

door

ing. R.G.A. Wenekes,

ing. M.E. Hehenkamp

IF Technology B.V.

*In opdracht van Novem heeft IF Technology in 1998 een onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van een bodemgeschiktheidskaart voor de toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars voor warmtepomp-systemen [1]. Een conclusie uit dit haalbaarheidsonderzoek was dat het vervaardigen van een gedetailleerde bodemgeschiktheidskaart mogelijk was op grond van beschikbare gegevens. De vervaardiging van zo'n gedetailleerde bodemgeschiktheidskaart is echter erg kostbaar.*

*Op het moment van het haalbaarheidsonderzoek, leek het feit dat een gedetailleerde bodemgeschiktheidskaart niet beschikbaar was, geen bottleneck te vormen voor de introductie van warmtepomp-systemen met verticale bodemwarmtewisselaars in Nederland. Naar aanleiding hiervan heeft Novem aan IF Technology de opdracht gegeven een eenvoudige bodemgeschiktheidskaart te vervaardigen en te publiceren.*

# Bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars

## Inleiding

Warmtepompen die warmte leveren voor ruimte- en/of tapwaterverwarming kunnen de benodigde verdamperswarmte onttrekken aan de bodem met een verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem. Een verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem bestaat uit één of meerdere verticaal in de bodem aangebrachte lussen. Verticale bodemwarmtewisselaars kunnen technisch gezien overal in Nederland worden toegepast. De grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem (aantal en diepte) en de hiermee gerelateerde investeringskosten, verschillen per locatie door de sterk variërende bodemopbouw in Nederland.

Met de eenvoudige bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars wordt beoogd de navolgende informatie te geven:

- ✓ De geschiktheid van de bodem tussen nul en vijftig meter onder maaiveld voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars. De geschiktheid is gekwalificeerd in de categorieën "matig", "goed" en "zeer goed".
- ✓ Of een voorgenomen project bevindt zich al dan niet in een gebied bevindt waar provinciale restricties gelden. Deze restricties kunnen de realisatie van een verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem in de weg staan.

De bodemgeschiktheidskaart is bedoeld voor partijen die in een vroeg stadium, bijvoorbeeld in de haalbaarheidsfase, van een project met warmtepompen en verticale bodemwarmtewisselaars betrokken zijn. Dit zijn met name projectontwikkelaars, nutsbedrijven, (energie-)adviesbureau's, installatiebedrijven, warmtepompleveranciers en boorbedrijven. Gezien het karakter van de bodemgeschiktheidskaart, is deze niet geschikt voor dimensioneringsdoeleinden.

De door IF Technology ontwikkelde aanpak voor de bodemgeschiktheids-

kaart is door de afdeling Grondwater van TNO-NITG in Delft ingevoerd en bewerkt in Arc/Info voor de vervaardiging van de bodemgeschiktheidskaart (zie ook kader).

## Kwalificatie restrictiegebieden

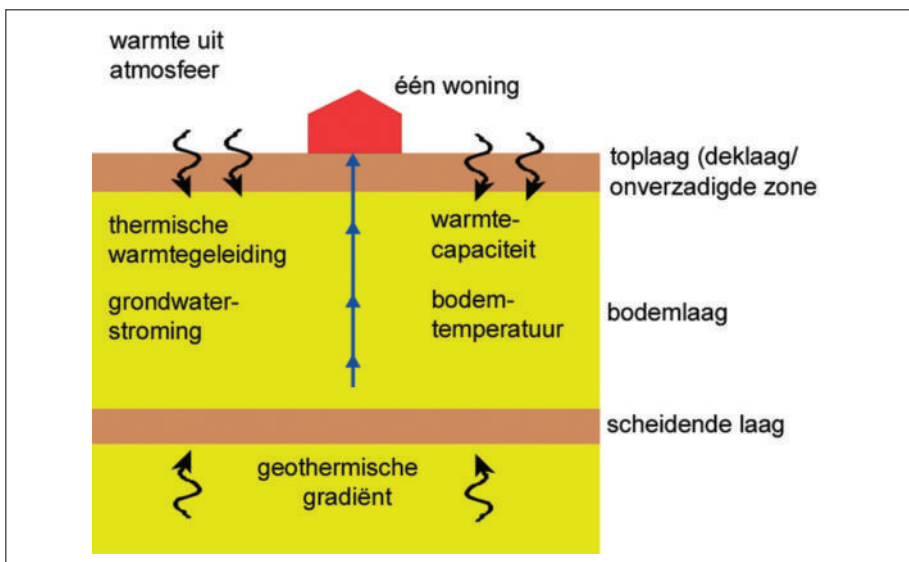
Om de geschiktheid van de bodem te kunnen kwalificeren zijn een aantal parameters onderzocht die van invloed kunnen zijn op de grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem. In figuur 1 zijn deze parameters schematisch weergegeven.

De parameters die in de kwalificatie zijn opgenomen zijn hebben een relevante invloed op de grootte van een bodemwarmtewisselaarsysteem voor een gegeven warmteonttrekking. De relevante parameters zijn:

- ✓ *De thermische warmtegeleiding.* Een lage warmtegeleiding van de voorkomende lagen in de bodem bemoeilijkt het warmtetransport door deze bodemlaag. Zand kan relatief goed warmte geleiden. Daarentegen geleidt klei warmte slechter.
- ✓ *Een isolerende toplaag.* Een isolerende toplaag bemoeilijkt het warmtetransport vanuit de atmosfeer naar de bodem. De toplaag kan bijvoorbeeld bestaan uit een deklaag van klei. Een isolerende toplaag kan ook bestaan uit

## TNO-NITG

Het *Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen* (TNO-NITG) is het centrale geowetenschappelijke informatie- en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen. De afdeling Grondwater voert toegepast onderzoek uit en adviseert op het gebied van grondwatermeetnetten, -kartering, -systemen en -beheer. Onderzoek en advies zijn gericht op het duurzaam beheer en gebruik van het grondwater in relatie tot water- natuur- en milieubeheer ([www.nitg.tno.nl](http://www.nitg.tno.nl)).



Figuur 1: Schematische voorstelling parameters.

- ✓ de warmtetoevoer via maaiveld vanuit de atmosfeer naar de bodem,
- ✓ de thermische warmtegeleiding en de warmtecapaciteit van de deklaag en van de onderliggende bodemlagen,
- ✓ de dikte van de onverzadigde zone,
- ✓ de geothermische gradiënt en de natuurlijke bodemtemperatuur
- ✓ en de grondwaterstroming.

een zandlaag met een lage grondwaterstand (dikke onverzadigde zone).

- ✓ *De grondwaterstroming.*  
De grondwaterstroming heeft vooral een gunstig effect voor kleine, optimaal georiënteerde bodemwarmtewisselaarsystemen.
- ✓ *De natuurlijke bodemtemperatuur.*  
Deze zal in Nederland tussen nul en vijftig meter onder maaiveld over deze dikte 9 à 14°C bedragen.

De parameters die geen relevante invloed hebben op de grootte van een bodemwarmtewisselaarsysteem zijn niet in de kwalificatie opgenomen. Deze zijn:

- ✓ *De warmtecapaciteit van een bodemiaag.*  
Deze wordt voor een groot deel bepaald door de hoeveelheid water (relatief hoge warmtecapaciteit) in de bodemiaag. Hierdoor is de spreiding van de warmtecapaciteit van verschillende bodemlagen vrij klein.
- ✓ *De geothermische gradiënt.*  
Dit is de warmtestroom vanuit het binnenste van de aarde naar het oppervlak van de aarde. Deze is gering ten opzichte van de warmteonttrekking.

- ✓ *Een scheidende laag.*

Een eventueel aanwezige scheidende laag bestaande uit een niet watervoerende laag van bijvoorbeeld klei. Het doorboren van de scheidende laag is in het algemeen ongewenst omdat hydraulische kortsluiting kan optreden tussen twee verschillende watervoerende zandlagen. Hierdoor wordt veelal gekozen voor meerdere ondiepe bodemwarmtewisselaars in plaats van enkele diepe.

De gemiddelde warmtegeleiding van de bodem op een bepaalde locatie is bepaald aan de hand van de bodemprofielen zoals is weergegeven in de REGIS-kaarten van TNO-NITG in Delft. De dikte van de onverzadigde zone en de grootte van de grondwaterstroming zijn bepaald aan de hand van kaartbladen van de Grondwaterkaart van Nederland en de bodemconstanten. De bodemtemperatuur is bepaald aan de hand van overige literatuurgegevens [2].

De voorkomende waarden van de parameters die van invloed zijn op de grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem bij een gegeven warmteonttrekking aan de bodem, zijn ver-

deeld in klassen met een puntenwaardering. Zo wordt bijvoorbeeld een bodemiaag (ook toplaag) met een gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt kleiner dan 2,0 W/(m.K) gewaardeerd met nul punten en groter dan 2,3 W/(m.K) met twee punten. Een gemiddelde natuurlijke bodemtemperatuur lager dan 10°C wordt gewaardeerd met nul punten en hoger dan 11°C met twee punten.

De sommatie van de puntenwaardering van alle parameters geeft de kwalificatie weer:

- ✓ matig: 0 tot 7 punten;
- ✓ goed: 7 tot 10 punten;
- ✓ zeer goed: 10 tot 13 punten.

De kwalificaties “matig” en “goed” betekenen dat voor het voorbeeld van één enkele woning zoals in dit artikel is weergegeven 100% respectievelijk 25% extra bodemwarmtewisselaarlengte benodigd is ten opzichte van de kwalificatie “zeer goed”.

In figuur 2 is de bodemgeschiktheidskaart weergegeven. De drie kwalificaties zijn te herkennen aan de kleur. Licht geel staat voor “matig”, geel voor “goed” en donker geel voor “zeer goed”.

#### Voorbeeld

Bestaat bijvoorbeeld de bodemopbouw op een locatie uit:

- ✓ een deklaag van tien meter klei: één punt;
  - ✓ een onverzadigde zone van vijf meter: drie punten;
  - ✓ en verder uit zand: twee punten;
  - ✓ met een geringe grondwaterstroming: één punt;
  - ✓ bedraagt de gemiddelde bodemtemperatuur 11°C: één punt;
- dan is het totaal aantal punten acht. De bodem wordt in dit geval als “goed” gekwalificeerd.

#### Simulatie

Voor het simuleren van de invloed van de parameters op de grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem is gebruik gemaakt van het computer-/simulatieprogramma voor verticale bodemwarmtewisselaars Earth Energy Designer (EED). Daar EED instationaire warmtegeleiding in een homogeen medium simuleert, zijn de parameters

die niet met EED kunnen worden gesimuleerd, met het stof- en warmtetransportmodel HST2D gesimuleerd. Onder andere de grondwaterstroming en een bodem bestaande uit verschillende bodemlagen.

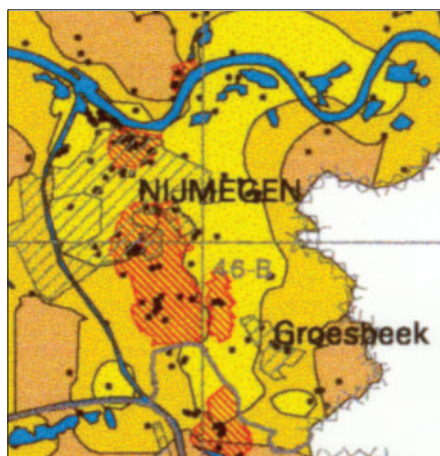
## Restrictiegebieden

Op de bodemgeschiktheidskaart zijn per provincie de gebieden aangegeven waarin provinciale restricties gelden voor het boren in de bodem. Deze gebieden zijn ontleend aan provinciale plannen en verordeningen. Voor de exacte topografische grenzen van deze restrictiegebieden alsmede voor de aard van de gestelde restricties wordt verwezen naar de Provinciale Milieuverordening van de desbetreffende provincie.

De meeste van de aangegeven restrictiegebieden worden ook wel grondwaterbeschermingsgebieden genoemd en zijn veelal te vinden in de omgeving van drinkwateronttrekkingsstations of spaarbekkens. Naast de aangegeven provinciale restrictiegebieden kunnen per gemeente of waterschap gebieden aanwezig zijn met speciale regels en restricties. Deze gebieden zijn niet in de bodemgeschiktheidskaart opgenomen.

## Gebruik van de bodemgeschiktheidskaart

Om inzicht te krijgen in het gebruik van de bodemgeschiktheidskaart wordt dit aan de hand van een voorbeeld geïllustreerd. Er moet rekening mee worden gehouden dat de bodemgeschiktheidskaart is bedoeld voor gebruik in de haalbaarheidsfase. Als voorbeeld wordt één enkele woning gebruikt met een monovalent warmtepompsysteem. Het vermogen, benodigd voor de opwarmtoeslag, wordt geleverd door het elektrisch verwarmingselement in de warmtepomp. Het geleverde thermische vermogen van de warmtepomp bedraagt 6 kWth. De warmtepomp levert uitsluitend de warmtevraag ten behoeve van de ruimteverwarming die 20 GJ bedraagt.



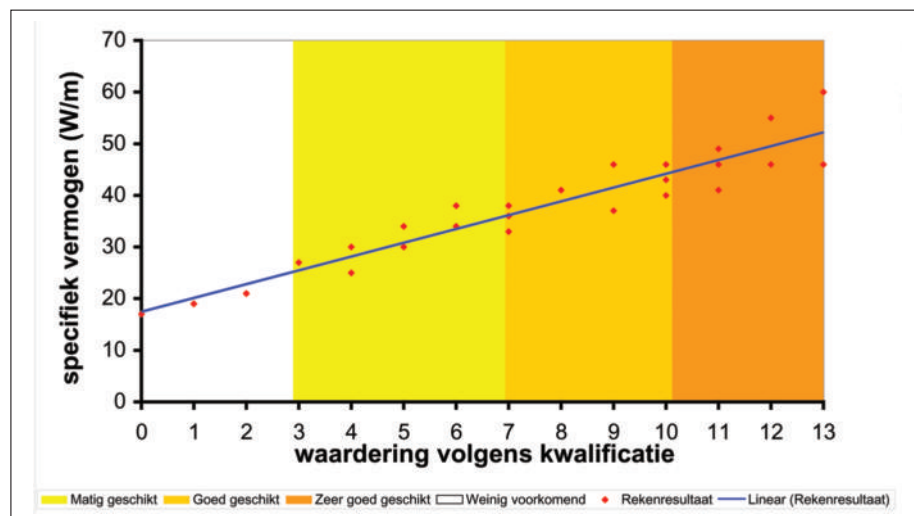
Figuur 2: Voorbeeld van de eenvoudige bodemgeschiktheidskaart.

Het verticale bodemwarmtewisselaarsysteem bestaat uit vier enkele U-lussen, in een vierkant geplaatst met een onderlinge afstand van vijf meter. Als randvoorwaarde is aangehouden dat de bodem rondom de lussen niet bevriest.

*Als eerste moet worden gekeken of de woning in een gebied met restricties ligt. Indien dit zo is, zal met de desbetreffende provincie, eventueel in samenwerking met de adviseur, moeten worden overlegd over het mogen toepassen van een bodemwarmtewisselaarsysteem. Indien de locatie niet in een provinciaal restrictiegebied ligt, kan de kwalificatie van de bodemopbouw op de bodemgeschiktheidskaart worden opgezocht.*

In het kader zijn voorbeelden van drie verschillende bodemsituaties weergegeven met verschillende kwalificaties. Indien meerdere naast elkaar gelegen woningen of een (gedeelte van een) woonwijk worden voorzien van warmtepompen met verticale bodemwarmtewisselaars, zijn de resultaten van de berekeningen zoals hierna weergegeven niet meer van toepassing. Afhankelijk van de kwalificatie is in figuur 3 het specifiek onttrokken vermogen aan de bodem weergegeven voor het voorgaand voorbeeld. De afzonderlijke punten in figuur 3 zijn rekenresultaten voor verschillende combinaties van parameterwaarden.

De toegekende klassen zijn voor bodemsituaties zoals die in Nederland voorkomen. Hierbij is er van uitgegaan dat twintig meter veen de maximale diepte veen is die tussen nul en vijftig meter onder maaiveld in Nederland voorkomt. In extreme situaties, bijvoorbeeld op de Veluwe waar de grondwaterstand vijftig meter onder maaiveld kan bedragen (dikte onverzadigde zone vijftig meter) of daar waar de bodem tussen nul en vijftig meter onder maaiveld geheel uit veen zou bestaan voldoet de bodemgeschiktheidskaart niet. In deze extreme situaties zal de bodemgeschiktheid voor toepassing van bodemwarmtewisselaars op een andere manier moeten worden onderzocht.



Figuur 3: Waardering bij één woning met vier bodemwarmtewisselaars.

**Situatie 1:**

Als de bodemopbouw tussen nul en vijftig meter onder maaiveld:

- ✓ voor het grootste gedeelte bestaat uit klei: nul punten;
- ✓ er geen grondwaterstroming is: nul punten;
- ✓ de dikte van de onverzadigde zone vijf meter bedraagt: drie punten;
- ✓ de bodem een gemiddelde temperatuur heeft van 10 °C: één punt;

bedraagt het totaal aantal punten 4. In deze situatie is de geschiktheid als "matig" gekwalificeerd. Uit simulaties met EED volgt dat het specifieke onttrokken vermogen (vermogen per meter boorgat) voor deze situatie 25 à 30 Wth/m bedraagt.

**Situatie 2:**

Bij een bodemgeschiktheid die is gekwalificeerd als "goed" kan de bodem bijvoorbeeld bestaan uit:

- ✓ een volledig zandige bodem en top laag: vier punten;
- ✓ met een onverzadigde zone van vijf meter: vier punten;
- ✓ geen grondwaterstroming: nul punten;
- ✓ en een bodemtemperatuur van 11°C: één punt.

Simulaties met EED tonen aan dat in deze situatie 35 à 45 Wth/m aan de bodem kan worden onttrokken.

**Situatie 3:**

Bij de kwalificatie "zeer goed" kan voor de voorbeeldwoning tot 55 à 65 Wth/m aan de bodem worden onttrokken. De bodem:

- ✓ bestaat hierbij volledig uit zand: vier punten;
- ✓ heeft geen onverzadigde zone: vijf punten;
- ✓ en er is een grote grondwaterstroming aanwezig: twee punten;
- ✓ de gemiddelde bodemtemperatuur tussen nul en vijftig meter onder maaiveld hoger dan 11°C: twee punten.

In deze situatie geldt voor de bodem een totaalscore van dertien punten.

**Waar is de bodemgeschiktheidskaart te vinden?**

De bodemgeschiktheidskaart is een product dat voor een ieder die te maken heeft met warmtepompen of met verticale bodemwarmtewisselaars toegankelijk moet zijn. De bodemgeschiktheidskaart is verkrijgbaar bij Novem en wordt geplaatst op het internet op de website van Novem ([www.novem.nl](http://www.novem.nl)). Online kan worden ingezoomd op het betreffende gebied, waarbij men in één oogopslag ziet of er provinciale restricties gelden en wat de mate van geschiktheid is van de bodem voor verticale bodemwarmtewisselaars. De bodemgeschiktheidskaart op internet is voorzien van een beknopte handleiding.

**Evaluatie**

- ✓ De eenvoudige bodemgeschiktheidskaart geeft een inzicht in de geschiktheid van de Nederlandse bodem tussen nul en vijftig meter onder maaiveld voor warmteonttrekking aan de bodem met behulp van verticale bodemwarmtewisselaars. Naast de bodemgeschiktheid geeft de bodemgeschiktheidskaart de gebieden aan waar provinciale restricties gelden met betrekking tot het boren in de bodem.
- ✓ Factoren die de grootte van een bodemwarmtewisselaarsysteem sterk beïnvloeden zijn de warmtegeleiding van de bodem, de warmtegeleiding van de (isolerende) top laag, mede afhankelijk van de dikte van de onverzadigde zone, de grootte van de grondwaterstroming en de gemiddelde bodemtemperatuur.
- ✓ In extreme situaties voldoet de bodemgeschiktheidskaart niet. Dit geldt voor situaties waar de grondwaterstand lager is dan vijftig meter onder maaiveld of de bodem tussen nul en vijftig meter onder maaiveld geheel uit veen bestaat. In deze extreme, weinig voorkomende situaties zal de bodemgeschiktheid op een andere manier moeten worden onderzocht.

✓ Gezien het globale karakter van de bodemgeschiktheidskaart wordt aanbevolen deze bodemgeschiktheidskaart uitsluitend te gebruiken ter oriëntatie in de haalbaarheidsfase van een project waar men warmtepompen in combinatie met verticale bodemwarmtewisselaars wil gaan toepassen. De informatie op de bodemgeschiktheidskaart is ontoereikend voor dimensioneringsdoeleinden.

✓ De mate van geschiktheid van de bodem is gekwalificeerd met een puntensysteem tussen minimaal nul en maximaal dertien punten. De kwalificaties matig, goed en zeer goed worden onderscheiden.

✓ De bodemgeschiktheidskaart is een product dat voor een ieder die te maken heeft met warmtepompen of met verticale bodemwarmtewisselaars toegankelijk moet zijn. De bodemgeschiktheidskaart zal worden geplaatst op het internet op de website van Novem: [www.novem.nl](http://www.novem.nl).

**Literatuur**

- [1] Bodemgeschiktheidskaart voor warmtepompsystemen met verticale bodemwarmte-wisselaars, Haalbaarheidsonderzoek, IF Technology B.V. Arnhem, 1/9801/IJ/AS, 1998.
- [2] W. Van Dal'sen, Geothermal investigation in shallow observation wells, the shallow subsurface temperature field in the Netherlands, groundwater survey TNO, 1981.