft')



In de nota Duurzaam bodembeheer van de gemeente Delft [Lit. 6] is de bodemkwaliteit in het plangebied in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat de gebieden ten noorden en westen van het TUD-terrein licht (nr. 10) tot matig (nr. 7) verontreinigd zijn (zie figuur 9). Deze verontreinigingen bevinden zich in de deklaag en zullen niet direct worden beïnvloed door de



---

toepassing van bodemenergie in het tweede watervoerende pakket. Ze vormen evenwel een aandachtspunt in de realisatiefase, wanneer de bronnen worden geboord.

Voor de vergunningaanvraag geldt een onderzoeksverplichting voor bodemverontreiniging. Neem voor bodeminformatie contact op met de afdeling Ruimte Advies van de gemeente Delft via [milieu@delft.nl](mailto:milieu@delft.nl).

#### **4.2.5 Archeologie en cultuurhistorie**

Op basis van informatie van de gemeente Delft zijn de aanwezige archeologische belangen geïnventariseerd (figuur 10).

Binnen het terrein zijn diverse gebieden met een archeologische verwachting aanwezig. Een aantal gebieden worden aangemerkt als gebieden met middelhoge of hoge trefkans.

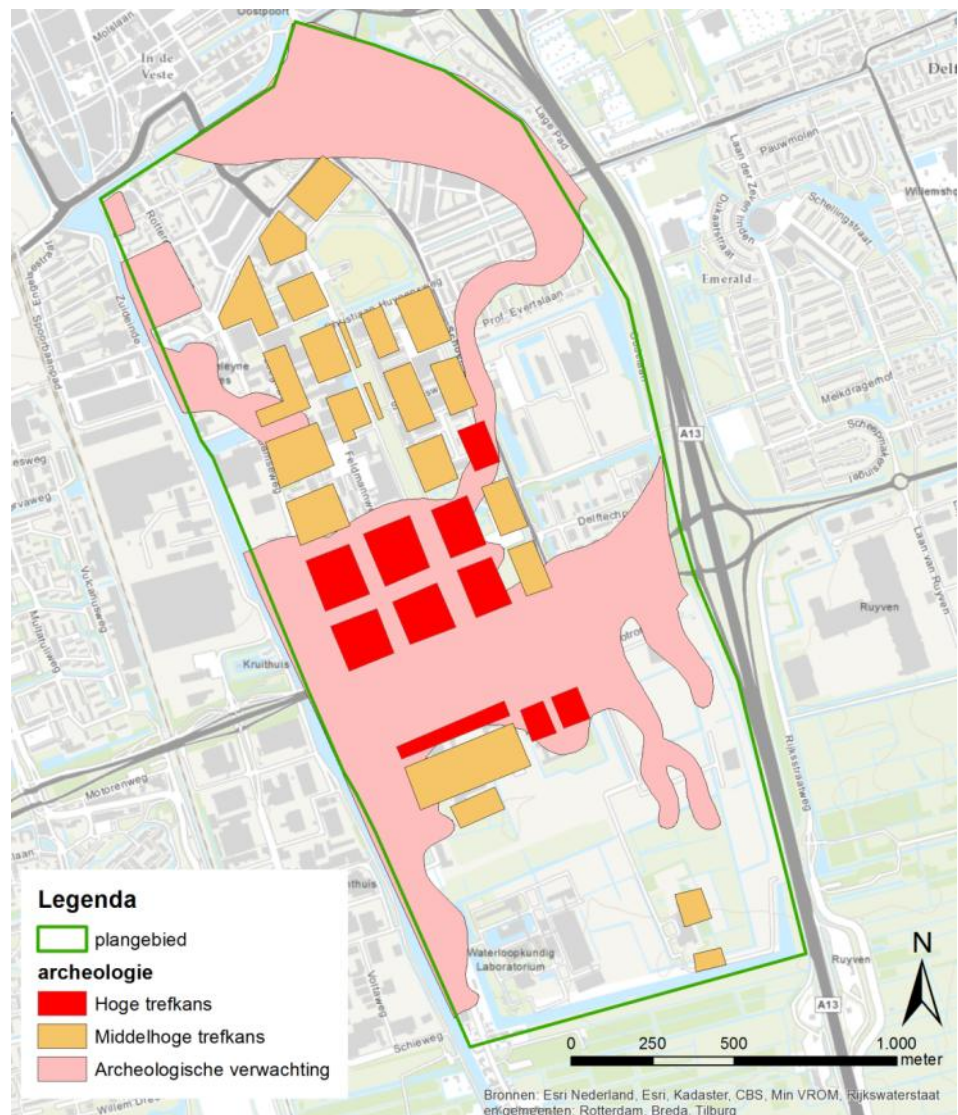
De archeologische waarden zijn een aandachtspunt bij de toepassing van bodemenergiesystemen in verband met grondwaterstandsveranderingen en zettingen.

De realisatie van bodemenergiesystemen vormt een aandachtspunt in verband met het boren van bronnen. Voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden dient archeologisch (voor)onderzoek uit te worden gevoerd. Bij de begrenzing/inrichting van de werkzaamheden dient hiermee zoveel mogelijk rekening te worden gehouden. Na vaststelling van de precieze bodemingrepen, kunnen meer gedetailleerde strategieën en voorwaarden voor archeologisch (voor)onderzoek worden opgesteld.

Alle archeologische waarden moeten voor aanvang van of tijdens de werkzaamheden worden gedocumenteerd. Al het archeologisch onderzoek moet worden uitgevoerd in overeenstemming met de geldende wet- en regelgeving op lokaal en nationaal niveau.

Indien boorwerkzaamheden plaatsvinden in gebieden met hoge trefkans en/of archeologische verwachting, dient ten minste tien werkdagen voorafgaande aan de werkzaamheden per mail via [archeologie@delft.nl](mailto:archeologie@delft.nl) contact opgenomen te worden met de afdeling Archeologie om haar in de gelegenheid te stellen de bovenste meters opgeboord materiaal te onderzoeken op archeologische indicatoren. Deze mail en het antwoord van de gemeente dienen voor een periode van ten minste 1 jaar bewaard te worden en, indien gevraagd, gereproduceerd te kunnen worden.

Figuur 10  
Archeologische  
monumenten en  
trefkans op archeo-  
logische sporen  
(bron: gemeente  
Delft)



#### 4.2.6 Funderingen

Volgens het rapport Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht) [Lit. 7] zijn in de gemeente Delft panden aanwezig met een houten paalfundering. Ook op het terrein van de

---

TU Delft bevinden zich gebouwen met houten paalfundering. Het aantal houten paalfunderingen in de gemeente Delft wordt geschat op 5%. De exacte locatie van de houten paalfunderingen is onbekend. Houten palen zijn gevoelig voor grondwaterstandveranderingen. Bij verlagingen van de grondwaterstand bestaat de kans op paalrot.

#### 4.2.7 Waterkeringen

Het noordelijk en westelijk deel van het plangebied, langs de Schie, wordt begrensd door boezemkades (zie bijlage 1). Deze boezemkades hebben aan weerszijden beschermingszones. Volgens de Keur van het Hoogheemraadschap Delfland is het verboden om zonder vergunning boringen te verrichten en kabels en leidingen aan te leggen in of binnen de beschermingszone van een waterkering [Lit. 8, artikel 4.1]. De waterkering en beschermingszones vormen een aandachtspunt bij het kiezen van bronlocaties. Afstemming met het hoogheemraadschap is hierbij noodzakelijk.

#### 4.2.8 Boven- en ondergrondse infrastructuur

De oostkant van het plangebied wordt afgebakend door de snelweg A13 en de westkant van het plangebied door de Schie. Op circa 300 meter ten westen van de projectlocatie is de spoorlijn Rotterdam - Delft aanwezig. Ten (noord)westen van het plangebied wordt een tunneltracé voor de spoorlijn gerealiseerd (zie bijlage 1). De Prinses Irenetunnel ligt geheel op de spoortunnel. In de toekomstige situatie wordt dit een gelijkvloerse kruising bovenop de spoortunnel. In het centrum van Delft bevindt zich een drietal ondergrondse parkeerkelders, te weten de Phoenix-, Zuidpoort- en Koepoortgarage.

De infrastructurele werken bevinden zich over het algemeen op of in (de onderzijde van) de deklaag. Bij de realisatie van toekomstige bodemenergiesystemen vormen de aanwezige infrastructurele werken een aandachtspunt. Tijdens het boren moet voldoende afstand worden aangehouden tussen de bron en een object. Deze afstand dient in overleg met de gemeente en eventueel bouwconstructeur te worden bepaald. Om problemen te voorkomen is bij het bepalen van de zoekgebieden voor de bronnen zoveel mogelijk rekening gehouden met de op dit moment bekende aanwezige infrastructuur.

#### 4.2.9 Kabels en leidingen

Nabij het plangebied is een aantal belangrijke kabels en leidingen aanwezig, te weten hogedruk gastransportleidingen en een 150 kV elektriciteitskabel. Daarnaast bevindt zich op circa 250 meter ten zuiden een 380 kV elektriciteitskabel (zie bijlage 1).

---

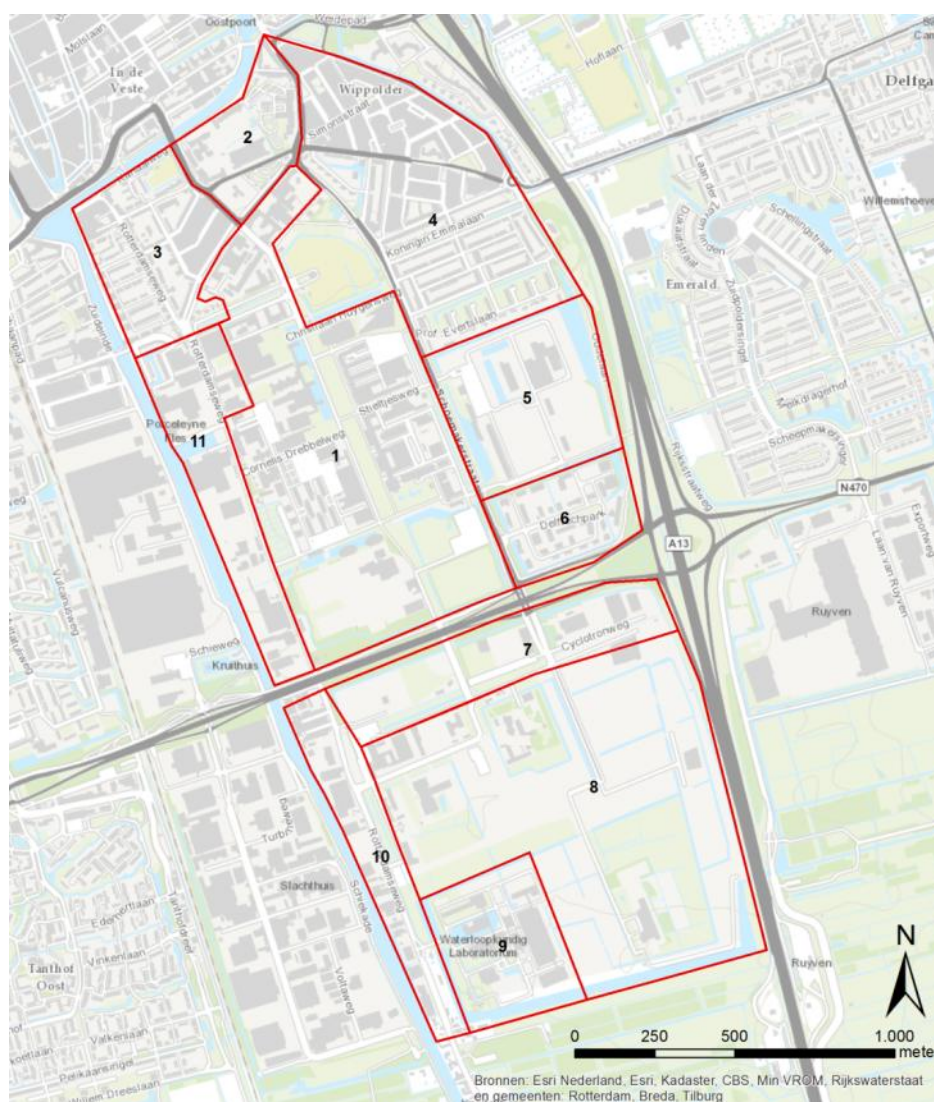
Aanwezige en geplande kabels en leidingen vormen een aandachtspunt tijdens de ontwerpfasen van bodemenergiesystemen. Het betreft voornamelijk de inpassingsmogelijkheden van bronnen en bijbehorend leidingwerk. Afstemming van het leidingwerk dient altijd plaats te vinden met de TUD. Door deze afstemming in een vroeg stadium mee te nemen, kan bodemenergie in de ontwikkeling worden geborgd.

# 5

## Indeling plangebied

In overleg met de TUD en gemeente Delft is het plangebied onderverdeeld in elf deelgebieden, zie figuur 11. Deze indeling is gebaseerd op eigenaar (TUD, gemeente, Deltares), type bebouwing (wonen, werken, bedrijven) en de te verwachten ontwikkelingen binnen het deelgebied.

Figuur 11  
Indeling plangebied



Per deelgebied vinden verschillende ontwikkelingen plaats. Deze ontwikkelingen zijn bepaald aan de hand van gegevens van de TUD, masterplan Technopolis [Lit. 9] en het project MER Bestemmingsplannen Delft Zuidoost [Lit. 5] Uit deze plannen blijkt dat met name ontwikkelingen plaatsvinden op het terrein van de TUD (deelgebied 1), Technopolis (deelgebied 8) en Deltares (deelgebied 9).

Een samenvatting van deze ontwikkelingen is weergegeven in tabel 3. Hieruit is geconcludeerd dat alleen op het terrein van de TUD grootschalige concrete ontwikkelingen plaatsvinden. Daarom is alleen voor dit gebied een ordeningsplan uitwerkt. In het vervolg van de rapportage wordt dit gebied het kerngebied genoemd.

In de overige gebieden moeten nieuwe bodemenergiesystemen voldoen aan bepaalde richtlijnen. Dit is in paragraaf 5.3 nader toegelicht.

Tabel 3  
Beschrijving uitwerking deelgebieden

	naam	ontwikkelingen
1.	Terrein TU Delft	bouwontwikkelingen zoals opgenomen in het MER
2.	Woonwijk: Zeeheldenbuurt en Koningsveldbuurt (ook deels TU Noord)	geen
3.	TU Noord	mogelijk hotel en 475 studentenwoningen
4.	Woonwijk Wippolder	nieuwbouw woontoren met 150 reguliere en 150 studentenwoningen
5.	TNO Zuidpolder / Professor Schoemakersplantage	825 woningen
6.	Delftech Park	geen
7.	Sportvelden	geen
8.	Technopolis	kantoren, bedrijfspanden, gebouwen TUD, één vergunning aanwezig
9.	Deltares	mogelijke uitbreiding
10.	Bedrijventerrein Rotterdamseweg Zuid	geen
11.	Havengebied	mogelijke woningbouw en bedrijfsontwikkeling

In de volgende paragrafen zijn de ontwikkelingen uit tabel 2 nader toegelicht.

## 5.1 Deelgebied 1: Terrein TU Delft

Het terrein van de TUD wordt op grote schaal (her)ontwikkeld. Door TUD is per gebouw dat in de toekomst (mogelijk) wordt voorzien van een bodemenergiesysteem het benodigde koelvermogen bepaald. Het totale koelvermogen van de bestaande bebouwing in de toekomst bedraagt 20,5 MW<sub>t</sub> en de totale koudevraag 20,5 GWh. Op basis van deze gegevens is een inschatting gemaakt van de benodigde waterhoeveelheid, zie tabel 4.

Tabel 4  
Overzicht energie-  
vraag en waterhoe-  
veelheden gebouwen  
TU Delft

nummer	gebouwnaam	koel- vermogen [kW <sub>t</sub> ]	koude- vraag [MWh <sub>t</sub> ]	debiet [m <sup>3</sup> /uur]	gem. water- verplaatsing [m <sup>3</sup> /jaar]	max. water- verplaatsing [m <sup>3</sup> /jaar]
(08)	Bouwkunde	2.000	2.000	220	500.000	750.000
(12)	TNW + DCT*					
(20)	Aula	700	700	80	180.000	270.000
(21)	TU Delft Library**	750	750	85	190.000	290.000
(22)	TNW	2.500	2.500	270	620.000	930.000
(23)	CITG	3.500	3.500	380	870.000	1.310.000
(31)	TBM	500	500	55	130.000	200.000
(34+32)	3mE + IO**	2.200	2.200	240	550.000	830.000
(36)	EWI**	3.000	3.000	325	740.000	1.110.000
(37)	Sportcentrum	300	300	35	80.000	120.000
(38)	Cultuurcentrum	150	150	20	40.000	60.000
(46)	P&E LAB	250	250	30	70.000	110.000
	onvoorzien	4.650	4.650	500	1.150.000	1.730.000
<b>totaal</b>		<b>20.500</b>	<b>20.500</b>	<b>2.240</b>	<b>5.120.000</b>	<b>7.710.000</b>

\* vervalt na nieuwbouw TNW Zuid

\*\* deze ontwikkelingen hebben reeds een systeem dat (deels) in de energievraag voorziet

In bijlage 2 is een overzicht van de gebouwen op het TUD-terrein weergegeven met daarbij per bestaand gebouw het gebouwnummer, het vloeroppervlak en het benodigde koelvermogen in de toekomst. De ontwikkelingen zijn inmiddels wat gewijzigd ten opzichte van het MER. In bijlage 2 is de meest recente situatie weergegeven (mei 2013). In bijlage 3 is beschreven hoe de waterhoeveelheden en debieten zijn bepaald.

De gegevens in tabel 3 zijn inclusief de bestaande bodemenergiesystemen van TU Delft Library (bibliotheek) (21), 3mE + IO (34+32) en EWI (36).

Opgemerkt dient te worden dat de debieten en waterhoeveelheden slechts een indicatie geven. Tijdens de realisatie van de diverse projecten kan blijken dat de ingeschatte energievraag niet overeenkomt met de werkelijke energievraag. Dit betekent dat de inschatte debieten en waterhoeveelheden ook afwijken. Per ontwikkelingen zal gekeken moeten worden hoe deze in het bodemenergieplan past.

## 5.2 Deelgebied 8: Technopolis

Technopolis Delft is een nieuw hoogwaardige science park ten zuiden van de TUD, waar zich de komende jaren kennisinstituten, start-ups en internationale bedrijven gaan vestigen. Een aantal gebouwen wordt voor de TUD ontwikkeld (tabel 5 en bijlage 2). Deze gebouwen zijn in het MER [Lit. 1] meegenomen als onderdeel van de TUD. Momenteel is nog niet duidelijk waar en hoe deze gebouwen worden gerealiseerd.

Tabel 5  
Overzicht energie-  
vraag en waterhoe-  
veelheden gebouwen  
Technopolis

gebouw	gebouwnaam	koel- vermogen [kW <sub>t</sub> ]	koude- vraag [MWh <sub>t</sub> ]	debiet [m <sup>3</sup> /uur]	gem. water- verplaatsing [m <sup>3</sup> /jaar]	max. water- verplaatsing [m <sup>3</sup> /jaar]
(50)	RID	700	700	80	180.000	270.000
(60)	L&M	50	50	10	20.000	30.000
(62)	L&R	1.200	1.200	130	300.000	450.000
(65)	Kluyverweg 4-6*					
<b>totaal</b>		<b>1.950</b>	<b>1.950</b>	<b>220</b>	<b>500.000</b>	<b>750.000</b>

\* dit gebouw wordt op termijn gesloopt

Voor het overige deel van het Technopolisgebied is op dit moment onduidelijk:

- hoeveel ontwikkelingen gerealiseerd zullen worden;
- wat de grootte is per ontwikkeling;
- waar de ontwikkelingen worden gerealiseerd;
- welk type ontwikkelingen gerealiseerd worden.

Omdat er nog zoveel vrijheidsgraden zijn, is het niet mogelijk om voor dit gebied ordening in de ondergrond aan te brengen.



---

### 5.3 Deelgebied 9: Deltares

Deltares is voornemens uit te breiden en voor de klimatisering hiervan bodemenergie toe te passen. Op dit moment (maart 2013) zijn nadere gegevens van dit voornemen onbekend, maar de verwachting is dat het systeem op de noordelijke grens van deelgebied 9 en 10 zal worden gerealiseerd.

Omdat niet duidelijk is waar en hoe de ontwikkeling gerealiseerd wordt, wordt voor dit gebied geen ordening uitgewerkt.

### 5.4 Overige deelgebieden

In de overige deelgebieden worden diverse locaties ontwikkeld. Op basis van het Project-MER Bestemmingsplannen Delft Zuidoost [Lit. 5] is geconcludeerd dat er zo'n 4.800 (studenten)woningen worden ontwikkeld. Deze ontwikkelingen vinden met name plaats in deelgebieden 3, 4, 5 en 11. De exacte locaties en aantallen zijn nog niet bekend. In de rapportage is beschreven dat de woningen uitgerust moeten zijn met een warmteaansluiting ten behoeve van verwarming en warm tapwater. Er wordt een warmtenet aangelegd bestaande uit twee circuits met AWZI en een nieuw warmtestation als bron. Deze middelen voorzien in de warmtebehoefte van de woningen. Er wordt niet voorzien in de koudebehoefte. Dit betekent dat deze woningen niet in aanmerking komen voor de toepassing van bodemenergie. De woningen worden derhalve buiten beschouwing gelaten.

Daarnaast is een aantal andere ontwikkelingen beoogd. In deelgebied 3 (TU Noord) wordt mogelijk een hotel gerealiseerd. In deelgebied 11 (Havengebied) wordt mogelijk een project gerealiseerd waar woningbouw en bedrijfsontwikkeling plaatsvindt. De omvang van beide ontwikkelingen is niet bekend.

Omdat het twee losstaande ontwikkelingen betreffen, is voor deze ontwikkelingen geen ordeningsplan uitgewerkt.

# 6

## Uitwerking Bodemenergieplan

### 6.1 Toepassingsbereik bodemenergieplan

#### Keuze systeemconcept

Het bodemenergieplan is in eerste plaats gericht op open bodemenergiesystemen. De capaciteit van een doubletsysteem in het tweede watervoerende pakket bedraagt circa 90 m<sup>3</sup> per uur.

Monobronsystemen zijn in principe ook inpasbaar in het tweede watervoerende pakket. Het bovenste filter van de monobron kan worden gerealiseerd in het tweede watervoerende pakket A en het onderste filter in het tweede watervoerende pakket B. Aandachtspunt vormt de combinatie van doubletsystemen en monobronnen: de aanwezigheid van een monobronstelsel kan de inpassing van doubletsystemen belemmeren, omdat bronnen niet dicht bij elkaar geplaatst kunnen worden. Omdat meeste ontwikkelingen dusdanig groot zijn dan een doubletsysteem benodigd is, is voor het ordeningsplan gekozen voor de toepassing van doubletsystemen.

Vergeleken met de doubletsystemen hebben gesloten systemen en recirculatiesystemen een relatief groter ruimtegebruik en lager rendement. Recirculatiesystemen worden bij voorkeur geweerd uit het plangebied. In overleg met de TUD en de gemeente Delft is besloten om gesloten systemen toe te staan onder voorwaarden.

#### Keuze watervoerende pakket voor gesloten systemen

In het plangebied is de toepassing van gesloten systemen toegestaan in het eerste watervoerende pakket (maximale diepte 40 meter minus maaiveld). Voorwaarde is dat de eerste 4 meter van de lus thermisch geïsoleerd dient te worden, zodanig dat in dit traject geen energie uitwisseling met de bodem plaatsvindt.

#### Keuze watervoerende pakket voor open systemen

In het plangebied wordt voor open bodemenergiesystemen uitgegaan van het tweede watervoerende pakket (A plus B). Dit pakket de beste mogelijkheden biedt voor de grootschalige toepassing van deze systemen. De reeds aanwezige open bodemenergiesystemen zijn ook in dit pakket gerealiseerd.

Vanwege de aanwezige en mogelijke toekomstige belangen in de deklaag en het eerste watervoerende pakket wordt in dit gebied geen gebruik gemaakt van het eerste watervoerende pakket voor de toepassing van open bodemenergiesystemen.

---

Het derde watervoerende pakket kan tevens worden gebruikt voor de toepassing van open bodemenergiesystemen. Vanwege de lagere doorlatendheid, de grotere diepte en de goede geschiktheid van het bovenliggende pakket, ligt het niet voor de hand om bodemenergiesystemen te realiseren in dit pakket.

### **Kerngebied**

Binnen het plangebied zijn twee soorten deelgebieden onderscheiden. Het kerngebied is een zone waar veel ontwikkelingen – en bijbehorende vraag naar bodemenergie – verwacht worden. In de overige gebieden worden vooralsnog niet veel ontwikkelingen voorzien. Binnen het kerngebied zijn zoekgebieden voor de koude en warme bronnen van de toekomstige open bodemenergiesystemen aangegeven. Voor de overige gebieden zijn geen locaties aangewezen, maar is wel een aansluitsystematiek ten behoeve van ordening uitgewerkt (zie bijlage 5).

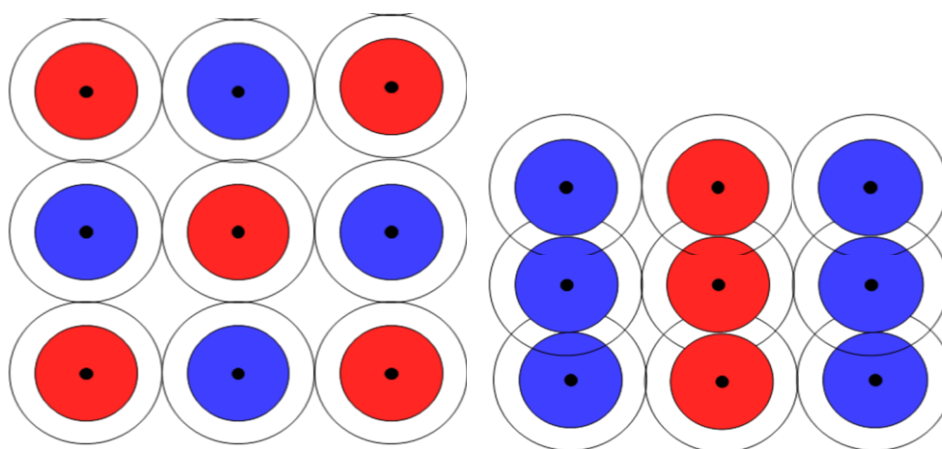
## **6.2 Verdeling energiec capaciteit binnen het kerngebied**

Het terrein van de TUD (deelgebied 1) is aangewezen als kerngebied. Bij de bepaling van de zoekgebieden is zoveel mogelijk rekening gehouden met aanwezige en toekomstige ondergrondse en bovengrondse infrastructuur. Tevens zijn de zoekgebieden dusdanig geplaatst dat bodemenergiesystemen elkaar niet negatief zullen beïnvloeden.

### **6.2.1 Ordeningsprincipe**

Om te zorgen dat bodemenergiesystemen thermisch gezien optimaal functioneren en de hydrologische effecten acceptabel zijn, gelden in de praktijk twee ordeningspatronen voor de bronnen: een dambordpatroon en een strokenpatroon (zie figuur 12).

Figuur 12  
Dambordpatroon  
(links) versus stro-  
kenpatroon (rechts)



### Dambordpatroon

Een dambordpatroon gaat uit van een repeterend patroon, waarbij koude en warme bronnen (of bronclusters) elkaar afwisselen met vaste onderlinge afstanden. Voordeel van dit patroon is dat de effecten op de grondwaterstand die optreden als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater minimaal zijn. Nadeel is dat de opslagcapaciteit van de ondergrond minder efficiënt wordt gebruikt, omdat tussen iedere koude en warme bron voldoende tussenruimte moet worden gelaten om thermische interactie tussen de koude en warme bel te voorkomen.

### Strokenpatroon

Een strokenpatroon gaat uit van een afwisseling van koude en warme stroken met een vaste onderlinge afstand in het gebied. Koude bronnen mogen in de koude stroken worden geplaatst en warme bronnen in de warme stroken. Het voordeel van het strokenpatroon is dat de opslagcapaciteit van de ondergrond efficiënter wordt benut dan bij het dambordpatroon. Een nadeel van het strokenpatroon is dat de hydrologische effecten groter zijn dan bij een dambordpatroon.

Omdat de bronnen in het relatief ondiepe tweede watervoerende pakket worden gepositioneerd, is uitdamping van hydrologische effecten en daarmee beperking van de invloed op de omgeving vereist. Voor dit ordeningsplan is daarom gekozen voor het dambordpatroon. Hierbij zullen de bronnen in clusters van twee (soms drie) bronnen worden geplaatst.

### 6.2.2 Minimale bronafstand tussen ongelijksoortige bronnen

De gemiddelde doorlatendheid van het tweede watervoerende pakket A en B bedraagt 14 m/d<sup>1</sup> [Lit. 1, bijlage 2]. Uitgangspunt is om de beschikbare ruimte in de ondergrond zo veel mogelijk te benutten. In principe kan het gehele tweede watervoerende pakket worden gebruikt voor de filterstelling. Dit komt neer op een filterlengte van 35 meter. Uitgaande van deze waarden bedraagt de maximale broncapaciteit 90 m<sup>3</sup> per uur.

Om de waterverplaatsing te bepalen wordt aangenomen dat een bron maximaal 1.200 uur (ofwel 50 dagen) per seizoen draait. Dit komt overeen met een gemiddelde waterverplaatsing van 108.000 m<sup>3</sup> per seizoen voor een doubletsysteem. Op basis van deze aannames is de minimaal benodigde afstand tussen een warme en koude bron berekend op 100 meter. Deze afstand is gebruikt om de zoekgebieden te definiëren.

### 6.2.3 Aandachtspunten berekening effecten

Genoemde parameters zijn gebruikt om de maximale hydrologische en thermische effecten die alle bodemenergiesystemen gezamenlijk hebben op de omgeving te berekenen (zie - hoofdstuk 7).

Nieuwe systemen worden aan deze maximale hydrologische en thermische effecten getoetst: de effecten van nieuwe systemen moeten binnen de berekende effecten vallen. Dit betekent dat wanneer de bodemopbouw afwijkt van bovengenoemde aannames, een nieuw bodemenergiesysteem zich hieraan moet aanpassen. Bijvoorbeeld bij een hoger doorlaatvermogen kan een hoger debiet worden onttrokken, zonder dat de effecten groter worden. Dit betekent ook dat wanneer de bodemgeschiktheid tegenvalt, het debiet ook omlaag moet.

### 6.2.4 Plankaart en toetsingscriteria open systemen

Figuur 13 presenteert de plankaart van het bodemenergieplan voor het gehele plangebied. Voor een versie op A3-formaat wordt verwezen naar bijlage 4.

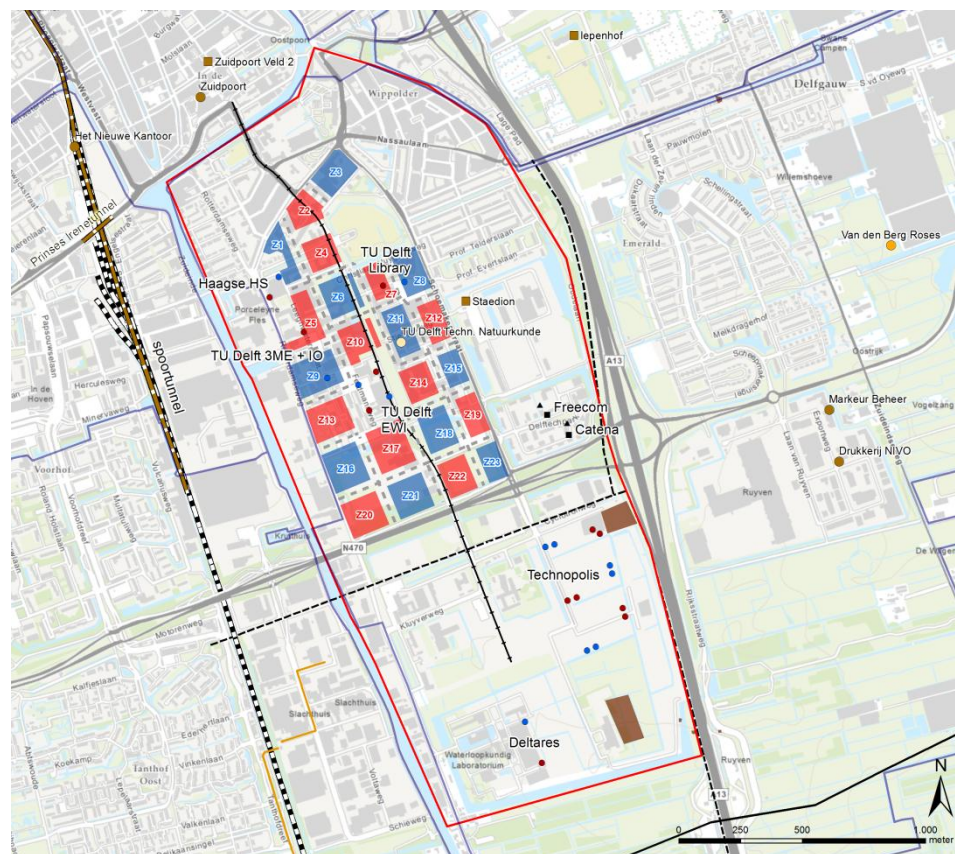
Op de plankaart is het kerngebied weergegeven met daarbinnen zoekgebieden voor de koude en warme bronnen van de toekomstige bodemenergiesystemen. Om een optimale ruimteverdeling te kunnen bewerkstelligen, mogen bronnen alleen in zoekgebieden worden

<sup>1</sup> doorlatendheid (k) = doorlaatvermogen (kD) / dikte pakket (D). Watervoerend pakket 2A: kD = 500 m<sup>2</sup>/d, D = 28 m, dus k = 18 m/d; watervoerende pakket 2B: kD = 300 m<sup>2</sup>/d, D = 30 m, dus k = 10 m/d. Gemiddelde k = 14 m/d.

geplaatst. Daarnaast moet iedere vergunningaanvraag binnen het plangebied worden getoetst aan drie randvoorwaarden:

1. de bronnen van het systeem zijn binnen de zoekgebieden gepositioneerd;
2. per zoekgebied is een maximaal aantal bronnen gedefinieerd;
3. de effecten die het systeem veroorzaakt vallen binnen de berekende effecten.

Figuur 13  
Plankaart



Deze twee randvoorwaarden leiden tot de volgende criteria:

1. De minimale afstand tussen twee gelijksoortige bronnen binnen een zoekgebied bedraagt 20 meter bij een waterverplaatsing van  $108.000 \text{ m}^3$  per seizoen en een filterlengte van 35 meter. Indien de waterhoeveelheid kleiner is, kunnen de bron-

nen dicht bij elkaar worden geplaatst. De initiatiefnemer dient aan de hand van berekeningen de bronafstand te bepalen.

2. De hydrothermische invloed (gebied waarbinnen de verandering van de grondwartertemperatuur meer dan 1,5 °C bedraagt) mag, berekend per zoekgebied, niet verder reiken dan de thermische zones zoals weergegeven op de plankaart. Deze 1,5 °C thermische straal geldt voor individuele bodemenergiesystemen. De keuze voor de 1,5 °C thermische straal is nader toegelicht in de volgende paragraaf.
3. De maximale stijghoogteverandering in het opslagpakket per individueel doublet bedraagt 5,0 meter. Deze stijghoogteverandering wordt gemeten in de peilbuis die is geplaatst in het filtergrind.
4. De maximale cumulatieve stijghoogteverandering per zoekgebied mag bij de bronnen niet meer bedragen dan de waarde die is weergegeven in tabel 6. Om de cumulatieve effecten te bepalen is gekeken naar wat de maximale effecten in een zoekgebied kunnen zijn. Dit is wanneer alle bronnen (bestaand en toekomstig) binnen een zoekgebied op hetzelfde moment aan staan. Tegelijkertijd zijn de complementaire bronnen aangezet. De effecten gelden per zoekgebied en zijn onafhankelijk van het aantal vergunninghouders.

NB. Deze criteria gelden niet voor de vergunde systemen die zijn opgenomen in tabel 1.

Tabel 6  
Aantal bronnen en  
maximale cumulatieve  
stijghoogteverandering  
per zoekgebied

zoek-gebied*	type	# bronnen	max. stijghoogteverandering [m]	zoek-gebied	type	# bronnen	max. stijghoogteverandering [m]
z1	koud	2	6,5	z13	warm	2	6,5
z2	warm	2	6,5	z14	warm	3	7,0
z3	koud	2	6,5	z15	koud	3	7,0
z4	warm	2	6,5	z16	koud	2	6,5
z5	warm	1**	6,5	z17	warm	2	6,5
z6	koud	2	6,5	z18	koud	2	6,5
z7	warm	1**	6,5	z19	warm	2	6,6
z8	koud	1**	6,5	z20	warm	2	6,5
z9	koud	1**	6,5	z21	koud	2	6,5
z10	warm	2	6,5	z22	warm	2	6,5
z11	koud	3	7,0	z23	koud	2	6,5
z12	warm	3	7,0				

\* De codes van de zoekgebieden komen overeen met de plankaart zoals opgenomen in bijlage 4.

\*\* In deze zoekgebieden zijn reeds bronnen gerealiseerd. Het aangegeven aantal is het aantal bronnen dat nog extra gepositioneerd kan worden.

---

### Thermische invloed

Bij de vergunningaanvraag van nieuwe systemen in de zoekgebieden moet de 1,5 °C -contour worden weergegeven. Het werkelijke thermische invloedsgebied (het grondwater dat werkelijk onttrokken wordt) is namelijk kleiner dan door de 0,5 °C -contour van de thermische bel weergegeven wordt. Overigens dient bij de vergunningaanvraag ook de gebruikelijke 0,5 °C -contour te worden weergegeven.

Het verschil in grootte tussen het thermisch invloedsgebied en de thermische bel wordt veroorzaakt door de natuurlijke geleiding en dispersie op het thermische invloedsgebied. Hierdoor stroomt de warmte en koude van de bronnen af en komt dit buiten de onttrekkings sfeer van de bronnen te liggen. De warmte en koude die door dispersie en geleiding afstroomt, wordt dus niet door de bronnen gebruikt en heeft geen invloed op het functioneren van een bodemenergiesysteem zelf of naburige bodemenergiesystemen. Door de 1,5 °C-contour aan te houden wordt een beter beeld gegeven van de ruimte die beschikbaar is voor het positioneren van bodemenergiesystemen.

Bij het positioneren van toekomstige bodemenergiesystemen moet vanzelfsprekend wel rekening gehouden worden met op dat moment vergunde systemen. Binnen een zoekgebied moet rekening gehouden worden met vergunde gelijksoortige bronnen. Daarnaast moet rekening gehouden worden met vergunde ongelijksoortige bronnen in aansluitende zoekgebieden, de bellen mogen elkaar niet raken. In de praktijk kan daardoor minder ruimte beschikbaar zijn voor een toekomstige bron dan het maximale 1,5 °C thermische invloedsgebied zoals op de plankaart weergegeven.

### Energiebalans

Met de ingang van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen is voor zowel open als gesloten bodemenergiesystemen een koudeoverschot toegestaan. Echter, voor een gebied waar veel bodemenergiesystemen worden verwacht, zoals in dit plangebied het geval is, is een groot koudeoverschot niet wenselijk. Een te groot thermisch beïnvloedingsgebied als gevolg van een koudeoverschot in de bodem dient te worden voorkomen aangezien dit een optimale benutting van de ondergrond frustreert. Voor de inrichting van dit plangebied is daarom uitgegaan van een energiebalans. Wanneer een individuele aanvrager van de energiebalans wil afwijken, moet hij onderbouwen dat zijn systeem in het plan past. Voor een dergelijk afwijkend systeem geldt dan de lange procedure.



---

## 6.3 Verdeling energiec capaciteit buiten het kerngebied

Buiten het kerngebied zijn geen zoekgebieden bepaald. Hier is het streven om van de beschikbare ruimte optimaal gebruik te maken.

### **Open systemen**

Voor open systemen is hiervoor is een aansluitssystematiek ten behoeve van ordening uitgewerkt, zie bijlage 5. Het ruimtegebruik ten opzichte van al bestaande (vergunde) en in de kerngebieden geplande systemen wordt beperkt door in een zogenaamde *aansluitzone* koude bronnen zoveel mogelijk bij bestaande/geplande koude bronnen te plaatsen, en warme bronnen zoveel mogelijk bij bestaande/geplande warme bronnen. Op het moment dat bijvoorbeeld een warme bron relatief dichtbij een koude bron van een ander systeem wordt geplaatst, dreigt niet alleen rendementsverlies, maar zal het ruimtelijk lastig zijn nog een ander systeem in de nabijheid te plaatsen.

### **Gesloten systemen**

Gesloten systemen zijn toegestaan tot 40 meter minus maaiveld. Daarnaast mogen gesloten systemen geen negatieve invloed uitoefenen op bestaande en de toekomstige bodemenergiesystemen zoals opgenomen in dit bodemenergieplan. Dit dient tijdens de vergunningaanvraag voor gesloten systemen te worden aangetoond.

# 7

## Effecten en milieuvoordeel kerngebied

Dit hoofdstuk beschrijft welke effecten de toepassing van het bodemenergieplan heeft op de omgeving en de milieuvoordelen die het bodemenergieplan biedt. Paragraaf 7.1 t/m 7.4 gaan nader in op de hydrologische en thermische effecten en zetting die optreden indien het bodemenergieplan maximaal wordt geïmplementeerd. Hierbij is uitgegaan van de toepassing van bodemenergie in het tweede watervoerende pakket. Paragraaf 7.5 beschrijft de potentiële CO<sub>2</sub>-emissiereductie die met het uitvoeren van het bodemenergieplan kan worden behaald.

### 7.1 Hydrologische effecten

Met behulp van het hydrologische model MLU zijn berekeningen uitgevoerd om de maximale hydrologische effecten inzichtelijk te maken. De maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen in de watervoerende pakketten zijn in tabel 7 weergegeven (zie MER [Lit. 1, paragraaf 4.2] voor de berekeningen).

Tabel 7  
Maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen t.o.v. natuurlijke stand

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
deklaag	[m]	0,2
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	0,8
2 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	7,0
3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	0,4

Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een stationaire berekening uitgevoerd, waarbij alle systemen tegelijkertijd en oneindig op maximaal debiet draaien. In de praktijk draait een bodemenergiesysteem slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet. Daarnaast zal het niet voorkomen dat alle systemen tegelijkertijd op maximaal debiet draaien. Ook zullen naar verwachting niet alle bodemenergiesystemen worden gerealiseerd. De resultaten van de berekeningen zijn daarom een overschatting van de werkelijk optredende effecten.

### 7.2 Zetting

De grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen veroorzaken zetting. De meeste zetting treedt op nabij de bronnen. De zetting is berekend ter plaatse van de bron waar de grootste verlagingen in het opslagpakket optreden. Uit de berekeningen [Lit. 1, paragraaf 4.5.3] volgt

dat in de deklaag een maximale zetting van 12 mm optreedt. De totale zetting bedraagt maximaal 26 mm.

### 7.3 Effecten op aanwezige belangen

Hieronder volgt een samenvatting van de effecten op de omgevingsbelangen. Voor een gedetailleerde beschrijving van de effecten op de aanwezige belangen wordt verwezen naar het MER [Lit. 1, hoofdstuk 4].

In het MER wordt uitgegaan van een maximale benutting van de bodem op het TUD-terrein en de gebouwen van de TUD die nu tot het Technopolisgebied behoren. In het MER is een aantal gebouwen opgenomen dat volgens de laatste stand van zaken niet meer wordt voorzien van bodemenergie. De totale waterverplaatsing is dus kleiner dan in het MER is opgenomen. Dit betekent dat de berekende effecten uit het MER groter zijn dan de effecten die op basis van de huidige situatie op zullen treden. De effecten geven daarom een *worst case* situatie weer.

#### 7.3.1 Grondwaterstand

De invloed op de grondwaterstand bedraagt maximaal 0,2 meter. Deze effecten komen bovenop de natuurlijke schommeling van de grondwaterstand. De effecten zijn berekend voor de meest *worst case* situatie. De maximale verandering treedt op in het centrum van TU-wijk Noord ter plaatse van het bestaande energieopslagsysteem van EW1.

#### 7.3.2 Verticale grondwaterstroming

In onderstaande tabel is de maximale verticale stroming door de scheidende lagen weergegeven.

Tabel 8  
Maximale verticale stroming door scheidende lagen t.o.v. natuurlijke stroming

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
deklaag	[m/seizoen]	-
1 <sup>e</sup> scheidende laag	[m/seizoen]	3,8
2 <sup>e</sup> scheidende laag	[m/seizoen]	0,4

Op jaarbasis wordt in een watervoerend pakket net zoveel grondwater onttrokken als geïn-filtreerd. De grootte van de verticale stroming door een onttrekking is daarom gelijk aan de grootte van de verticale stroming door een infiltratie, alleen de richting is tegengesteld. De

---

totale invloed op de kwel en infiltratie op het TUD-terrein en de omgeving is derhalve op jaarbasis nihil.

### 7.3.3 Natuurgebieden

In het MER is berekend dat de maximale grondwaterstandverandering 0,2 meter bedraagt. Ter plaatse van de EHS-gebieden bedraagt de maximale grondwaterstandverandering 0,01 meter. Als gevolg van de beoogde bodemenergiesystemen treedt geen beïnvloeding van de verticale stroming door de deklaag op. Gezien de geringe invloed van de beoogde bodemenergiesystemen wordt geconcludeerd dat geen negatieve effecten op de kenmerken en waarden van de EHS-gebieden zullen optreden.

### 7.3.4 Verontreinigingen

Alle verontreinigingslocaties liggen in de deklaag en het eerste watervoerende pakket. Gezien de beperkte invloed op de grondwaterstand en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ter hoogte van de verontreinigingslocaties (kleiner dan 0,05 meter), worden de verontreinigingen niet significant beïnvloed.

### 7.3.5 Archeologie en cultuurhistorie

Door seizoensinvloed is de grondwaterstand over het algemeen laag in de zomer en hoog in de winter. Dit betekent dat schade aan archeologie kan optreden wanneer in de zomer de grondwaterstand wordt verlaagd. In het MER is berekend dat de maximale grondwaterstandverlaging van 0,17 meter optreedt in de winter, wanneer de grondwaterstand over het algemeen hoog is. Dit zal geen schade aan archeologie veroorzaken. De maximale grondwaterstandverlaging in de zomer bedraagt maximaal 0,04 meter. Aantasting van aanwezige archeologische waarden en monumenten als gevolg van de beoogde bodemenergiesystemen wordt niet verwacht.

### 7.3.6 Bebouwing, infrastructuur, kabels en leidingen

Grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen kunnen van invloed zijn op bestaande bebouwing, infrastructuur en kabels en leidingen via grondwateroverlast, grondwateronderlast en zettingen.

#### Grondwateroverlast

De grondwaterstand op het TUD-terrein varieert tussen de -2,0 en -3,0 m t.o.v. NAP (circa 1 tot 2 m-mv). De invloed op de grondwaterstand als gevolg van de beoogde bodemenergie-

---

systemen bedraagt maximaal 0,2 m. Deze invloed op de grondwaterstand zal niet leiden tot grondwateroverlast.

#### **Grondwateronderlast**

Grondwateronderlast (te lage grondwaterstand) is met name van belang bij aanwezigheid van houten paalfunderingen. Bij te lage grondwaterstanden kan paalrot optreden, waardoor de fundering aangetast wordt. Er zal alleen aantasting plaatsvinden wanneer de natuurlijke grondwaterstand op zijn laagst is en tegelijkertijd de beoogde bodemenergiesystemen een maximale verlaging veroorzaken. Zowel de laagste grondwaterstand als de maximale verlagingen zijn echter tijdelijk van aard. Derhalve wordt schade aan houten paalfunderingen als gevolg van de energieopslag niet verwacht.

#### **Zettingen**

Om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen mag de zetting volgens NEN 6740 [Lit. 10] niet groter zijn dan 150 mm en mag het zettingsverhang (rotatie) niet groter zijn dan 1:300. Bij de aanwezigheid van ondiepe zettingsgevoelige bodemlagen, zoals een deklaag, kunnen verschillen in de samenstelling van de betreffende laag aanleiding geven tot verschilzettingen aan maaiveld. Wanneer de veroorzaakte zetting in de deklaag groter is dan 15 mm kunnen effecten van betekenis optreden [Lit. 11].

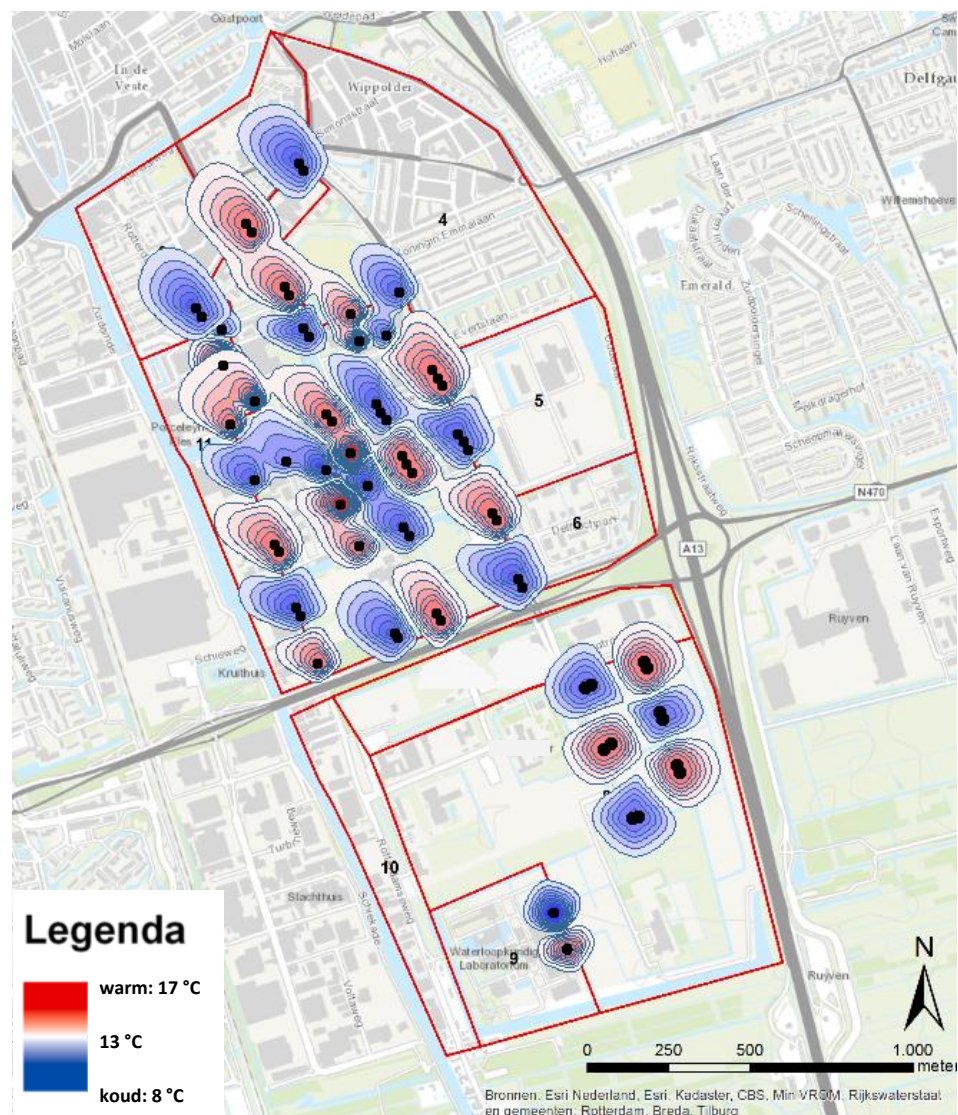
De zetting van de deklaag is bedraagt circa 12 mm en de totale zetting 26 mm. Het zettingsverhang bedraagt maximaal 1:2.000. Deze zettingen en de bijbehorende verschilzettingen zullen geen schade aan bebouwing of infrastructuur (zoals wegen, sporen, tunnels en ondergrondse leidingen) veroorzaken.

## **7.4 Thermische effecten**

De thermische berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het programma Hstwin. Figuur 14 presenteert de berekende temperatuurcontouren in de zomersituatie na 20 jaar bodemenergie (zie MER [Lit. 1, paragraaf 4.3] voor de berekeningen).

Uit figuur 14 blijkt dat de thermische effecten nauwelijks buiten het plangebied reiken. Tevens blijkt dat er geen negatieve beïnvloeding optreedt bij de vergunde systemen.

**Figuur 14**  
 Thermische invloedsgebieden in de zomersituatie



Voor de berekeningen is uitgegaan van een energetische balans in de bodem. Uit de figuur blijkt dat hiermee thermische interactie tussen koude en warme zoekgebieden wordt voorkomen. Een energetische balans is noodzakelijk om het thermisch rendement van de bo-

---

demergiesystemen te waarborgen. Wanneer een individuele aanvrager van de energiebalans wil afwijken, moet hij onderbouwen dat zijn systeem in het plan past. Voor een dergelijk afwijkend systeem geldt dan de lange procedure.

## 7.5 Potentieel milieuvoordeel deelgebied 1

Het werkingsprincipe van de gebouwinstallatie kan in hoofdlijnen in de volgende twee situaties worden omschreven [Lit. 2]:

- Koudelevering: in de zomer wordt koeling geleverd met koud grondwater uit de koude bronnen. De koude wordt gebruikt voor de koelwaterverbruikers in de koelwaterinstallatie en in de luchtbehandelingskasten ten behoeve van de klimatisering van de ventilatielucht. Het opgewarmde grondwater wordt weer geïnfiltreerd in de warme bronnen.
- Koude laden: Warm grondwater wordt onttrokken uit de warme bronnen. Het warme grondwater wordt afgekoeld door in de luchtbehandelingskasten de ventilatielucht voor te verwarmen. Buiten bedrijfstijden van de gebouwen worden de luchtbehandelingskasten ook ingezet voor het koude laden in de koude bronnen. Hierbij wordt de ventilatielucht niet opgewarmd voor nuttig gebruik in de gebouwen, maar gaat de opgewarmde lucht weer direct naar buiten. Ook worden voor het koude laden droge koelers ingezet. Het door de luchtbehandelingskasten en droge koelers afgekoelde grondwater wordt weer in geïnfiltreerd in de koude bronnen.

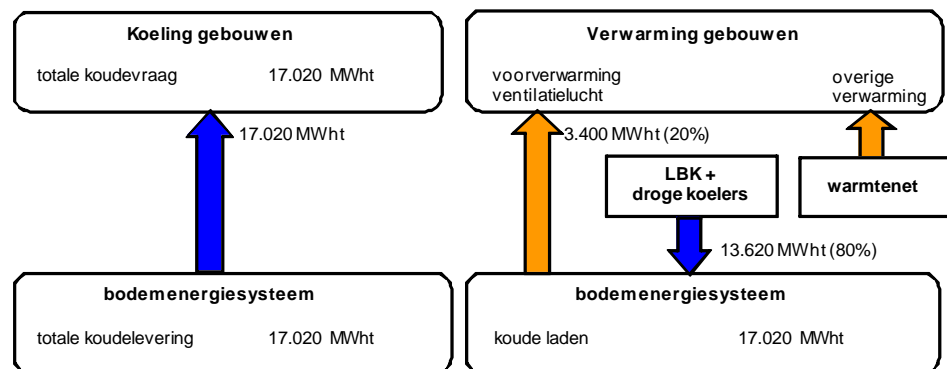
Voor het bepalen van de energiebesparing en de emissiereductie wordt de warmte- en koudelevering met bodemenergie vergeleken met de conventionele wijze van koelen met koelmachines en de huidige wijze van verwarming op het TUD terrein met het warmtenet. Hierbij is alleen gekeken naar de ontwikkelingen die zijn genoemd in tabel 3.

Voor zowel de variant met bodemenergie als de referentievariant zijn het jaarlijks elektriciteitsverbruik en de hierbij behorende uitstoot in CO<sub>2</sub> berekend. Het gasverbruik van de voorverwarming van de ventilatielucht wordt niet meegenomen. De reden hiervan is dat in de referentievariant de luchtbehandelingskasten worden voorzien van warmteterugwinning en hiervoor dus geen gas wordt verbruikt. De voor de berekeningen gehanteerde kengetallen en uitgangspunten zijn weergegeven in bijlage 5.

De nog te behalen energiebesparing en de CO<sub>2</sub> emissiereductie (potentie in de toekomst) is berekend voor de toekomstige gebouwen die worden voorzien van energieopslag. De huidige gebouwen met energieopslag (TU Delft Library (bibliotheek), 3mE + IO en EWI) worden niet meegenomen in de berekening omdat zij al voorzien zijn van deze techniek.

In figuur 15 is het blokschema met de energiestromen weergegeven zonder de bestaande gebouwen met bodemenergiesystemen.

*Figuur 15*  
*Blokschema zonder*  
*bestaande bodem-*  
*energiesystemen*



Op basis van deze energiestromen in de energiebesparing en CO<sub>2</sub> emissiereductie berekend. De resultaten van de berekeningen zijn beschreven in tabel 9.



Tabel 9  
Overzicht energie-  
verbruik en uitstoot

	<b>bodemenergie</b>	<b>referentie</b>	<b>eenheid</b>
<b>Levering</b>			
totale koudelevering	17.020	17.020	MWh <sub>e</sub> /jaar
totale warmtelevering	3.400	0	MWh <sub>e</sub> /jaar
totale warmte- en koudelevering	20.430	17.020	MWh <sub>e</sub> /jaar
totale warmte- en koudelevering	73.530	61.280	GJ/jaar
<b>Energieverbruik</b>			
elektriciteitsverbruik	1.760	4.260	MWh <sub>e</sub> /jaar
<b>CO<sub>2</sub>-emissie</b>			
CO <sub>2</sub> -uitstoot	1.000	2.410	ton/jaar
absolute reductie	1.420	-	ton/jaar
procentuele reductie	60	-	%
<b>Primaire energie</b>			
primair energieverbruik	16.820	40.690	GJ prim./jaar
absolute besparing	23.870	-	GJ prim./jaar
procentuele besparing	60	-	%
<b>Energieprestatie</b>			
energieprestatie	4,4	1,5	GJt/GJ prim.

# 8

## Realisatie

### 8.1 Bronlocaties

Per beoogd bodemenergiesysteem moeten bronlocaties worden gekozen. In de meeste gevallen zullen de bronlocaties worden gepositioneerd op het terrein van de TUD zelf. De TUD heeft op haar eigen terrein alle vrijheid om de bronlocaties te kiezen binnen de zoekgebieden. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met belangen van derden (met name burens). Deze belangen worden bij de vergunningaanvraag voor het onttrekken en infiltreren van grondwater afgewogen. Het verlenen van de vergunning betekent daardoor dat de eventuele effecten voor derden toelaatbaar zijn.

De mogelijkheid bestaat dat niet alle bronnen (inclusief pompinstallaties, putbehuizingen en kabels en leidingen) op de grond van de TUD (kunnen) worden gerealiseerd. Indien dit het geval is dan moet de eigenaar van de grond voor het boren om toestemming worden gevraagd. Het is daarbij van belang om een recht van opstal en een recht van erfdienstbaarheid te vestigen. Het recht van opstal is een (zakelijk) recht om gebouwen, werken of beplantingen in eigendom te hebben of te verkrijgen, in, op of boven een onroerende zaak van een ander. Recht van erfdienstbaarheid is het recht dat men heeft om gebruik te maken van (een deel van) de grond van iemand anders. Het recht van erfdienstbaarheid is van belang om toegang te houden tot de bron voor het uitvoeren van metingen en onderhoudswerkzaamheden.

### 8.2 Lozen

Tijdens het ontwikkelen en onderhouden van de bronnen komt grondwater vrij. Bij het ontwikkelen komt relatief weinig grondwater vrij en bij het onderhoud relatief veel grondwater. Er zijn verschillende manieren om het grondwater dat vrijkomt te lozen. Dit kan in de bodem, op de bodem, op het oppervlaktewater of via riool.

#### **In de bodem**

Het is mogelijk om een deel van het te lozen water middels een retourbuis terug in de bodem te brengen. Hiervoor is een vergunning Waterwet benodigd. Hierbij moet worden voorkomen dat de lozing het functioneren van bestaande en geplande installaties verstoort.

#### **Op de bodem en het oppervlaktewater**

Lozen op de bodem (maaiveld) is niet toegestaan vanwege het zout- en ijzergehalte.

---

### **Oppervlaktewater**

Aangezien het grondwater zout is en gezien de hoeveelheid grondwater dat geloosd moet worden, wordt het lozen op oppervlaktewater door het hoogheemraadschap niet als reële optie gezien.

### **Riool**

Het grondwater kan ook op het riool geloosd worden. Het lozen van het water gebeurt bij voorkeur middels tijdelijke leidingen aan maaiveld op het riool. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van een bezinkbak om zand en slib af te vangen. Wanneer de capaciteit van het riool niet toereikend is, kan er ook een waterbuffer toegepast worden, zodat de te lozen capaciteit beperkt kan worden. Toestemming voor het lozen van grondwater op het riool dient bij de gemeente Delft aangevraagd te worden. Het Hoogheemraadschap van Delfland heeft een adviserende rol bij het opstellen van deze toestemming. Delfland is verantwoordelijk voor de zuivering van het water uit het riool. De gemeente Delft stelt eisen aan de wijze, de kwaliteit en de hoeveelheid te lozen grondwater. Deze eisen zijn mede gebaseerd op de capaciteit van het riool en de invloed op het functioneren van de waterzuivering.

Op basis van ervaringen bij andere projecten in Delft stelt de gemeente *onder andere* de volgende eisen aan het lozen van grondwater op het riool:

- Het grondwater dient onder vrij verval geloosd te worden.
- Het chloridegehalte van het water dat geloosd wordt dient zoveel mogelijk beperkt te worden. De streefwaarde bedraagt 300 mg/l.
- De temperatuur van het te lozen grondwater mag niet hoger dan 30 °C zijn.
- Lozing is niet toegestaan tijdens regentijd.

Er is met de gemeente contact geweest over de beschikbare capaciteit voor het lozen van grondwater op het riool. De gemeente geeft aan dat het rioolstelsel in de TU-wijk bestaat uit verschillende delen en iedere sector verschillende karakteristieken heeft. Tevens wordt binnenkort het stelsel omgebouwd, waardoor er voor TU-midden een duidelijke scheiding komt tussen de riolering in beheer bij de TU en het riool in beheer bij de gemeente Delft. Om een inschatting van de beschikbare capaciteit te kunnen geven dienen de exacte locaties van de bronnen en de bijbehorende debieten bekend te zijn.

Op dit moment zijn de exacte locaties van de bronnen niet bekend en zullen de bodem-energiesystemen gefaseerd aangelegd worden. Per aan te leggen systeem zal overleg met de gemeente moeten plaatsvinden om de mogelijkheden voor het lozen van het grondwater

---

te bespreken. Bij de vergunningaanvraag voor het aanleggen van een bodemenergiesysteem moet een schriftelijk bewijsmiddel zijn toegevoegd dat afstemming met de gemeente heeft plaatsgevonden en toestemming is verkregen over de wijze van lozen op enig riool.

# 9

---

## Conclusies

Dit bodemenergieplan geeft de optimale ordening van de ondergrond voor de TUD weer. Hierdoor kunnen toekomstige initiatiefnemers optimaal gebruik maken van de ondergrond voor bodemenergie.

### 9.1 Juridische verankering

Het bodemenergieplan wordt verankerd om het juridische status te geven. Dit gebeurt middels een provinciale beleidsregel en een gemeentelijke verordening. Deze status is van belang om duidelijkheid naar initiatiefnemers te scheppen over het gebruik van de ondergrond en te borgen dat de energetische capaciteit van de bodem optimaal benut wordt.

### 9.2 Realisatie

Het bodemenergieplan is geen vergunning. Voor individuele vergunningaanvragen geldt het bestaande wettelijk kader. De eigenaren van de op de kaarten in hoofdstuk vijf aangegeven beoogde ontwikkelingen hebben niet automatisch recht op een plek in de aangegeven zoekgebieden. Dit betekent dat wanneer een initiatiefnemer een bodemenergiesysteem wil realiseren binnen het plangebied, hij nog wel een vergunning Waterwet (open systemen) dan wel omgevingsvergunning (gesloten systemen) aan moet vragen.

De gegevens uit dit bodemenergieplan (bodemopbouw en belangen) kunnen worden gebruikt voor de vergunningaanvraag. Wel dient hierbij de lokale variatie van de bodem te worden gespecificeerd en de aanwezigheid van belangen te worden geactualiseerd. In de vergunningaanvraag moeten de effecten van het beoogde bodemenergiesysteem en de invloed op de aanwezige belangen worden gekwantificeerd, rekening houdend met de systeemspecifieke omstandigheden.

Een belangrijk aandachtspunt voor bodemenergie is de inpassingsmogelijkheid van bronnen en bijbehorend leidingwerk. Dit dient met de TUD en/of gemeente Delft te worden afgestemd.

Een ander belangrijk aandachtspunt is het lozen. Werkwater dat vrijkomt tijdens de realisatie en het onderhoud dient namelijk te worden afgevoerd. In de gemeente Delft is lozen in

---

de bodem niet toegestaan. Lozen op oppervlaktewater door het hoogheemraadschap niet als reële optie gezien. Lozing op het riool moet met de gemeente Delft worden afgestemd. De voorwaarden voor die gelden voor de realisatie van bodemenergiesystemen zijn beschreven in de provinciale beleidsregel 'Bodemenergie TU-Delft en omgeving 2013' en de gemeentelijke verordening 'Gesloten bodemenergiesystemen TU Delft en omgeving 2013'.

### 9.3 Monitoring en actualisatie bodemenergieplan

Het bodemenergieplan is gebaseerd op de informatie die op dit moment beschikbaar is. Het is derhalve mogelijk dat tijdens de inventarisatie niet alle informatie boven water is gekomen. Daarnaast kunnen de bouwplannen en belangen wijzigen in de toekomst: bouwontwikkelingen worden stopgezet of aangepast en bestaande belangen kunnen verdwijnen of er komen juist nieuwe belangen bij. Dit betekent dat het bodemenergieplan geen statisch product is, maar continue moet worden getoetst aan de informatie die op dat moment beschikbaar is. Om het bodemenergieplan zo flexibel en praktisch mogelijk te houden, is het van belang om het bodemenergieplan up-to-date te houden en deze ontwikkelingen in het plan te integreren. Indien noodzakelijk zal het bodemenergieplan aangepast moeten worden aan nieuwe gegevens.

Daarnaast is het aan te raden het bodemenergieplan te raadplegen indien nieuwe ontwikkelingen worden gepland binnen het plangebied. Dit om te voorkomen dat een nieuwe ontwikkeling de toepassing van bodemenergie in de weg komt te staan.

# 10

---

## Literatuur

- [1] IF Technology, 2011 - Milieu Effect Rapportage Energieopslag TU Delft. Arnhem.
- [2] IF Technology, 2011 - Aanvullende notitie op het MER. Arnhem.
- [3] Besluit van 25 maart 2013 tot wijziging van een aantal algemene maatregelen van bestuur in verband met regels inzake bodemenergiesystemen en enkele technische verbeteringen. Staatsblad nr. 112, jaargang 2013.
- [4] Provincie Zuid-Holland, 2011. Toetsingskader vergunningverlening bodemenergie. Den Haag.
- [5] Arcadis, 2011 - ProjectMer Bestemmingsplannen Delft Zuidoost.
- [6] Gemeente Delft, 2009 - Duurzaam bodembeheer in Delft, Nota bodembeheer gemeente Delft periode 2010-2015. Delft.
- [7] Deltares, 2008 - Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht): Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport. Utrecht.
- [8] Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, 1979 - Kwantitatieve waterbehoefte van de hoogheemraadschappen Delfland en Schieland. Wageningen.
- [9] Local, 2010 - Technopolis Delft Masterplan energie.
- [10] NEN, 1991 - Geotechniek 1990. Basiseisen en belastingen + Wijzigingsblad NEN 6740/A1 (1997). Nederlandse Norm.
- [11] IF Technology en Krachtwerktuigen, 1992 - Koudeopslag in de bodem. Vergunningverlening in het kader van de Grondwaterwet. Arnhem, Amersfoort.

# BIJLAGE 1

---

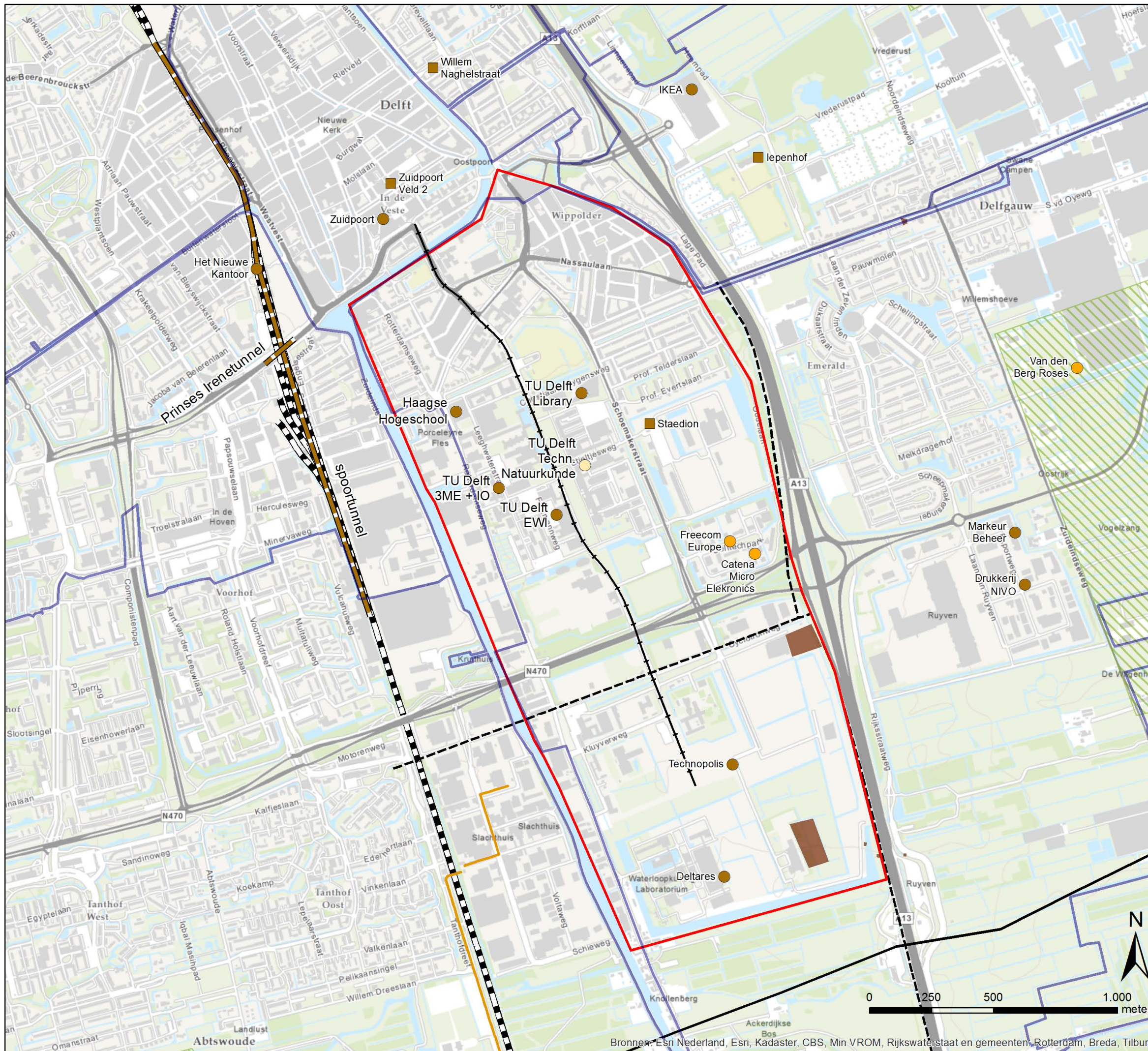
## Belangen



# Overzicht belangen

## Legenda

- plangebied
- grondwateronttrekkingen**
  - koelwater, wvp 1
  - energieopslag, wvp 1
  - energieopslag, wvp 2
  - gesloten systeem
- electriciteitsleidingen**
  - electriciteitsleiding 150 kV
  - electriciteitsleiding 380 kV
- natuur**
  - Deltse Hout
  - weidevogelgebied
- overige belangen**
  - primaire gasleiding
  - spoor
  - (toekomstig) tunneltracé
  - nieuwe tramlijn
  - waterkering
  - verontreinigde locatie (Wbb)



Onderwerp: Omgevingsbelangen  
Referentie: 57466/DB  
Auteur: WN  
Datum: 12-6-2013  
Status: Definitief



# BIJLAGE 2

---

## Overzicht gebouwen



# BIJLAGE 3

## Energievraag en energieconcepten

Om de gebouwzijdige energievraag om te rekenen naar debieten en waterhoeveelheden zijn de volgende stappen doorlopen (figuur B1).

*Figuur B1  
Stappenplan ge-  
bouwzijdige energie-  
vraag naar debiet en  
waterhoeveelheid*



### Bodemzijdige energievraag

De gebouwzijdige energievraag is vertaald in een bodemzijdige energievraag. Dit is de hoeveelheid warmte en koude die aan de bodem moet worden onttrokken om de gevraagde hoeveelheid energie te kunnen leveren. De bodemzijdige energievraag wordt berekend aan de hand van een energieconcept.

Het systeemconcept met bodemenergie dat in aanmerking komt voor klimatisering van de gebouwen bestaat uit koeling met grondwater in de zomer en verwarming met grondwater in de winter. Dit concept van koeling en verwarming is gelijk aan het systeemconcept van de reeds gerealiseerde bodemenergiesystemen op het TUD-terrein.

In de gebouwen zijn onder andere de volgende afgiftesystemen voor koudelevering mogelijk:

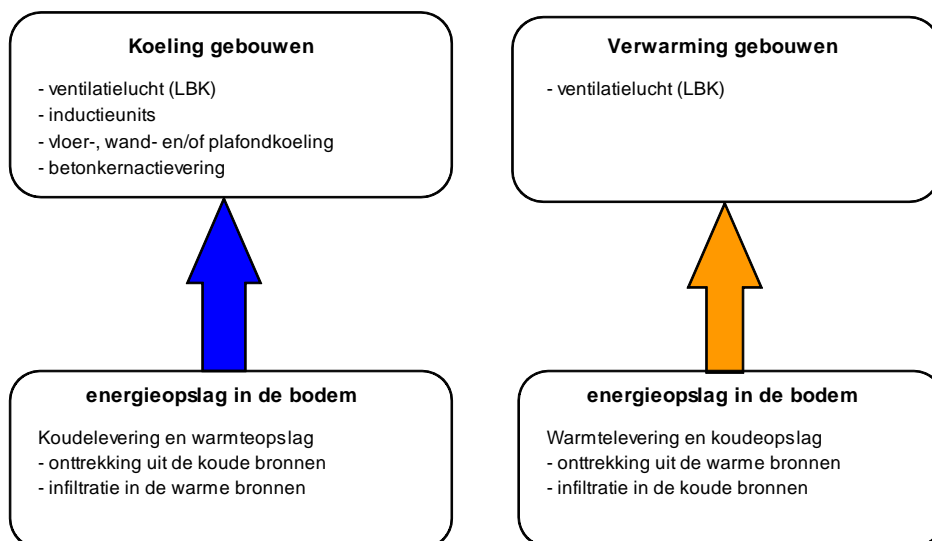
- koeling van de ventilatielucht in de luchtbehandelingskast;
- koeling met (inductie)units;
- vloerkoeling;
- wandkoeling;
- plafondkoeling;
- betonkernactivering.

Warmtelevering in de gebouwen voor (voor)verwarming van de ventilatielucht kan met luchtbehandelingskasten worden verzorgd. Met de bodemenergie kan de temperatuur van de ventilatielucht niet op een voldoende hoog temperatuurniveau worden gebracht. Daarom wordt de voorverwarmde ventilatielucht met behulp van het eigen warmtenet naverwarmd tot het benodigde niveau.

Op basis van de ervaringen bij de aanwezige bodemenergiesystemen bij de TUD en ervaringen met bodemenergiesystemen in het algemeen is het systeemconcept en de energeti-

sche uitgangspunten bepaald. In figuur B2 is in een principeschema het algemeen systeemconcept van verwarming en koeling met bodemenergie weergegeven.

*Figuur B2*  
*Principeschema*  
*algemeen systeem-*  
*concept*



#### Debiet en waterhoeveelheid

De bodemzijdige energievraag wordt omgerekend naar een debiet en waterhoeveelheid per jaar. Hierbij wordt alleen gekeken naar de koudevraag, omdat deze leidend is in dit gedeelte het plangebied. De berekende debieten en waterhoeveelheden van de koudevraag vormen de basis voor de inrichting van het plangebied.

# BIJLAGE 4

---

## Plankaart

# Bodemenergieplan

## Legenda

- plangebied
- zoekgebieden bronnen**
  - zoekgebied warme bron
  - zoekgebied koude bron
- scheidslijn
- bestaande bronlocaties**
  - warme bron
  - koude bron
  - infiltratiebron
  - onttrekingsbron
- overige vergunde onttrekkingen**
  - koelwater, wvp 1
  - open systemen, wvp 1
  - open systemen, wvp 2
  - gesloten systeem
- electriciteitsleidingen**
  - electriciteitsleiding 150 kV
  - electriciteitsleiding 380 kV
- overige belangen**
  - primaire gasleiding
  - spoor
  - (toekomstig) tunneltracé
  - nieuwe tramlijn
  - waterkering
  - verontreinigde locatie (Wbb)

## Orderingsregels

Wanneer het bodemenergieplan in de toekomst concreet wordt ingezet, dienen de gebruikers zich bij het inrichten van hun bodemenergiesysteem aan een aantal orderingsregels te conformeren.

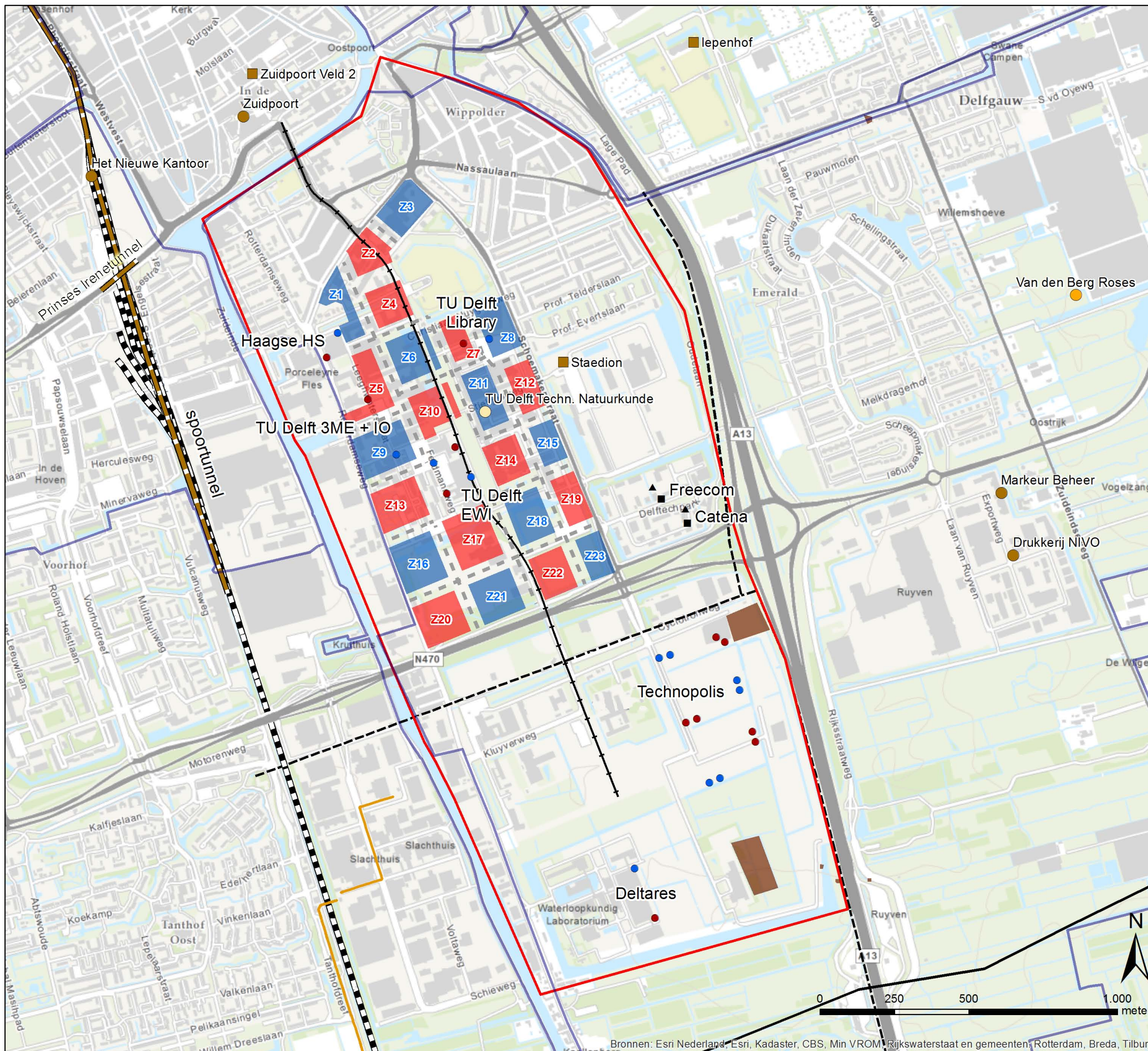
**Onderwerp:** Masterplan open systemen

**Referentie:** 57466/DB

**Auteur:** WN

**Datum:** 12-6-2013

**Status:** Definitief



Bronnen: Esri Nederland, Esri, Kadaster, CBS, Min VROM, Rijkswaterstaat en gemeenten: Rotterdam, Breda, Tilburg

# BIJLAGE 5

---

## Plaatsing systemen buiten kerngebieden

### B5.1 Uitsluiten van rendementsverlies door interferentie

Buiten de kerngebieden dienen bodemenergiesystemen zo te worden geplaatst, dat behalve het rendement van bodemenergiesystemen buiten de kerngebieden, ook het rendement van (toekomstige) bodemenergiesystemen in de kerngebieden niet afneemt. Bij een vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet dient door middel van hydrologische en thermische (model)berekeningen te worden aangetoond dat het beoogde systeem buiten de kerngebieden in potentie geen rendementsverlies veroorzaakt bij vergunde en/of bestaande open bodemenergiesystemen en beoogde open systemen binnen de kerngebieden. Bij de berekeningen dient te worden uitgegaan van de zoekgebieden zoals aangegeven in de plankaarten in bijlage 4 en tabel 5.1.

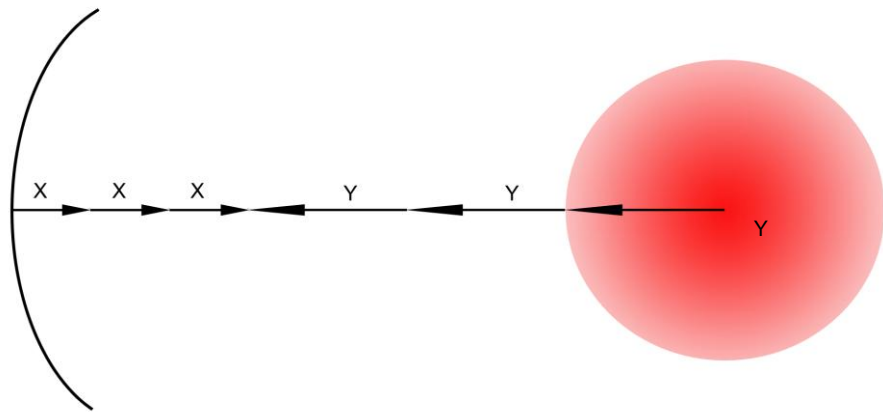
Op het moment dat de bronnen daadwerkelijk worden geboord, is het de verantwoordelijkheid van de vergunninghoud(st)er het systeem dusdanig te benutten, dat ook in de praktijk geen rendementsverlies bij de (geplande) systemen optreedt. Dat betekent dat bij afwijkingen van de (verwachte) bodemopbouw of andere onvoorziene omstandigheden, hiernaar dient te worden gehandeld.

### B5.2 Vaststellen van de aansluitzone

Met het oog op het benutten van de ondergrond is aansluiting van ruimtegebruikende functies wenselijk. Het ruimtegebruik wordt geoptimaliseerd door koude -respectievelijk warmebronnen zoveel mogelijk bij bestaande gelijksoortige bronnen te plaatsen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de thermische stralen; dit is in dit geval de afstand van een bron tot het punt waar de temperatuur van het grondwater door toedoen van een bodemenergiesysteem na een periode van 20 jaar 1,5 °C is opgewarmd (bij de warme bronnen) of afgekoeld (bij de koude bronnen).

Wanneer bijvoorbeeld een warme bron relatief dicht bij een koude bron van een ander systeem wordt geplaatst, dreigt niet alleen rendementsverlies door interferentie, maar zal het ruimtelijk lastig zijn om nog een ander systeem in de nabijheid te plaatsen. Derhalve geldt de regel dat indien een bron van een beoogd bodemenergiesysteem zich bevindt binnen de zogenaamde *aansluitzone*, deze bron thermisch gelijksoortig dient te zijn met - dat wil zeggen niet meer dan 4 °C in temperatuur mag afwijken van- de vergunde bron, zie figuur B5.1.





Figuur B5.1 Voorbeeld van bepaling van de aansluitzone (3 maal  $x$  plus 3 maal  $y$ ) voor een open bodemenergiesysteem (bovenaanzicht). Bij monobronsystemen worden koude en warme bellen boven elkaar geplaatst.

Op basis van de voorkomende variatie in stralen van waterbellen van in Delft reeds vergunde systemen is deze aansluitzone gelijkgesteld aan driemaal de thermische straal ( $y$ ) van een bestaande of een eerder geplande bron plus driemaal de thermische straal ( $x$ ) van een beogde bron (zie figuur B5.1)

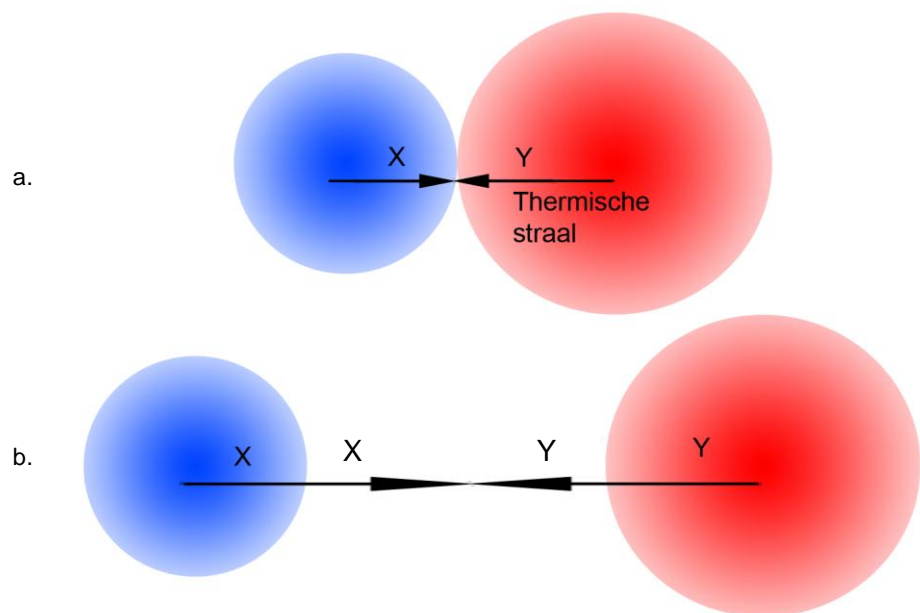
### B5.3 Aansluiten met thermisch gelijksoortige bel

Indien een beogd systeem is gelegen binnen de aansluitzone, dient de onderlinge afstand van de bronnen te worden geoptimaliseerd. Dit kan door de gelijksoortige bronnen dusdanig te plaatsen dat de thermische bellen elkaar net niet raken, of door een dusdanige afstand tussen de bronnen aan te houden dat er in de toekomst nog een andere gelijksoortige bron kan worden tussen geplaatst. Daartoe dienen de bronnen te worden geplaatst op een afstand van:

- eenmaal de thermische straal van het beogde systeem plus eenmaal de thermische straal van het vergunde/geplande systeem ( $x$  plus  $y$ ) of
- tweemaal de thermische straal van het beogde systeem plus tweemaal de thermische straal van het vergunde/geplande systeem (2 maal  $x$  plus 2 maal  $y$ ) (figuur B5.2).

Om de benodigde afstand te kunnen bepalen, dienen eerst de thermische stralen te worden bepaald, zoals eerder aangegeven. Als de thermische straal van het beoogde systeem 40 meter is en de thermische straal van het bestaande/geplande systeem 60 meter, dient de afstand tussen de bronnen 100 meter (40 meter plus 60 meter) of 200 meter (2 maal 40 meter plus 2 maal 60 meter) te zijn.

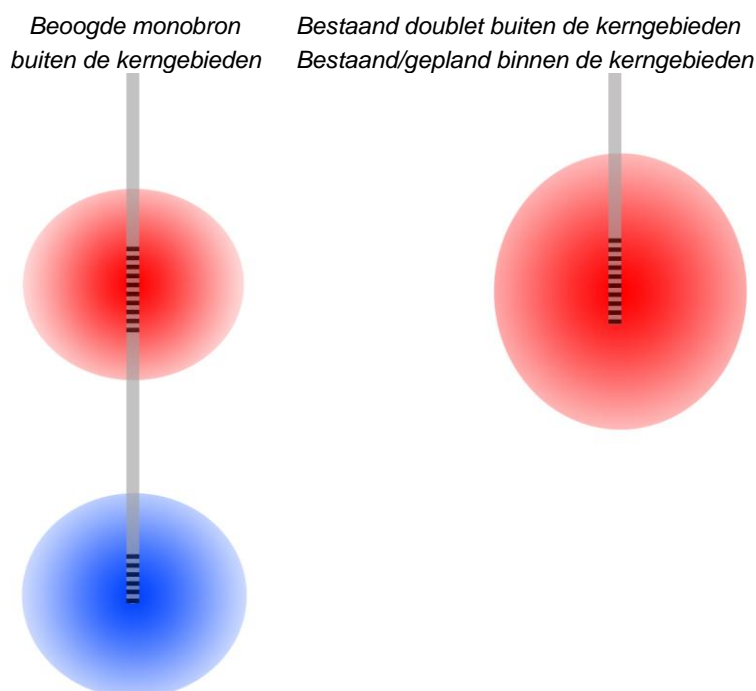
Om een optimale benutting van de ondergrond te bereiken dient de plaatsing van monobronnen en doubletten op elkaar te worden afgestemd. Dit kan door thermisch gelijksoortige bellen binnen het tweede watervoerende pakket op dezelfde hoogte te realiseren (warm filter bij warm en koud filter bij koud).



Figuur B5.2 Voorbeelden (a, b) van plaatsing van bronnen met gelijksoortige temperatuur ( $< 4\text{ }^\circ\text{C}</math>) binnen de aansluitzone (bovenaanzicht).$

Het andere filter van de monobron dient vervolgens te worden gepland en geplaatst in een ander deel van het tweede watervoerende pakket (figuur B5.3). Net als bij een doublet geldt dat, indien een beoogde monobron zich bevindt binnen de aansluitzone, de nieuwe bron dient te worden afgestemd op het bestaande/geplande systeem. Ter hoogte van het filter

van de bestaande/geplande bron mag alleen een filter worden geplaatst ten behoeve van thermisch gelijksoortige opslag. Thermisch ongelijksoortige opslag mag dus alleen op een andere diepte worden toegepast.



Figuur 5.3 Voorbeeld van plaatsing van monobron naast bron van doubletsysteem met gelijksoortige temperatuur ( $< 4$  °C) binnen de aansluitzone (zij-aanzicht)

#### B5.4 Aansluiten met thermisch ongelijksoortige bel

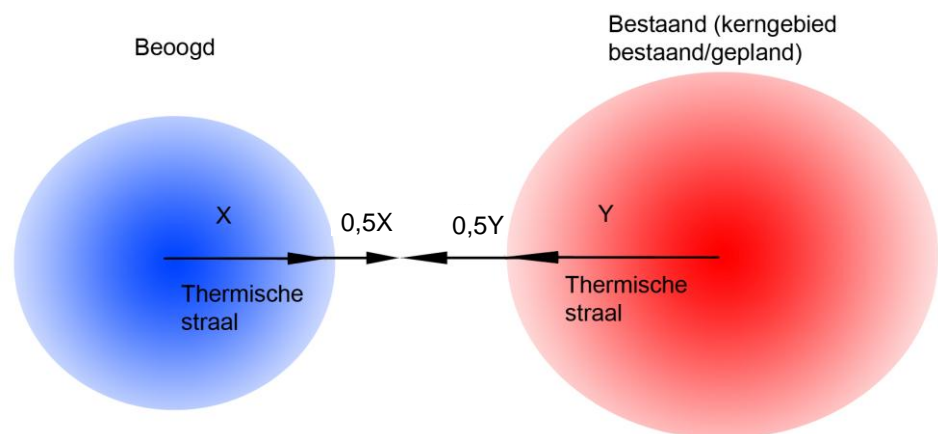
In sommige gevallen zal het niet mogelijk blijken om binnen de aansluitzone een thermisch gelijksoortige bron te plaatsen ( $< 4$  °C verschil), maar is de ruimte wel noodzakelijk om bodemenergiesystemen te kunnen realiseren. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in een situatie waarbij al meerdere systemen in de omgeving zijn vergund/gepland en optimalisatie ten opzichte van alle andere systemen niet mogelijk is. In dergelijke gevallen zou de provincie als bevoegd gezag kunnen besluiten, om toe te staan dat binnen deze afstanden toch een bron wordt geplaatst die thermisch ongelijksoortig is. Hierbij dient bij de aanvraag aanne-

---

melijk te worden gemaakt, dat het plaatsen van een thermisch gelijksoortige bron niet optimaal is.

In bovenstaande gevallen dient een thermisch ongelijksoortige bron te worden geplaatst op een afstand waarbij het temperatuurverschil uitdempt. Door anderhalf maal de thermische straal van het beoogde systeem plus anderhalf maal de thermische straal van het vergunde systeem (1,5 maal x plus 1,5 maal y) als afstand tussen de bronnen te hanteren, wordt rendementsverlies voorkomen maar wordt de bron toch geoptimaliseerd ten opzichte van de andere, thermische ongelijksoortige bron.

Om de benodigde afstand te kunnen bepalen, dienen eerst de thermische stralen te worden bepaald, zoals eerder aangegeven. Als hetzelfde voorbeeld als hiervoor wordt gehanteerd (thermische straal beoogd systeem 40 meter en bestaande/geplande systeem 60 meter), zou de afstand tussen de bronnen 150 meter (1,5 maal 40 meter plus 1,5 maal 60 meter) moeten zijn (figuur B5.4).



Figuur B5.4 Voorbeeld van plaatsing van bronnen met ongelijksoortige temperatuur (> 4 °C) binnen de aansluitzone (bovenaanzicht)

# BIJLAGE 6

## Uitgangspunten en kengetallen

item	waarde	eenheid	bron
<b>rendementen en omzettingsfactoren</b>			
- koudefactor compressiekoelmachines:	4,0	kWh <sub>i</sub> /kWh <sub>e</sub>	NEN 2916
- COP bronpompen bodemenergie:	40	kWh <sub>i</sub> /kWh <sub>e</sub>	aanname IF
- COP luchtbehandelingkasten en droge koelers:	15	kWh <sub>i</sub> /kWh <sub>e</sub>	aanname IF
- gemiddeld rendement elektriciteitsopwekking:	41,8	% op Ho	protocol monitoring duurzame energie update 2006
- onderste verbrandingswaarde aardgas (Ho):	8,8	kWh <sub>i</sub> /m <sup>3</sup>	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007
- gemiddeld rendement ketels:	91	% op Ho	TUD
- distributieverlies warmtenet:	5	%	TUD
<b>emissiefactoren:</b>			
- emissiefactor elektriciteit	0,566	kg/kWh <sub>e</sub>	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007
- emissiefactor gas	1,780	kg/m <sup>3</sup>	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007
<b>rendementen en omzettingsfactoren</b>			
- koudefactor compressiekoelmachines:	4,0	kWh <sub>i</sub> /kWh <sub>e</sub>	NEN 2916
- emissiefactor gas	1,780	kg/m <sup>3</sup>	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007