
Bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars

ing. R.G.A. Wennekes
ing. M.E. Hehenkamp

1 Inleiding

De warmte die in de bodem aanwezig is, kan worden gebruikt als alternatieve warmtebron voor ruimte- en/of tapwaterverwarming van woningen en gebouwen. Deze bodemwarmte kan door de te lage temperatuur niet direct voor verwarmingsdoeleinden worden gebruikt. Met een warmtepomp wordt de temperatuur verhoogd naar een voor ruimte- en/of tapwaterverwarming bruikbaar niveau. De bronwarmte kan aan de bodem worden onttrokken met een verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem. Dit systeem bestaat uit één of meerdere verticaal in de bodem aangebrachte lussen.

De Nederlandse bodem is op de meeste locaties geschikt voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars. Echter kan de bodemopbouw in Nederland per locatie sterk variëren, waardoor ook de geschiktheid voor de toepassing van bodemwarmtewisselaars verschilt. De grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem (diepte en aantal) hangt ondermeer af van de lokale bodemopbouw.

IF Technology heeft in opdracht van Novem de bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars vervaardigd. De door IF Technology ontwikkelde aanpak voor de bodemgeschiktheidskaart is door de afdeling Grondwater van TNO-NITG in Delft ingevoerd en bewerkt in Arc/Info. Met deze bodemgeschiktheidskaart wordt beoogd de navolgende informatie te geven:

- De geschiktheid van de bodem tussen 0 en 50 m 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 waar wettelijke provinciale restricties het realiseren 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-)adviesbureaus, installatiebedrijven, warmtepompleveranciers en boorbedrijven. Gezien het karakter van de bodemgeschiktheidskaart, is deze niet geschikt voor dimensio-neringsdoeleinden.

De auteurs zijn werkzaam bij IF Technology bv, Frombergstraat 1, Postbus 605, 6800 AP Arnhem, telefoon: (026) 443 15 41, fax: (026) 446 01 53, Internet: www.iftechnology.nl.

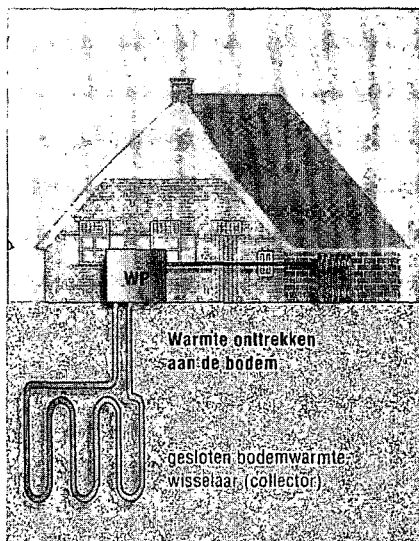
In dit artikel wordt eerst enige achtergrondinformatie (Sniijders en Wennekes, 1997 en 1998) over verticale bodemwarmtewisselaars gegeven alvorens wordt ingegaan op de bodemgeschiktheidskaart.

2 Achtergrondinformatie verticale bodemwarmtewisselaars

Warmtepomp en bodemwarmtewisselaars

De warmte benodigd voor het verwarmen van ruimten en het tapwater voor woningen kan in plaats van een gasgestookte cv-ketel worden geleverd met een elektrisch aangedreven bodemgekoppelde warmtepomp. Deze warmtepomp onttrekt (verdamp(er)warmte met een lage temperatuur aan de bodem en waardeert deze warmte op naar een hoger temperatuurniveau, waarna deze (condensorwarmte)warmte wordt afgegeven aan de woninginstallatie.

De verdamp(er)warmte kan middels twee systeemconcepten aan de bodem worden onttrokken. Zo kan met behulp van een grondwatersysteem grondwater aan de bodem worden onttrokken en na warmtelevering aan de warmtepomp met een lagere temperatuur weer in de bodem worden geïnfiltrerd. Ook kan warmte aan de bodem worden onttrokken met een bodemwarmtewisselaarsysteem, bestaande uit slangen die in de bodem zijn aangebracht. Er zijn twee uitvoeringsvormen van bodemwarmtewisselaarsystemen mogelijk: het horizontale en het verticale bodemwarmtewisselaarsysteem, zie figuur 1. Horizontale bodemwarmtewisselaars liggen horizontaal op enkele meters onder het maaiveld.



Figuur 1: Voorbeeld warmtepomp met verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem (bron: Warmtepompen voor duurzame woonboerderijen, Novem).

Verticale bodemwarmtewisselaars worden in de bodem getrild, in boorgaten geplaatst of worden in heipalen verwerkt. Het benodigde aantal en de diepte van de bodemwarmtewisselaars zijn onder andere afhankelijk van de jaarlijks te onttrekken hoeveelheid energie, het momentane vermogen, de inbrengmethode en de bodemopbouw op de locatie. Over met name dit laatste aspect gaat dit artikel. In de bodemgeschiktheidskaart is namelijk de mate van geschiktheid van de bodem in Nederland voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars weergegeven.

Theorie warmteoverdracht verticale bodemwarmtewisselaar

De verdamper van de warmtepomp en het bodemwarmtewisselaarsysteem vormen een gesloten circuit waarin water met een antivriesmiddel wordt rondgepompt. In de verdamper wordt warmte aan het water onttrokken waardoor de temperatuur van het water enkele graden daalt. Het afgekoelde water wordt vervolgens door de bodemwarmtewisselaars in de bodem gepompt. Omdat de temperatuur van het water in de bodemwarmtewisselaars lager is dan de temperatuur van de bodem rondom de bodemwarmtewisselaars vindt er via geleiding warmteoverdracht plaats. Warmte stroomt vanuit de bodem rondom de bodemwarmtewisselaars naar het water in de bodemwarmtewisselaars. Door deze warmteoverdracht stijgt de temperatuur van het water enkele graden. Dit opgewarmde water gaat vervolgens weer naar de verdamper van de warmtepomp, waar het door warmteonttrekking weer wordt afgekoeld. De cyclus is dan rond.

Deze warmteonttrekking aan de bodem veroorzaakt een temperatuurdaling van de grond waarin de bodemwarmtewisselaars zijn geplaatst. De onttrokken warmte wordt op verschillende manieren op natuurlijke wijze weer aan de bodem toegevoerd. Ten eerste zorgt de in het algemeen aanwezige grondwaterstroming ervoor dat 'warm' grondwater wordt aangevoerd en het door onttrekking van warmte afgekoelde grondwater wordt afgevoerd. Ten tweede vindt warmtegeleiding plaats vanuit de omringende en de dieper gelegen bodem. Als laatste is er de warmteoverdracht tussen de atmosfeer en het maaiveld, gevolgd door warmtegeleiding vanaf het maaiveld naar de dieper gelegen bodem.

De warmtegeleiding in de bodem zorgt ervoor dat de zijanten en de onderkant van de grond waarin de bodemwarmtewisselaars zijn geplaatst weer worden opgewarmd. Hierdoor zal echter tegelijkertijd een groter gebied rondom de bodemwarmtewisselaars afkoelen. De warmtetoevoer ten gevolge van warmtegeleiding neemt toe naarmate de bodem door warmteonttrekking verder in temperatuur daalt. Er zal een evenwicht worden bereikt tussen de warmteonttrekking aan de bodem door de bodemwarmtewisselaars en de warmtetoevoer door geleiding. Het gebied waar warmte wordt onttrokken is energetisch pas in evenwicht als op jaarbasis evenveel warmte wordt toegevoerd als wordt afgevoerd.

Uitvoeringsvormen

Verticale bodemwarmtewisselaars kunnen uit een aantal uitvoeringsvormen bestaan. De *enkele U-lus* bestaat uit twee buizen per boorgat die onder in het boorgat door middel van een U-verbinding met elkaar zijn verbonden. Bij een *dubbele U-lus* zijn twee enkele U-lussen in één boorgat geplaatst met enige afstand tussen de lussen onderling. Een *concentri-*

sche- of coaxiale buis bestaat uit twee in elkaar geplaatste buizen met verschillende diameter. De buitenbuis is aan de onderkant afgedicht. De binnenbuis is aan de onderzijde open tot ongeveer 10 cm boven de afdichting van de buitenbuis. De vloeistof, veelal water met antivriesmiddel stroomt door de binnenbuis naar beneden waarna ze tussen de binnen- en buitenbuis naar boven terugstroomt. U-lussen en concentrische buizen kunnen ook in betonnen heipalen worden ingegoten. De heipalen kunnen dan dienst doen als een bodemwarmtewisselaar (energiepaal). Deze toepassing kan worden overwogen als heipalen voor de funderingsconstructie een noodzaak zijn.

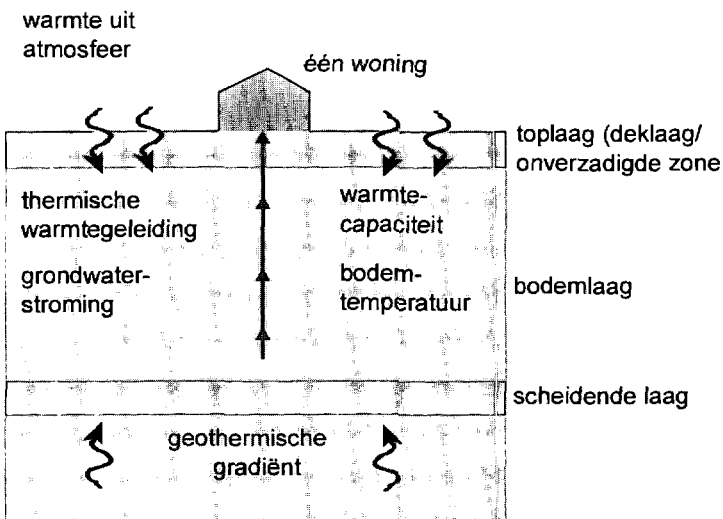
Als materiaal voor de lussen wordt veelal HDPE toegepast, met als redenen dat dit materiaal flexibel, licht in gewicht, niet corrosiegevoelig, voldoende sterk bij de toegepaste temperaturen, in alle grondsoorten te gebruiken en relatief goedkoop is.

Het inbrengen van verticale bodemwarmtewisselaars in de bodem kan op diverse manieren plaatsvinden. De meest gangbare inbrengmethodes voor bodemwarmtewisselaars zijn intrillen en inslaan of het plaatsen van een bodemwarmtewisselaar in een boorgat dat via een puls-, spuit-, spoel-, avegaar- of zuigboring is verkregen.

3 Kwalificatie en restrictiegebieden

Kwalificatie

Om de geschiktheid van de bodem te kunnen kwalificeren zijn een aantal parameters die van invloed kunnen zijn op de grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem onderzocht. Deze parameters zijn 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. In figuur 2 zijn schematisch de parameters weergegeven.



Figuur 2: Schematische voorstelling parameters

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

- De *thermische warmtegeleiding* van de voorkomende lagen in de bodem. Een lage warmtegeleiding van de bodemlaag bemoeilijkt het warmtetransport door deze bodemlaag. Met water verzadigd zand kan relatief goed warmte geleiden, klei geleidt warmte slechter.
- Een *isolerende toplaag* bestaande uit bijvoorbeeld een deklaag van klei. Een isolerende toplaag kan ook bestaan uit een zandlaag met een lage grondwaterstand (dikke onverzadigde zone). Een isolerende toplaag bemoeilijkt het warmtetransport vanuit de atmosfeer naar de bodem.
- De *grondwaterstroming* die vooral een gunstig effect heeft op kleine, optimaal georiënteerde bodemwarmtewisselaarsystemen.
- De *natuurlijke bodemtemperatuur*. Deze zal in Nederland tussen 0 en 50 m 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:

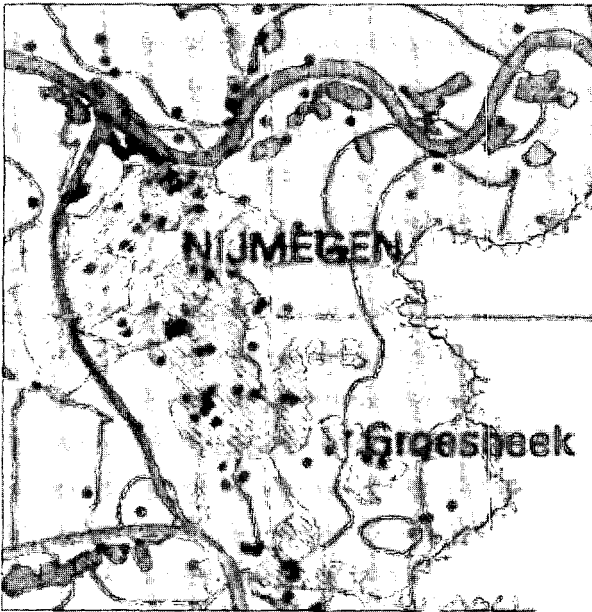
- De *warmtecapaciteit* van een bodemlaag, die voor een groot deel wordt bepaald door de hoeveelheid water (relatief hoge warmtecapaciteit) in de bodemlaag. Hierdoor is de spreiding van de warmtecapaciteit van verschillende bodemlagen vrij klein.
- De *geothermische gradiënt*. Dit is de warmtestroom vanuit het binnenste van de aarde naar het oppervlak van de aarde. Deze is gering ten opzichte van de warmteonttrekking.
- Een 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 bodemconstantes. De bodemtemperatuur is bepaald aan de hand van overige literatuurgegevens (Van Dalftsen, 1981).

De voorkomende waarden van de parameters die van invloed zijn op de grootte van het bodemwarmtewisselaarsysteem bij een gegeven warmteonttrekking aan de bodem zijn verdeeld in klassen met een puntenwaardering. Zo wordt bijvoorbeeld een bodemlaag (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 'matig' (nul tot zeven punten), 'goed' (zeven tot tien punten) en 'zeer goed' (tien tot dertien punten) weer. In figuur 3 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'. De kwalificaties 'matig' en 'goed' betekenen dat voor het voorbeeld van één enkele woning zoals in deze publicatie is weergegeven 100% respectievelijk 25% extra bodemwarmtewisselaarlengte benodigd is ten opzichte van de kwalificatie 'zeer goed'.



Figuur 3: Bodemgeschiktheidskaart

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.

4 Gebruik van de bodemgeschiktheidskaart

Om inzicht te krijgen in het gebruik van de bodemgeschiktheidskaart wordt dit aan de hand van een voorbeeld geïllustreerd. Hierbij moet er rekening mee worden gehouden dat de bodemgeschiktheidskaart bedoeld is 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 kW_e. De warmtepomp levert uitsluitend de warmtevraag ten behoeve van de ruimteverwarming die 20 GJ bedraagt. Het verticale bodemwarmtewisselaarsysteem bestaat uit vier enkele U-lussen, in een vierkant geplaatst met een onderlinge afstand van 5 m. Als randvoorwaarde is aangehouden dat de bodem rondom de lussen niet bevroest.

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.

Hieronder zijn voorbeelden van drie verschillende bodemsituaties weergegeven met drie 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.

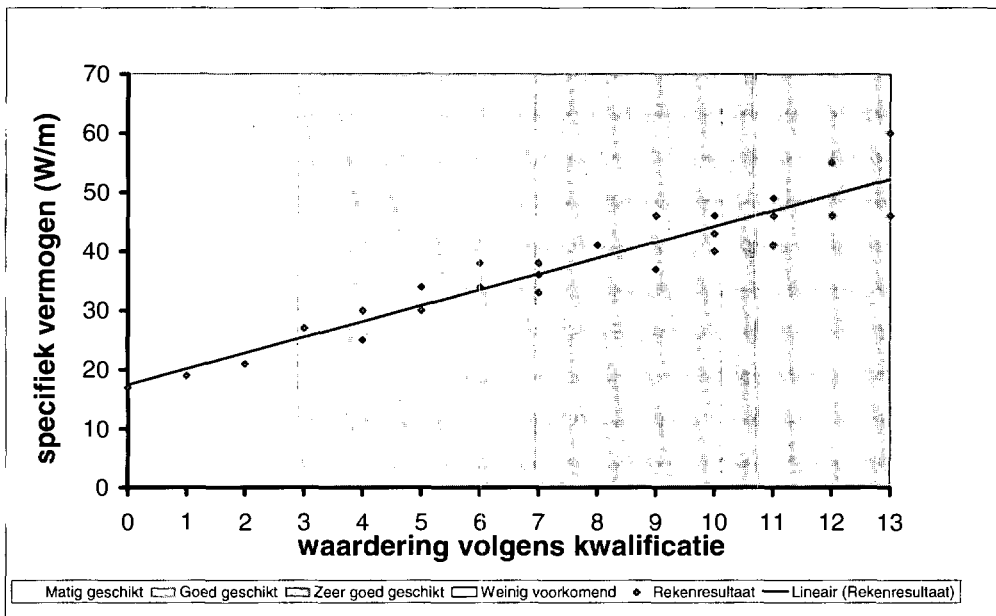
Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het computer-/simulatieprogramma voor verticale bodemwarmtewisselaars Earth Energy Designer (EED) en met het stof- en warmtetransportmodel HST2D (voor informatie van de programma's zie www.iftechnology.nl).

Als de bodemopbouw tussen 0 en 50 m onder maaiveld voor het grootste gedeelte bestaat uit klei (nul punten), er geen grondwaterstroming is (nul punten), de dikte van de onverzadigde zone 5 m bedraagt (drie punten) en de bodem een gemiddelde temperatuur heeft van 10°C (één punt), bedraagt het totaal aantal punten vier. In deze situatie is de geschiktheid als 'matig' gekwalificeerd. Uit simulaties met EED volgt dat het specifiek onttrokken vermogen (vermogen per meter boorgat) voor deze situatie 25 à 30 W_e/m bedraagt.

Bij een bodemgeschiktheid die gekwalificeerd is als 'goed' kan de bodem bijvoorbeeld bestaan uit een volledig zandige bodem en toplaag (vier punten) met een onverzadigde zone van 5 m (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 W_e/m aan de bodem kan worden onttrokken.

Bij de kwalificatie 'zeer goed' kan voor de voorbeeldwoning tot 55 à 65 W_e/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). Tevens is de gemiddelde bodemtemperatuur tussen 0 en 50 m onder maaiveld hoger dan 11°C (twee punten).

In figuur 4 is afhankelijk van de kwalificatie het specifiek onttrokken vermogen aan de bodem weergegeven voor het voorgaand voorbeeld. De afzonderlijke punten in figuur 4 zijn rekenresultaten voor verschillende combinaties van parameterwaarden.



Figuur 4: Waardering bij één woning met vier bodemwarmtewisselaars

De toegekende klassen zijn voor bodemsituaties zoals die in Nederland voorkomen. Hierbij is er van uitgegaan dat 20 meter veen de maximale hoeveelheid veen is die tussen 0 en 50 m onder maaiveld in Nederland voorkomt. In extreme situaties, bijvoorbeeld op de Veluwe waar de grondwaterstand 50 m onder maaiveld kan bedragen (dikte onverzadigde zone 50 m) of daar waar de bodem tussen 0 en 50 m 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.

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 is. De bodemgeschiktheidskaart is verkrijgbaar bij Novem en wordt geplaatst op het internet op de website van Novem (www.novem.nl). On line 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.

5 Evaluatie

- De bodemgeschiktheidskaart geeft inzicht in de geschiktheid van de Nederlandse bodem tussen 0 en 50 m 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) toplaag, (mede afhankelijk van de dikte van de onverzadigde zone), de grootte van de grondwaterstroming en de gemiddelde bodemtemperatuur.
- In extreme situaties zoals een grondwaterstand lager dan 50 m onder maaiveld of waar bij de bodem tussen 0 en 50 m onder maaiveld geheel uit veen bestaat, voldoet de bodemgeschiktheidskaart niet. 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 voornemens is warmtepompen in combinatie met verticale bodemwarmtewisselaars toe te passen. De informatie op de bodemgeschiktheidskaart is ontoereikend voor dimensioneringsdoeleinden.
- De mate van geschiktheid van de bodem is gekwalificeerd met een puntensysteem tussen minimaal 0 en maximaal 13 punten. De kwalificatie is 'matig' tussen nul en zeven punten, 'goed' tussen zeven en tien punten en 'zeer goed' tussen tien en dertien punten. De kwalificaties 'matig' en 'goed' betekenen dat voor het voorbeeld van één enkele woning zoals in deze publicatie is weergegeven 100% respectievelijk 25% extra bodemwarmtewisselaar lengte benodigd is ten opzichte van de kwalificatie 'zeer goed'.
- De bodemgeschiktheidskaart is een product dat voor een ieder die te maken heeft met warmtepompen of met verticale bodemwarmtewisselaars toegankelijk is. De bodemgeschiktheidskaart zal worden geplaatst op het internet op de website van Novem (www.novem.nl).

Literatuur

- Dalfsen, W. van (1981)** Geothermal investigation in shallow observation wells: the shallow subsurface temperature field in the Netherlands; DGV-TNO.
- IF Technology (1998)** Bodemgeschiktheidskaart voor warmtepompsystemen met verticale bodemwarmte-wisselaars; Haalbaarheidsonderzoek, rapport 1/9801/IJ/AS, IF Technology bv, Arnhem.
- Snijders, A.L. en R.G.A. Wennekes (1997)** Verticale bodemwarmtewisselaars voor warmtepompen; deel 1: Energetische aspecten, Verwarming en Ventilatie; z.p..
- Snijders, A.L. en R.G.A. Wennekes (1998)** Verticale bodemwarmtewisselaars voor warmtepompen; deel 2: Uitvoeringswijze en kosten, Verwarming en Ventilatie, z.p..