



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

PROGRAMMA ERFGOED EN DUURZAAMHEID

Kenniskatern Warmte en Warmte- infrastructuur

*Aanleg van warmtebronnen en warmtenetten en de gevolgen
voor het ondergronds archeologisch erfgoed*

Mei 2021

Disclaimer en aanbeveling

De informatie in deze publicatie is gebaseerd op publiek toegankelijke informatie over energieopwekking en energie installaties, op vergunningsaanvragen voor energie installaties, uit casestudies van bestaande of te realiseren installaties én op interviews met experts en adviseurs op het gebied van ontwerp, engineering, realisatie en vergunningverlening in de energiesector; de interviews zijn gehouden in het najaar van 2020.

De energiesector is constant in ontwikkeling en veel energie installaties en -netwerken zijn maatwerk, gebaseerd op energievraag van afnemers en de mogelijkheden met betrekking tot omgevingsbeleid van overheden en de locaties zelf. De hier gepresenteerde cijfers zijn daarom indicatief. Het geschetste beeld voor de impact van energie aanleg op het ondergronds erfgoed is in algemene zin geldend. De bijbehorende illustraties zijn schetsmatig van aard

Het advies luidt om in elke casus zoveel mogelijk aspecten voorafgaand in beeld te brengen teneinde een overzicht te krijgen van ingrepen in de ondergrond die mogelijk effect hebben op het ondergronds erfgoed. Wanneer sprake is van meerdere zoeklocaties in het kader van de Regionale Energiestrategie (RES), is de aanbeveling om voor elke zoeklocaties zo vroeg mogelijk een dergelijke inventarisatie te maken.

Inhoud

1.	Energietransitie en archeologisch erfgoed	4
2.	Erfgoedbeleid en warmte	5
3.	Warmtewinning: technische informatie en impact op ondergronds erfgoed	6
	Bodemenergie	6
	Gesloten systeem	6
	Gevolgen van gesloten systemen voor het bodemarchief	7
	Open systeem	7
	Gevolgen van open systemen voor het bodemarchief	8
	Geothermie	8
	Gevolgen van geothermie voor het bodemarchief	9
	Ultradiepe geothermie (UDG)	10
	Biomassa, biogas en groen gas	10
	Gevolgen van biomassa- en biogas systemen voor het bodemarchief	10
4.	Warmtetransportnetwerken (warmtenetten): technische informatie en impact op het ondergronds erfgoed	11
	Aanleg warmtenetten in het 'buitengebied'	11
	Onderstation en warmte overdrachtstation	12
	Ingrepen binnen de bebouwde kom	12
	Gevolgen van warmtenetten voor het bodemarchief	12
5.	Warmte: betrokken partijen	14
	Aanbevolen literatuur en bronnen	15
	Bijlage Warmte binnen de energietransitie	16
	Colofon	17

1. Energietransitie en archeologisch erfgoed

De enorme opgave van de energietransitie legt een grote druk op de ruimte, ook ondergronds. Daarmee zal ook druk op het behoud van ondergronds erfgoed (het archeologisch bodemarchief) ontstaan. In de ondergrond bevindt zich het grootste gedeelte van de geschiedenis van Nederland, in de vorm van sporen en resten van dit verleden. Het is een kwetsbaar archief dat maar één keer kan worden “gelezen” en vastgelegd. Het Nederlandse beleid ten aanzien van archeologisch erfgoed is behoud in situ; archeologie dient in eerste instantie in de grond bewaard en beschermd te worden. Indien dit niet mogelijk is vanwege andere aanspraken op de schaarse ruimte, dient dit erfgoed onderzocht te worden.

Daarom verdient het aanbeveling ondergronds erfgoed in een zo vroeg mogelijk stadium te betrekken, liefst in het eerste stadium van planvorming. Het kan bij voorbeeld onderdeel van een

gebiedspaspoort vormen of van een inventarisatie van belangen. Bij een vroegtijdige inventarisatie is het duidelijk welke eisen een goede omgang met het ondergronds erfgoed stelt aan de plannen en het proces. De mogelijkheden voor behoud in situ en archeologischvriendelijk bouwen kunnen in een vroeg stadium worden verkend. Dit voorkomt dat het bodemarchief geschaad wordt en dat archeologisch onderzoek moet worden uitgevoerd. Wanneer uiteindelijk behoud in situ toch niet mogelijk blijkt te zijn zal archeologisch onderzoek moeten plaatsvinden. In dit kenniskatern treft u informatie aan over de wijze waarop warmteinstallaties en warmtenetwerken het ondergronds erfgoed kunnen beïnvloeden. In de handreiking wordt uitgelegd hoe de aanleg van duurzame energievormen en de omgang met het archeologisch erfgoed zorgvuldig afgestemd kunnen worden.

2. Erfgoedbeleid en warmte

Het erfgoedbeleid van gemeenten en andere overheden regelt de omgang met archeologische resten. De vraag of een locatie mag worden ontwikkeld en onder welke voorwaarden ligt vast in het ruimtelijk beleid. Hierin is ook opgenomen of er archeologische waarden kunnen worden verwacht of bekend zijn en welke voorwaarden er gelden, zoals het doen van archeologisch onderzoek. In kleinere projecten wordt de omgang met archeologie vaak geregeld als voorwaarde voor het verstrekken van een bouw-, aanleg- of omgevingsvergunning. Bij grootschalige projecten is vaak vanaf het begin sprake van een eerste inventarisatie van archeologische waarden. Daardoor kan inpassing of aanpassing van het plan plaatsvinden indien ondergronds erfgoed wordt bedreigd. Wanneer ondergronds erfgoed echter pas in het kader van een vergunningsaanvraag ter sprake komt, is er veel minder sturingsruimte.

Bij de aanleg en realisatie van warmteinstallaties en warmtewetwerken zijn veel verschillende overheden betrokken, zeker bij grotere projecten. In sommige gevallen wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheid om ruimtelijke procedures te versnellen¹. Aandachtspunt daarbij is te zorgen voor voldoende ruimte binnen de procedures voor de bescherming van het bodemarchief volgens het vigerende erfgoedbeleid van de betrokken gemeentes, en eventuele bijsturing lopende het proces mogelijk te maken. Het zijn complexe en omvangrijke projecten waarbij veel verschillende aspecten aan de orde zijn. Wanneer binnen het project plannen wijzigen is het zaak om de consequenties hiervan opnieuw te bekijken. Daarom is het van belang dat de inventarisatie van ondergronds erfgoed en het vigerend erfgoedbeleid al in de eerste fase van planvorming heeft plaatsgevonden. Een dergelijk overzicht, onderdeel van een risico-inventarisatie per (zoek) locatie, kan helpen om de juiste omgang met het ondergronds erfgoed binnen het project te borgen, en ook de begroting, volgorde en planning van bijv. aanvullende archeologisch onderzoek en vergunningaanvragen² actueel te houden.

Door archeologie mee te nemen bij de locatie-risico-inventarisatie, ontstaat de mogelijkheid om een weloverwogen beleidskeuze te maken (ondergronds erfgoed behouden in situ versus ex situ oftewel opgraven) en een risico-afweging op het gebied van tijd, geld en andere aspecten.

In lang niet alle gevallen zullen complete archeologische terreinen (hoeven te) worden onderzocht omdat niet alles wordt verstoord door de aanleg van de nieuwe energiesystemen. Dan is het noodzakelijk om het behouden deel van het bodemarchief (de 'restwaarde'³) goed te beschermen. Hierbij dienen goed omschreven eisen te worden opgenomen in bestemmingsplannen en omgevingsplannen. De afweging óf onderzoek noodzakelijk was heeft immers in dit proces al plaatsgevonden; de restwaarde dient bij eventuele dreigende verstoring in de toekomst maximale bescherming te krijgen

Archeologisch onderzoek wordt in Nederland uitgevoerd door gecertificeerde bureaus en bestaat naast een bureauonderzoek, uit verschillende veldonderzoeken die een volgorde hebben en voor welke procedures eveneens richtlijnen en certificering gelden. Pas als het ondergronds erfgoed is onderzocht en veiliggesteld wordt het terrein vrijgegeven voor verdere bouw en aanleg. Voor een zorgvuldige omgang met ondergronds erfgoed is het zaak inzicht te hebben in de bodemingrepen die komen kijken bij de aanleg van warmteinstallaties en warmtewetwerken en de impact die deze hebben op de ondergrond en het daarin aanwezige erfgoed. Wie op tijd begint met het in kaart brengen van ondergronds erfgoed en hoe de voorgenomen plannen hierop van invloed kunnen zijn, heeft straks voldoende kennis in huis om gewogen beslissingen te nemen en volgens een zorgvuldige planning en begroting dit gravend onderzoek goed in te passen in de plannen.

¹ Dit is mogelijk onder de Crisis- en Herstelwet (2010); wanneer de Omgevingswet van kracht wordt, zal de CHW worden ingetrokken.

² Indien archeologisch onderzoek moet plaatsvinden, kan het nodig zijn om voorafgaand aan andere grondwerkzaamheden vergunningen aan te vragen voor wateronttrekking, sloop, Flora- en Faunawet (broedseizoen), kapvergunning en dergelijke. Deze dienen dan ook ruim voor start van grondwerkzaamheden (in dit geval archeologisch onderzoek) te zijn aangevraagd.

³ Hierbij kan het gaan om een deel van een nederzetting die aansluit op hetgeen al is opgegraven, of om archeologisch erfgoed dat op een dieper niveau in de ondergrond ligt en dat bij de aanleg van het energiesysteem behouden kon blijven. Dit laatste doet zich voor indien sprake is van gestapelde landschappen.

3. Warmtewinning: technische informatie en impact op ondergronds erfgoed

Warmte kan op verschillende manieren worden gewonnen. In dit kennisdocument behandelen we enkele veel voorkomende bronnen en bespreken de impact op de ondergrond en het bodemarchief. Geothermie, bodemwarmte en warmte uit biomassa worden besproken. In de huidige praktijk komt ook restwarmte uit industrieën en warmteopwekking uit afvalwater en oppervlaktewater voor. De sector is constant in ontwikkeling en er zijn ook veel hybride toepassingen van warmtebronnen; dit zijn lang niet altijd grondgebonden systemen.⁴ De temperatuur van de opgewekte warmte kan fluctueren. Daarom zal in de meeste gevallen sprake zijn van een warmtebron én een extra installatie (hulpwarmtebron) die indien nodig, zorgt voor bijverwarming waardoor een constante temperatuur kan worden gegarandeerd. Het is van belang bij elk systeem te vragen naar die onderdelen die een directe impact hebben op de ondergrond (door de locatie en omvang) maar ook indirect kunnen zorgen voor grondroering, simpelweg door de aanleg ervan. Voor alle warmtebronnen geldt dat de opgewekte warmte terecht moet komen bij de gebruiker, hoe groot of klein ook. Daarvoor is transport nodig via warmte-transportnetwerken (warmtenetten); dit zijn buizenstelsels waardoor (over het algemeen) warm water stroomt. De impact op de ondergrond van warmtenetten wordt eveneens besproken. De [nummers] refereren naar de onderdelen in de illustraties.

Bodemenergie⁵

Bodemenergie is de term die wordt gebruikt voor het winnen van aardwarmte tot een diepte van 500 m.⁶ Bodemenergiesystemen kunnen open of gesloten zijn. Een open systeem wordt WKO genoemd, waarbij W=warmte, K=koude en O=opslag betekenen. De diepte van deze systemen gaat meestal tot circa 200 m. De systemen zijn geschikt voor grote (utiliteits-)gebouwen, maar worden op kleinere schaal ook door particulieren toegepast. Daarnaast zijn er de gesloten systemen die werken met warmtewisselaars.⁷

Gesloten systeem

Een **gesloten** systeem maakt gebruik van een systeem van warmtewisselaars in de bodem waardoorheen circulatievloeistof wordt gepompt. De diepere ondergrond koelt langzamer af en warmt langzamer op dan de lucht of de bovengrond. Afhankelijk van het seizoen zal door geleiding in de diepere ondergrond de vloeistof in de warmtewisselaars opwarmen of afkoelen. De vloeistof komt dus niet in contact met de bodem of het grondwater. Warmtewisselaars worden zodanig in de grond aangelegd dat er geen kans bestaat op bevriezing. In sommige gevallen

wordt er naast de warmtewisselaars nog een extra buffervat of -bassin aangelegd om een beter rendement te halen⁸. De omvang hiervan is afhankelijk van de installatie en het gewenste rendement. Naast de warmtewisselaars is ook hier sprake van een pompinstallatie en leidingen; de pompinstallatie zal veelal in bovengronds worden opgesteld maar kan ook verdiept in een kelder worden aangelegd. Er zijn verschillende systemen warmtewisselaars; in horizontaal vlak, maar ook verticale systemen. Welk systeem wordt toegepast is afhankelijk van de mogelijkheden en het gewenste rendement. Wanneer sprake is van bedreiging van ondergronds erfgoed door de aanleg ervan, kan wellicht worden gekeken of een andere, archeologievriendelijke(re) techniek kan worden toegepast. **De aanleg van warmtewisselaars heeft de grootste invloed op het bodemarchief; de impact is erg afhankelijk van het type en de hoeveelheid per locatie.**

Typen bodemwarmtewisselaars

De warmtewisselaar komt in verschillende vormen voor en elke vorm kent een andere omvang en diepteligging. In sommige gevallen wordt een extra systeem aangelegd om een hoger rendement te halen of om bevriezing te voorkomen. Het is daarom moeilijk om een algemeen geldende uitspraak te doen over de omvang van bodemverstoring die de verschillende typen met zich meebrengen. Enkele van de meest gangbare typen zijn:⁹

- **Horizontale bodemwarmtewisselaars**
Horizontale bodemwarmtewisselaars [bodewarmte – 6] bestaan traditioneel uit lussen¹⁰ die liggen in de bovenste grondlaag (onder de vorstgrens). In de lussen loopt vloeistof die de warmte van de bodem absorbeert waarna de opgewarmde vloeistof wordt opgepompt en de warmte wordt afgevangen. Om voldoende energie uit de bodem op te kunnen nemen is er een groot oppervlak nodig; dit betekent dat er veel grond moet worden afgegraven. Hoe groot dit oppervlak is, hangt af van de warmtevraag, het gebruikte systeem¹¹ en de bodemgesteldheid. Horizontale warmtewisselaars worden veel in de buitengebieden toegepast waar voldoende ruimte is.
- **Verticale bodemwarmtewisselaars**
Verticale bodemwarmtewisselaars [bodewarmte – 5] worden geboord tot een diepte van 20 à 50 meter of dieper. Door de

⁴ Bijvoorbeeld door installaties op daken voor warmtewinning door zon.

⁵ In Nederland wordt de term bodemenergie veelal gebruikt voor zowel open als gesloten systemen die tot 500 m diepte reiken; diepere winning wordt aangeduid als geothermie of aardwarmte.

⁶ Deze grens is ingegeven door de wettelijke bepaling; vanaf 500m diepte is de Mijnbouwwet van kracht.

⁷ Er zijn ook warmtewisselaars en systemen die gebruik maken van de buitenlucht of zonlicht maar die blijven hier buiten beschouwing.

⁸ Hierbij kan het gaan om tanks van 30.000 liter inhoud of meer die op een diepte van minimaal 2,7 m worden ingegraven; vanaf deze diepte is de temperatuur van de ondergrond vrijwel constant, heeft de ondergrond rondom het buffervat de gewenste temperatuur en wordt een optimaal rendement gehaald.

⁹ Ook hier is sprake van voortdurende technische innovatie; de meest gangbare systemen worden hier besproken. Soms wordt ook een combinatie van technieken toegepast. De hier gepresenteerde informatie is grotendeels gebaseerd op informatie afkomstig van het RVO, en op gesprekken met technische experts uit de branche.

¹⁰ Er zijn tegenwoordig ook andere systemen zoals verticaal geplaatste kleine panelen die met elkaar verbonden zijn. Bij dit systeem is een kleinere oppervlakte nodig

¹¹ Bij het traditionele lussensysteem is de vuistregel 1:2; oftewel voor een oppervlakte van 150 m² is 300 m² aan lussen nodig; bij nieuwe systemen kan het gaan om 2:1 of 3:1. De ontgraving kan 1,5 – 3 m diep zijn.

verticale plaatsing is de omvang in horizontaal vlak beperkter. Diepte en aantal wisselaars zijn afhankelijk van factoren als warmtevermogen van de warmtepomp, bodemgesteldheid en beschikbare ruimte. De wisselaar mondt uit in een boorput onder maaiveldniveau om de leidingen te beschermen. Door de verticale boring is de temperatuur, die uit de wisselaar komt, erg constant. Deze werkwijze vergt een gedegen analyse vooraf en een nauwe samenwerking met het grondboorbedrijf.

- Aardwarmtesonde

De aardwarmtesonde of aardwarmtebuis is een variant op de verticale bodemwisselaar. De sonde heeft een diameter tussen 15-20 cm een minimale lengte 10-15 meter. Door het grotere contactoppervlak met de grond kan er per meter meer energie uit de bodem worden gehaald, afhankelijk van de bodemgesteldheid. De aardwarmtesonde heeft een kortere boring nodig.

- Aardwarmtekorf

De aardwarmtekorf [bodewarmte – 4] is een variatie tussen de horizontale en verticale bodemwisselaar in. De korf bestaat uit leidingen die in een spiraal gewikkeld zijn. De korf wordt in een gegraven gat van 4 meter diep geplaatst. De capaciteit per korf is beperkt en meestal zullen meerdere korven worden geplaatst. Hiervoor dient dan voldoende ruimte te zijn op het bouwperceel.¹²

- Energieheipaal

Een energieheipaal is een heipaal voor gebouwfundering waarin kunststofleidingen zijn verwerkt (U-lussen). De leidingen uit de heipalen worden gekoppeld en vormen zo een gesloten verticale bodemwisselaar. Doordat het uitwisselingsoppervlak van de heipaal groter is dan van een normale bodemwisselaar, kan de heipaal meer energie uitwisselen met de bodem per strekkende meter (afhankelijk van de bodemgesteldheid).

Gevolgen van gesloten systemen voor het bodemarchief

Aangezien er veel verschillende vormen van WKO zijn, én manieren van aanleg zal steeds per geval moeten worden vastgesteld wat de omvang is van het te verstoren oppervlak en de diepteligging. Ook dient te worden geïnventariseerd wat de wijze van aanleg is en of er sprake is van 'tijdelijke' voorzieningen op of rondom de locatie. Er kan sprake zijn van in pandige delen zoals de warmtepomp, die soms verdiept worden aangelegd, en extra kabels en leidingen. Uiteindelijk kunnen de totale ingrepen, inclusief tijdelijke voorzieningen een aanzienlijk oppervlak beslaan.

Bij horizontale warmtewisselaars kan het gaan om een groot oppervlak, maar ook de overige typen wisselaars kunnen een groot gebied verstoren, verticaal en horizontaal. Wanneer andere installatiedelen niet in pandig maar op het erf of perceel worden

geplaatst, kan ook daar aantasting van ondergronds erfgoed plaatsvinden, zeker wanneer dit gebeurt binnen een historische binnenstad of een historisch boerderijlint.

Bij de aanleg van ondergrondse installaties en warmtetransportnetwerken, kan naast graafwerk en aanleg ook de inwerking van zuurstof en verandering van ondergrondse waterstromen verstorend werken voor archeologisch erfgoed. Sporen en vondsten worden hierdoor aangetast en kunnen geheel verdwijnen.

Voor het bodemarchief is de aanlegfase van bodemenergiesystemen het meest verstorend; verder kan de aanleg van warmtewisselnetten voor het warmtetransport leiden tot bodemverstoring.

Open systeem

Bij een open bodemenergiesysteem [bodewarmte – 1] wordt grondwater onttrokken en na gebruik weer in de bodem geïnfiltrated. Bij een open systeem is sprake van het onttrekken en injecteren van grondwater waarbij de bodem werkt als opslag en buffer. Dit systeem is afhankelijk van watervoerende zandige pakketten in de ondergrond, de zogenaamde *aquifer*. De diepteligging hiervan is tussen de 30 tot 250 m.¹³ De samenstelling van deze pakketten heeft grote invloed op het rendement dat kan worden behaald. Een open systeem maakt gebruik van twee bronnen: een onttrekkingsbron en een injectiebron. Tussen de seizoenen wisselen deze bronnen van functie. Het grondwater dat in de winter in de bodem is afgekoeld, kan worden opgepompt om in de zomer een gebouw te koelen. Het water wordt in het gebouw langzaam warm. Het opgewarmde water wordt vervolgens weer de bodem ingepompt. Dit warmere water wordt in de winter weer omhooggehaald en gebruikt om het gebouw te verwarmen.

Meestal is dit uit de bodem opgehaalde water niet warm genoeg en zal het moeten worden bijverwarmd; dit gebeurt veelal bovengronds. Om te voorkomen dat er verontreiniging van het grondwater optreedt, worden de systemen van gebouw en grondwater apart gehouden waarbij gebruik wordt gemaakt van een warmtewisselaar. Er is dus geen sprake van het benutten van warm water uit de ondergrond. Een open systeem kan leiden tot wijziging van de grondwaterstromen tot tientallen meters rondom een bron. Afhankelijk van de grootte van het benodigde systeem (ingegeven door de warmtevraag) is aanleg van een of meer bronnen nodig. Voor kleine objecten kan vaak worden volstaan met een tot enkele bronnen die daarna gekoppeld worden, waarna vlak onder maaiveld de leidingen worden gekoppeld aan een pomp. De warmtewisselaar bevindt zich vaak bovengronds, net zoals de pomp zelf, bij kleine objecten staat die vaak in pandig of in een kleine kast of klein bijgebouw.

Naast het gebruik van natuurlijk aanwezige watervoerende pakketten, is het ook mogelijk *kunstmatige ondergrondse buffers* aan

¹² In sommige gemeenten wordt toestemming verleend om de korf te plaatsen in openbaar gebied.

¹³ Bron: RVO

te leggen. Deze ondergrondse buffers kunnen zeer groot zijn en over het algemeen 5 meter diep. Ze zijn bekleed met folie en daarnaast afgedekt met een isolerend sandwichpaneel.¹⁴

Gevolgen van open systemen voor het bodemarchief

De aanleg van de bronnen kan verstoring met zich meebrengen in de diepe ondergrond, en in de eerste meter(s) onder maaiveld. Het gaat daarbij om de bronnen zelf; de omvang hiervan is meestal gering. Ook de benodigde buizen en leidingen zijn meestal beperkt in omvang. Wel wordt bij gebouwen ook vloerverwarming aangelegd of kan de pompinstallatie onder het gebouw in een aparte kelder worden geïnstalleerd. De aanleg van de bronnen kan, door het gebruik van zwaar materieel en de aanleg van de leidingensystemen vlak onder maaiveld, de ondergrond verstoren. Denk hierbij aan beschadiging van dicht onder het oppervlak gelegen archeologisch erfgoed bij gebruik van zwaar materieel (zetting). Het gebruik van een open systeem kan ook leiden tot wijziging in de ondergrondse watersystemen en daardoor tot (enige) extra zetting. De gevolgen van wateronttrekking op grote diepte of wijzigende ondergrondse waterstromen kunnen met name van invloed zijn op eventuele archeologische resten uit het pleistoceen.¹⁵ Een grotere bedreiging wordt gevormd door de aanleg van kunstmatige ondergrondse buffers of bassins; dit lijkt in Nederland een minder gebruikelijke methode.¹⁶ De omvang van dergelijke bassins zijn per installatie en capaciteit verschillend. Bij de aanleg van ondergrondse installaties en warmtetransportnetwerken, kan naast graafwerk en aanleg, ook de inwerking van zuurstof en verandering van ondergrondse waterstromen verstorend werken voor archeologisch erfgoed. Sporen en vondsten worden hierdoor aangetast en kunnen geheel verdwijnen.

Geothermie¹⁷

Geothermie is het winnen van warmte uit diepgelegen waterlagen (dieper dan 500 m en tot een diepte van circa 4 km). Deze lagen bestaan uit poreus zand of steen. Het water dat in deze lagen aanwezig is, wordt warmer naarmate het dieper wordt. Het water tussen 2 – 4 km diepte kan een temperatuur hebben tussen de 70-90 graden Celsius. Simpel gezegd wordt het water aangeboord op twee (een zogenaamde doublet) of soms drie punten (triplet) en opgepompt, waarna de warmte er bovengronds uit wordt gewonnen en het afgekoelde water wordt terug gepompt. Het opgepompte water blijft dus in het pompsysteem; de gewonnen

warmte gaat het netwerk in.¹⁸ De gewonnen warmte wordt via een buizenstelsel naar afnemers (huizen, bedrijven, kassen) getransporteerd.

Een aandachtspunt bij geothermie is het warmteverlies dat optreedt bij het transport van warm water. Dat betekent dat een bron dichtbij een gebied met een warmtevraag moet liggen, en de capaciteit van de bron voldoende moet zijn om in de vraag te voorzien.

Geothermie kent een aantal fasen: Verkennen, opsporen, winnen en opruimen (na stopzetting winning):¹⁹

- *Verkennen: haalbaarheidsonderzoek:* Het haalbaarheidsonderzoek is een bureaustudie en gaat in op vragen als: is er aardwarmte, op welke diepte en wat betekent dat voor de soort warmte, de geschiktheid voor het geformuleerde doel, de winning en de kosten ervan. Indien positief wordt het gevolgd door een:
- *Verkennen: seismisch onderzoek:* dit kan gebeuren door middel van geluidsgolven of door middel van de schotgatseismiekmethode. Hierbij worden de geluidsgolven van kleine gecontroleerde ontploffingen in de diepere ondergrond geregistreerd. De boorgaten voor het aanbrengen van de explosieven zijn circa 8 cm in doorsnede, liggen circa 40-100 m uit elkaar en worden tot 40 m diep ‘geschoten’. Doorlooptijd van seismisch onderzoek is 6 maanden tot 1 jaar. De impact op de ondergrond en het aanwezige bodemarchief is niet bekend, maar is naar verwachting uiterst klein.²⁰
- *Opsporen door proefboringen:* Indien een geschikte locatie is aangetroffen, beginnen de voorbereidingen voor het inrichten van de boorlocatie en het uiteindelijk slaan van de putten. Hierbij wordt een terrein ingericht waarop een hoge boorinstallatie [geothermie-1] wordt gebouwd. Rondom het terrein zelf kan sprake zijn van de aanleg van (tijdelijke) aanvoerwegen en eventuele voorzieningen voor laden, lossen; ook hiervoor kunnen ingrepen in de ondergrond nodig zijn. Voor de aanleg van de boortoren en het omliggende terrein is in Nederland vrijwel altijd sprake van onderheiding. De onderheiding is bijzonder dicht en tot op grote diepte verstorend²¹. Bovendien wordt in vrijwel alle gevallen over het gehele terrein een waterkerende afdeklaag (asfalt) aangebracht [geothermie -3]. De omvang van het terrein kan enkele hectares groot zijn en wordt

¹⁴ <http://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-een-wko-installatie-of-een-kwo-installatie/>

¹⁵ Er is geen informatie over de invloed van dergelijke diepe wateronttrekking op hoger gelegen delen en de daarin aanwezige archeologie; dit is mede afhankelijk van de lokale geologische en bodemkundige situatie. Naar verwachting is de invloed hiervan gering.

¹⁶ De ondergrond in Nederland is vrijwel overal voldoende geschikt om een open systeem te realiseren, zonder aanleg van ondergrondse bassins, ook in gebieden met een grotere dichtheid aan systemen, zie voor berekeningen bijv. het rapport: *Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen*; eindred. M. Bloemendal, mei 2020.

¹⁷ Geothermie is de warmtewinning vanaf 500 m – 4 km diepte; geothermie wordt ook aardwarmte genoemd.

¹⁸ Het opgepompte water wisselt van samenstelling en temperatuur. In de meeste gevallen zitten in het warme water ook gassen opgelost die worden afgevangen. In sommige gevallen worden deze gassen mede gebruikt voor het aan de gang houden van de pompinstallatie. Het volume van het teruggepompte water kan dus minder zijn dan dat van het opgepompte water.

¹⁹ Veel informatie over de winning van geothermie, per fase is te vinden op de website: www.hoewerkaardwarmte.nl. Deze site is een initiatief van Energie Beheer Nederland (EBN) in samenwerking met Stichting Platform Geothermie, DAGO (Dutch Association Geothermal Operators) en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

²⁰ EBN dat voor het ministerie van EZK de potentie voor geothermie in beeld brengt, geeft aan rekening te houden met archeologische (rijks)monumenten voor het bepalen van de boorlocaties; archeologische verwachtingskaarten of gemeentelijke beleidsnota's worden niet standaard geraadpleegd.

²¹ In het geval van Trias Westland (omvang circa 1,5 ha) is sprake van 260 heipalen van 26 m lengte.

grotendeels onderheid [geothermie -8]. Voor de aanleg van het boortorenterrein wordt zwaar materieel vervoerd. Het kan dan ook nodig zijn om (tijdelijke) bouwwegen en opstel terreinen aan te leggen [geothermie - 4]. Afhankelijk van de ondergrond en het te vervoeren en op te stellen materiaal kan het noodzakelijk zijn om de ondergrond uit te graven en te verstevigen, of middels aantrillen te verdichten en zo te verstevigen. Dit kan eventueel aanwezig archeologisch erfgoed vernietigen of beschadigen. Op het terrein komen naast de boortoren ook bassins voor de welltest²² [geothermie - 2], werkketen en dergelijke te staan en, na de aanleg van de putten, het pomphuis [geothermie - 5 en 9]. Voor de start van de boring wordt een boortoren van ongeveer 30 tot 50 meter hoogte geïnstalleerd. Als de locatie volledig is ingericht, start de boring. De diepte van de put (en dus de boring) is afhankelijk van de bevindingen uit het verkennende onderzoek.²³ Een boring tot ongeveer 2.500 m diepte duurt gemiddeld twee maanden. Na het boren van de eerste put worden de boorresultaten bekeken en het reservoir getest. Als het reservoir over de eigenschappen beschikt om water goed te laten stromen en er dus aardwarmte-winning mogelijk is, boort men de tweede put. Dit gaat volgens hetzelfde principe als de eerste put en duurt ook ongeveer twee maanden. Een aardwarmtesysteem met twee putten heet een doublet²⁴. Mocht bij het testen blijken dat het reservoir niet geschikt is dan wordt gekeken of aanpassingen mogelijk zijn. Als dat niet kan dan wordt het project gestopt, de put op de voorgeschreven manier opgeruimd en het terrein in de oorspronkelijke situatie teruggebracht. Dit laatste betreft alleen het bovengrondse, zichtbare deel. Door de aanleg van het terrein is over de gehele oppervlakte de ondergrond verstoord; behoud in situ van ondergronds erfgoed op het terrein is dan ook niet mogelijk. De opsporingsfase met de proefboringen is het meest ingrijpend voor ondergronds erfgoed omdat hierbij grootschalige ingrepen tot diep in de ondergrond over vrijwel het gehele terrein optreden.

- De **exploitatiefase** van geothermie is min of meer een papieren handeling waarbij de aangeboorde bron wordt aangesloten op het aangelegde warmtenetwerk en er uiteindelijk een groot terrein (voor eventueel onderhoud) en een klein pompgebouw op de locatie staan. De geothermische bron wordt geëxploiteerd tot er een warmteverschil van maximaal 1 graad Celsius optreedt ten opzichte van de oorspronkelijke winningstemperatuur; op dit moment wordt uitgegaan van een exploitatie van een doublet (twee pompgaten) van circa 30 jaar²⁵.

De aangelegde infrastructuur is naar verwachting voldoende voor onderhoud gedurende de exploitatie. De exploitatiefase van geothermie is voor het bodemarchief op het werkterrein niet meer relevant; de ondergrond is reeds verstoord tijdens de opsporingsfase. Een grote bodemverstorende activiteit is buiten het aangelegde werkterrein gelegen en betreft het warmte-transportnetwerk van de winningslocatie naar de afnemers.

- **Beëindiging en verwijdering:** wanneer een locatie niet meer in gebruik is, zal deze worden opgeheven. Hiermee is in Nederland nog geen ervaring opgedaan. Indien wordt gekozen voor verwijderen van ondergrondse delen zoals heipalen, infrastructuur, en bijvoorbeeld grondverbetering of herinrichting van het terrein plaatsvindt, kan dit leiden tot (extra) bodemverstoring. Dit is met name van belang indien er op het terrein of aanpalend nog behoud in situ heeft plaatsgevonden van ondergronds erfgoed.

Geothermie²⁶

Omvang terrein	Horizontale bodemverstoring	Verticale bodemverstoring	Rekening houden met
1,5-enkele hectares	1,5-enkele hectares	Minimaal 26 meter; ²⁷ Ook waar niet geheid wordt, wordt soms tot 10 meter diepte ontgraven en met ander materiaal opgevuld om een stabiele ondergrond te creëren voor de installaties. ²⁸	Transportwegen voor materieel, "tijdelijke" voorzieningen, warmtetransportnetwerk.

Gevolgen van geothermie voor het bodemarchief

Zoals hierboven aangegeven zijn de aanleg en uitvoering van de installatie voor de opsporingsfase het meest ingrijpend. De omvang van het terrein kan anderhalf tot enkele hectares groot zijn. Hierbij is vrijwel altijd sprake van zeer dichte onderheiding tot grote diepte. Dit leidt voor vrijwel het complete oppervlakte tot diepe bodemverstoring waardoor behoud van (delen van) eventuele vindplaatsen niet mogelijk zal zijn. Over het gehele terrein wordt een waterkerende laag (asfalt) aangebracht. Mochten er delen van vindplaatsen niet geroerd worden door onderheiding, dan is het aanbrengen van een dergelijk oppervlak ook verstorend. Het is mogelijk dat er wordt afgevlakt, dat er een stabiliserende onderlaag wordt aangebracht (uitgraven en opvullen) waarop de laag wordt aangebracht. Voor de aanleg van het boortorenterrein wordt zwaar materieel vervoerd. Het kan dan ook nodig zijn om (tijdelijke) bouwwegen en opstel terreinen aan te leggen. Afhankelijk van de ondergrond en het te vervoeren en op te stellen materiaal kan het noodzakelijk zijn om de onder-

²² Testen van stroomsnelheid en geschiktheid van het opgepompte water en de samenstelling.

²³ De exacte diepte is afhankelijk van de geologische ondergrond ter plekke en vele andere variabelen. In het geval van het project TRIAS Westland bleek uiteindelijk de geologische laag uit het Trias-tijdperk op circa 4 km diepte niet geschikt en is men een ondiepere geologische laag (op circa 2 km diepte) uit het Onder-Krijt gaan exploiteren.

²⁴ In sommige gevallen wordt een derde put aangelegd en spreekt men van een triplet.

²⁵ In het buitenland zijn enkele bronnen al langer dan 30 jaar in gebruik zoals Melun l'Almont nabij Parijs die sinds 1969 in gebruik is.

²⁶ Cijfers gebaseerd op geothermische installatie TRIAS Westland.

²⁷ Zie <https://www.triaswestland.nl/nieuws/260-heipalen-geslagen>; boorputten zijn enkele kilometers diep maar beperkt in omvang.

²⁸ Pers mededeling J. Zuidema, E-kwadraat.

grond uit te graven en te verstevigen, of middels aantrillen te verdichten en zo te verstevigen. Dit kan eventueel aanwezig archeologisch erfgoed vernietigen of beschadigen. Daarnaast zal de aanleg van het warmtetransportnetwerk [geothermie - 7 en 11] dat op de bron wordt aangesloten, ook verstorend werken (zie verderop in dit katern). Het kan bij (tijdelijke) bouwwegen en warmtetransport gaan om tracés van enkele kilometers lengte. Wanneer er tijdens de exploitatiefase wijzigingen in de ondergrond optreden (bijv. peilverlaging in een gebied) kan eventueel in situ behouden archeologisch erfgoed worden bedreigd. Daardoor is het zinnig om bij een beslissing voor behoud in situ, vooraf na te gaan of de veiligheidsvoorschriften het mogelijk maken ook in de toekomst nog gravend onderzoek te doen²⁹.

Ultradiepe geothermie (UDG)

Bij ultrasdiepe geothermie vindt de winning plaats op een diepte van meer dan 4 km in de aardkorst. Op deze grotere dieptes kan het water een temperatuur van meer dan 120 graden hebben (stoom). Deze temperaturen zijn beter geschikt voor gebruik in industriële processen. In Nederland worden op dit moment proefprojecten uitgevoerd, binnen de Green Deal Ultradiepe Geothermie³⁰ waarin de sector en het Rijk samenwerken. De technologie hiervoor is complexer. Bij de totstandkoming van dit kenniskatern³¹ is geen informatie beschikbaar over het ruimtebeslag van de opsporingsfase.

Biomassa, biogas en groen gas

De winning van warmte uit biomassa berust op het principe van verbranding van organisch (biologisch) materiaal. Dit kan direct, door verbranding van GFT-afval en snoeihout³², of via een tussenstap van vergisting en vergassing tot biogas [biogas 1-3]. De winning hiervan gebeurt bijvoorbeeld uit restproducten zoals dierlijke mest en plantenresten of door raffinage van oliën en vetten uit de levensmiddelenindustrie.

Daarnaast vindt verbouw van oliehoudende planten zoals koolzaad plaats. Biogas kan middels warmte-krachtkoppeling worden omgezet in elektriciteit en/of warmte of worden gestookt in een biogasketel. Het biogas kan ook worden opgewaardeerd tot een betere kwaliteit, vergelijkbaar met die van aardgas (methaan) en wordt dan 'groen gas' genoemd. Het voordeel van dergelijke hernieuwbare gassen is dat ze door het bestaande gasleidingnetwerk kunnen worden getransporteerd.

Gevolgen van biomassa- en biogas systemen voor het bodemarchief

Door de grote verscheidenheid aan winningsprocessen en de verschillende schaal van de installaties is het niet mogelijk om een goed overzicht op te stellen van het ruimtebeslag en de mogelijke consequenties voor het ondergronds erfgoed. Het kan gaan om relatief beperkte installaties op boerenerven voor vergisting, om grote afvalverbrandingscentrales en industriële complexen voor het produceren van biobrandstof ('biofuel') zoals in de Rotterdamse haven. Over het algemeen zal ter plaatse van de installaties door de bouw, en fundering, de ondergrond worden verstoord. Vaak is er ook sprake van opslag van materiaal, of in geval van dierlijke mest, ondergrondse kelders.

Vanuit de installaties worden leidingen gelegd om de geproduceerde warmte te vervoeren naar de afnemers of het gasnetwerk. Ook dit brengt verstoring met zich mee (zie verderop in dit katern). Naast installaties voor winning op de locatie zelf, kan (elders) sprake zijn van pompgebouwen of kleine installaties om de druk te verhogen.³³ Voor biobrandstoffen op grotere schaal is sprake van opslag en transport ondergronds (pijpleidingen, opslagtanks) en bovengronds (eveneens pijpleidingen, opslagtanks en regulier transport via de weg of het water).

²⁹ Een van de doelen voor behoud in situ middels een archeologievriendelijk bouwplan is het zo toegankelijk mogelijk houden voor toekomstig archeologisch onderzoek, zie Handreiking Algemeen Archeologievriendelijk bouwen (RCE 2016).

³⁰ <https://www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie>.

³¹ December 2020.

³² Na discussie over het gebruik van houtige biomassa en het SER-rapport Biomassa in Balans in 2018, heeft het kabinet besloten tot afbouw van laagwaardige toepassingen van biomassa en het versneld toewerken naar hoogwaardige toepassingen en andere vormen van duurzame energieopwekking zoals geothermie; zie o.a. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2020/10/16/duurzaamheidskader-biogrondstoffen/duurzaamheidskader-biogrondstoffen.pdf>

³³ Zoals in het geval van de groengasbooster van Liander in Flevoland; zie <https://www.liander.nl/nieuws/2020/10/21/eerste-groen-gas-booster-gebruik>. Omvang circa 6 x 2 meter; hoogte 1,5 meter.

4. Warmtetransportnetwerken (warmtenetten): technische informatie en impact op het ondergronds erfgoed

Warmtenetten zijn grotendeels onzichtbaar in het landschap; alleen de tussenstations en warmte-overdrachtstations en, bij diepe geothermie het pomphuis, zijn zichtbare elementen. Juist doordat de bovengrondse installaties in omvang beperkt zijn, ligt het gevaar op de loer dat de ondergrondse infrastructuur onvoldoende wordt beschouwd op gevolgen voor het erfgoed.

Het grootste deel³⁴ van de warmte wordt getransporteerd via buizennetwerken waarvan het merendeel ondergronds wordt aangelegd.³⁵ In principe zijn er altijd twee buizen: een één met de juiste temperatuur en één terug met het afgekoelde water dat teruggaat naar de warmtebron of het warmtestation om daar weer te worden verwarmd naar de gewenste temperatuur. Om aan de warmte-/energievraag te voldoen zal een bepaalde hoeveelheid energie nodig zijn; dit wordt per casus berekend. De diameter van de buizen is mede afhankelijk van de temperatuur. Bij lage temperatuur zal eenvoudigweg een grotere hoeveelheid moeten worden aangevoerd en dit gebeurt dan meestal via buizen met een grotere diameter. Wanneer de temperatuur van de gewonnen warmte niet hoog genoeg is, kan gebruik worden gemaakt van een tussenstation (decentrale energiecentrale) die het water bijverwarmt en vervolgens doorvoert naar de afnemers.³⁶

De realisatie van warmtenetwerken kan vele jaren duren waarbij factoren als het te doorlopen proces, het vergunningstraject en de aanleg zelf van grote invloed zijn. Hierbij speelt een aantal factoren een rol. Warmtewinning voor een industrieel of agrarisch project m.b.v. geothermie of bodemwarmte is vaak sneller te realiseren doordat het gaat om een of enkele (georganiseerde) afnemers. De locaties van winning en afname zullen vaak dicht bij elkaar liggen en hebben vaak al een ruimtelijke bestemming waarbinnen aanleg van een warmtenetwerk mogelijk is. In het geval van warmtenetwerken binnen de bebouwde kom, zullen meerdere afnemers een rol spelen; denk hierbij aan woningbouw-coöperaties, vastgoedmaatschappijen en bewoners. Hierdoor is er mogelijk meer tijd nodig voor vooroverleg en afstemming; tegelijkertijd is binnen de huidige bestemmingsplannen niet altijd voorzien in de aanleg van een warmtestation of warmtenetwerk. Ook dit zal meer tijd vragen.

De aanleg van een warmtenetwerk is afhankelijk van de bron, de opgewekte warmte en de warmtevraag van de afnemers en hun locatie. De aanleg van een warmtenet kan in totaal wel zo'n

7-10 jaar duren van eerste plan tot realisatie. Indien een warmtenetwerk eenmaal is aangesloten, is het niet meer van belang welke bronnen de warmte leveren. Hierdoor is het mogelijk om minder duurzame bronnen op den duur te vervangen door duurzame warmtebronnen. De enige afweging die een rol speelt is de uiteindelijke temperatuur van het doorgevoerde water binnen het netwerk.

Aanleg warmtenetten in het 'buitengebied'

Warmteleidingen zelf kunnen, afhankelijk van hetgeen er doorheen wordt gevoerd, een breedte hebben van 20-30 cm tot 80-90 cm. De afnamebehoefte bepaalt de hoeveelheid heet water die er doorheen wordt vervoerd en daarmee de grootte van de leiding. Een warmteleiding wordt meestal "1 heen-1 terug" aangelegd binnen hetzelfde bed. De leidingen worden circa 1-2 meter uit elkaar aangelegd. Aangezien er meestal onder talud wordt aangelegd, is hiervoor een strook van 7-8 meter breedte nodig vanaf maaiveld. De kabels en leidingen zelf worden op 1,5-2,5 m diepte aangelegd. Het leidingenbed zelf wordt dieper uitgegraven waarna een stabilisatielaag wordt aangelegd; de uiteindelijke grondverstoring is daardoor circa 3-4 meter onder maaiveld.³⁷ Wanneer een warmteleiding moet worden aangelegd onder een dijk of waterlichaam, of complexe wegwakruisingen,³⁸ gebeurt dit veelal met een gestuurde boring. Hierbij lopen de leidingen vanaf een intredepunt met een boog³⁹ ondergronds onder de dijk of weg heen, en komen verderop weer bovengronds via een zogenaamd uitredepunt. Rondom het intrede- en uitredepunt dient rekening te worden gehouden met ontgraving en grondroering. Het is ook mogelijk om rechtdoor te boren. Dan wordt er aan een zijde een perskuip aangelegd van waaruit het boren begint. De grondroerende werkzaamheden kunnen omvangrijk zijn, in diepte en in het horizontale vlak. Hierbij gaat het om de boorput zelf, heistellingen, en eventuele werkstroken en opstelsterrein voor materiaal en materieel. Hierbij dient rekening te worden gehouden met terreinomvang tot 1 hectare.⁴⁰ Naast de uiteindelijke sleuf komen nog het werk- en opslagterrein, de rijroutes en de bouwwegen. Hierdoor kan de uiteindelijke werkstrook 30-50 m breed zijn.⁴¹ Binnen deze werkstrook dient rekening te worden gehouden met grondroering. Voorafgaand of tijdens aanleg kan er worden verdicht of ontgraven en aangevuld voor een stabielere ondergrond, zowel in de leidingensleuf als in

³⁴ Een klein deel van de geproduceerde warmte in Nederland wordt direct omgezet in elektriciteit en (op dit moment) via het bestaande elektriciteitsnet vervoerd. Dit onderwerp wordt in het kader van ruimtesbeslag hier niet verder besproken.

³⁵ Bovengrondse aanleg is meestal op zeer korte trajecten tussen warmtebron en afnemer en vindt vooral plaats in agrarische of industriële context.

³⁶ Een voorbeeld hiervan is project Middenmeer in Amsterdam waar restwarmte van een datacentrum van 30 graden Celsius in een decentrale energiecentrale op de vereiste hogere temperatuur zal worden gebracht. Vanuit de DCE wordt de warmte via een ondergronds buizenstelsel doorgevoerd naar de afnemers.

³⁷ De diepte wordt mede ingegeven door andere vereisten die vooraf aan de ligging van het warmtenetwerk zijn gesteld en kan op sommige plaatsen (veel) dieper zijn.

³⁸ In gemeente Rijswijk zijn leidingen deels geboord om archeologische monumententerreinen te sparen; pers. mededeling H. Koot, archeoloog gemeente Rijswijk.

³⁹ In voorkomende gevallen kan ook rechtdoor worden geboord.

⁴⁰ Interview M. Kerkhof, senior-beleidsadviseur erfgoed/archeologie gemeente Delft.

⁴¹ De breedte van de werkstroken inclusief opstelsterreinen en opslag kan in sommige gevallen oplopen tot 70 meter. De diepte en aard van de bodemverstoring kan verschillen van zetting en verdichting door gebruik van zwaar materieel, lichte ontgraving om terreinen te egaliseren, het leggen en verwijderen van beton- en rijplaten voor keten en vervoer, ophoging, tijdelijke drainage en verdichting van de werkstroken en in voorkomende gevallen ontgravingen en (tijdelijke) grondwapening voor het creëren van een stabiele ondergrond, ook voor de verplaatsing van materiaal en materieel.

de werkstrook. Maar ook na de aanleg kan sprake zijn van grondroering tot 1 meter diepte. Dit gebeurt indien er sprake is geweest van de verdichting van het werkterrein door materieel en opslag. In dat geval zal de bovengrond worden losgewoeld en opnieuw worden ingezaaid. Dit aspect is niet altijd opgenomen in de beschrijving van de grondroerende werkzaamheden bij start van het proces.

Onderstation en warmte overdrachtstation

Een onderstation dient om de druk op de leiding te houden en het water in het netwerk op voldoende temperatuur te houden. Bij een lage grondtemperatuur en indien de afstand die het water aflegt lang is, kan de watertemperatuur tussentijds afnemen. De grootte van een onderstation is mede afhankelijk van de doorgevoerde hoeveelheid en temperatuur van het water. Ook de wijze van bijverwarmen kan een rol spelen bij de omvang en inrichting van de installatie. Het is niet eenvoudig om hiervoor kengetallen te geven.

Een warmte overdrachtstation doseert in feite de hoeveelheid water en de temperatuur van het hoofdnetwerk naar de afnemers. Hier staat vaak nog een hulpwarmtebron opgesteld die ervoor kan zorgen dat het water in het netwerk op juist temperatuur blijft of komt, mocht het centrale netwerk onverwacht uitvallen.

Ingrepen binnen de bebouwde kom

Binnen de bebouwde kom [warmtenetwerk - 6 en 7] gaat de aanleg vaak langs reeds bestaande lijnen van infrastructuur. In het geval van hernieuwbare gassen kan wel gebruik worden gemaakt van de bestaande aardgasleiding. Waar mogelijk zal aanleg van de beide buizen (heen en terug) naast elkaar plaatsvinden, indien er geen ruimte voorhanden is, vindt dit boven elkaar plaats. De aanleg vindt meestal plaats via een open ontgraving. De strook waarbinnen de buizen worden aangelegd is minstens 3 meter breed, maar meestal zal aanleg 'onder talud'⁴² plaatsvinden en zal de strook al snel 6 meter breed aanzetten of beginnen. Naast de werksleuf is er ook ruimte nodig voor de werkstrook waarop de machines staan opgesteld (voor ontgraving en het in de sleuven plaatsen van de buizen), voor het opslagterrein van materiaal, machines en de werkketen.

In de bebouwde kom zal vaker een kruising voorkomen met waterwegen en infrastructuur. Deze kruising zal via een ondergrondse boring worden aangelegd. Voor het realiseren van een dergelijke boring is sprake van een open ontgraving rondom het intrede- en uittredepunt, extra (zwaar) materieel en de aanleg van een werkterrein rondom de beide punten. Binnen de sleuven kan sprake zijn van diepere ontgraving en aanvulling van de ondergrond voor het stabiliseren van het leidingenbed.

Daarnaast kan de aanleg van een warmtenet binnen de bebouwde kom ook afhankelijk zijn van bovengrondse obstakels, infrastructuur voor rijwegen en bus, tram of spoorwegen, groenvoorziening, straatmeubilair en natuurlijk andere ondergrondse infrastructuur zoals riolering en elektriciteits- en datanetwerken. Vanaf het uiteindelijke aangelegde warmtenet gaat er naar elk huis een aftakking, vergelijkbaar met het huidige gasnet.

Gevolgen van warmtenetten voor het bodemarchief

De aanleg van warmtenetten kan grote invloed hebben op het bodemarchief. Hierbij gaat het vooral om de aanleg waarbij niet alleen het tracé wordt ontgraven maar ingrepen ter weerszijden ervan plaatsvinden om het gebruik van zwaar materieel mogelijk te maken en om materiaal op te slaan dat nodig is voor die aanleg. Ook is het mogelijk dat er extra stabilisatielagen in de ondergrond worden aangebracht waarop de buizen rusten, of de werkwegen worden aangelegd. Hierbij kan het in buitengebieden gaan om tracés van tientallen meters breedte, vaak meters diepte en met een lengte van vele kilometers. Meestal is er sprake van open ontgravingen.

Indien een leiding (deels of geheel) wordt geboord is rondom de intrede- en uittredepunten sprake van diepe en soms omvangrijke graafwerkzaamheden. Verder wordt zwaar materieel gebruikt en er is sprake van een werkterrein waarvoor mogelijk graafwerk wordt verricht of sprake is van verdichting van de bovengrond. De aanleg beschadigt niet alleen direct de archeologische sporen en vondsten, maar kan ook het nog resterend bodemarchief aantasten en de leesbaarheid en interpretatie van vindplaatsen bemoeilijken of verhinderen.⁴³

In steden, en vooral binnensteden zullen warmtenetwerken moeten worden ingepast in de reeds druk gebruikte ondergrond. Hierbij concurreren dergelijke buizenstelsels met andere ondergrondse aspecten zoals ondergronds erfgoed en funderingen van historische gebouwen. De ligging en de aanleg zullen van plaats tot plaats verschillen waardoor de impact op het bodemarchief kan verschillen. *Historische binnensteden* zullen goeddeels op de schop gaan, waarbij het vanwege veiligheidsaspecten mogelijk is dat de warmtenetten *niet binnen* reeds verstoorde kabelbedden worden gerealiseerd maar een nieuwe verstoring teweegbrengen. De omvang van deze leidingentracés wordt mede bepaald door het type warmtebuis en de ruimte in de ondergrond.

Tijdelijke wateronttrekking, tijdelijke inrichting en tijdelijke aanvoerwegen: In sommige gevallen zal sprake zijn van (tijdelijke) wateronttrekking in de bodem. Daardoor kan er aantasting optreden van kwetsbare archeologische materialen en sporen door de toevoer

⁴² Onder talud aanleggen wil zeggen met een getrapte aanleg; hierdoor wordt de uiteindelijke aanlegstrook breder. Hoe breed is mede afhankelijk van de bodemsamenstelling ter plekke, en wordt vooraf berekend.

⁴³ Door bepaalde veiligheidseisen nadat de buizen zijn gelegd en in gebruik genomen, kan het noodzakelijk zijn een minimum aantal meters van de buis weg te blijven. Hierdoor kan een (deel van een) vindplaats niet meer worden onderzocht, ook niet wanneer er sprake zou zijn van bedreigende omstandigheden, en is feitelijk geen sprake van behoud in situ zoals bedoeld door de wetgever.

van zuurstof. Afhankelijk van de locatie en de te verwachten archeologie en de periode van wateronttrekking kan dit wellicht leiden tot de afweging om vooraf archeologisch onderzoek uit te voeren.

In geval van bouwplaatsen kan sprake zijn van tijdelijke inrichting waarvoor geen vergunning hoeft te worden aangevraagd⁴⁴. Hierdoor dreigt het gevaar dat de omvang van de werken die directe of indirecte grondroering met zich meebrengen, niet voldoende in beeld is en er geen rekening mee wordt gehouden bij de afweging voor behoud in situ en noodzaak tot archeologisch onderzoek.⁴⁵ Bij zogenaamde tijdelijke aanvoerwegen die noodzakelijk kunnen zijn voor vervoer van materiaal en zwaar transport is iets soortgelijks mogelijk. Voor tijdelijke aanvoer-routes kan het nodig zijn om af te vlakken, ondergrond te stabiliseren, objecten zoals verkeersmasten of beplanting tijdelijk te verwijderen en weer terug te plaatsen of een tijdelijk wegdek aan te brengen en weer te verwijderen. Dit alles brengt grondroering met zich mee.

Vanuit beleidsoogpunt zijn er nog twee zaken die aandacht vragen:

- In veel agrarische landschappen is in het verleden weinig archeologisch onderzoek gedaan omdat er weinig werd gebouwd. Hierdoor is er soms onvoldoende inzicht in het potentieel, de omvang en de waarde van het bodemarchief in deze gebieden. Dit heeft ertoe geleid dat de archeologische verwachting of waarde als 'laag' is aangemerkt en er ruime ondergrenzen zijn opgenomen voor archeologisch onderzoek. 'Buitengebieden' kunnen in het verleden wel degelijk (dicht) bewoond zijn geweest en belangrijke historische en prehisto-

rische archeologische sporen en vondsten bevatten. Hierbij valt te denken aan kasteelterreinen, begraven prehistorische landschappen, scheepswrakken in polders, bewoningslinten, kloosters en dergelijke. Ook watergerelateerde archeologische sporen en relictten zijn in het buitengebied aan te treffen.

- Denk hierbij aan oude waterlopen waarin of waaraan zich installaties of voorwerpen voor scheepvaart en visserij bevinden, oude bruggen en kades maar ook (prehistorische en Romeinse) offerplaatsen in beekdalen en rivieren.
- Het verdient daarom aanbeveling zo vroeg mogelijk in het proces goed inzicht te krijgen in de archeologische waarde van deze gebieden om niet tijdens de realisatiefase van een werk met 'onverwachte' archeologische vondsten te worden geconfronteerd met alle gevolgen van dien voor planning, begroting en uitvoering. Tijdig in kaart brengen biedt meer kans op behoud in situ.
- Binnen archeologisch beleid is vaak geen uitzondering gemaakt voor zogenaamde lijnobjecten zoals kabeltracés. Wanneer er sprake is van ruime vrijstellingsgrenzen (zie hierboven), is het mogelijk dat tracés formeel niet hoeven te worden onderzocht. Dit terwijl dergelijke 'ritssluitingen' in het landschap grote impact kunnen hebben op de kwaliteit van de archeologische sporen en resten, en daarmee op de leesbaarheid en de interpretatie van archeologische vindplaatsen ook wanneer die slechts grenzen aan de feitelijke versterking.

Wilt u meer weten over archeologie en warmte? Dan verwijzen wij u graag door de RCE www.cultureelerfgoed.nl Hebt u vragen? Mailt u dan naar info@cultureelerfgoed.nl.

⁴⁴ Op basis van artikel 2, onderdeel 20, van Bijlage II van het Bor is voor een bouwkeet, bouwbord, steiger, heistelling, hijskraan, damwand of andere hulpconstructie die functioneel is voor een bouw-, onderhouds- of sloopactiviteit, een tijdelijke werkzaamheid in de grond-, weg-, of waterbouw of een tijdelijke werkzaamheid op land waarop het Besluit algemene regels milieu mijnbouw van toepassing is, mits geplaatst op of in de onmiddellijke nabijheid van het terrein waarop die activiteit of werkzaamheid wordt uitgevoerd geen vergunning nodig.

⁴⁵ In landelijk gebieden zijn de ondergrenzen voor archeologisch onderzoek over het algemeen ruimer. Indien omvangrijke werkstroken en opstelreinen niet worden meegenomen in de oppervlakten van grondroerende werkzaamheden, kan op basis van deze, onvoldoende, informatie worden geconcludeerd dat de werkzaamheden de ondergrens niet overschrijden, en er dus geen noodzaak bestaat tot het uitvoeren van archeologisch onderzoek binnen het proces. Hierdoor kan belangrijk ondergronds erfgoed worden aangetast.

5. Warmte: betrokken partijen

Binnen het Klimaatakkoord zijn gemeenten aangewezen als regisseurs voor de warmtetransitie voor de gebouwde omgeving. Eind 2021 moeten gemeenten samen met belanghebbenden zoals bewoners, vastgoedeigenaren, woningcoöperaties, netbeheerders en andere overheden een visie hebben neergelegd waarin staat hoe en wanneer de gemeente wil komen tot aardgasvrije wijken. Deze Transitievisie Warmte is in veel gemeenten in voorbereiding en in sommige gemeenten al als concept met verschillende partijen besproken. Voor het opstellen van de Transitievisie Warmte zijn verschillende tools beschikbaar.⁴⁶ Voor de totstandkoming van de warmtetransitie is een duurzame coalitie van stakeholders wenselijk, zowel binnen de regio als binnen de gemeente die de transitievisie begeleidt tot aan de vaststelling door college en gemeenteraad.

De trajecten van de Regionale Energiestrategie en de Transitievisie Warmte kunnen in de praktijk naast en door elkaar lopen. Na de totstandkoming van de Transitievisie Warmte volgen er uitvoeringsplannen op wijkniveau; omdat de situatie per gemeente en locatie verschilt zal dit in nauw overleg gebeuren met bewoners en vastgoedeigenaren.⁴⁷ Als een Transitievisie Warmte wordt vastgesteld die voldoet aan de eisen voor een programma onder de Omgevingswet, komt deze te gelden als een programma onder de Omgevingswet.⁴⁸

Warmtewinning en -transport kent, zoals hierboven geschetst, veel verschillende vormen. Daarom zullen ook de betrokken partijen zeer divers zijn: van bewonerscollectief tot grote, industriële partijen.

De meeste gemeenten zullen te maken hebben met een *warmtevraag* vanuit de bewoners en grotere verhuurders zoals woningcoöperaties, maar ook vanuit de industrie. De omvang en het karakter kunnen verschillen van stadsverwarming (woningcoöperaties; projectontwikkelaars) en een klein kassencomplex (tuinders, kwekers) tot grootindustriële installaties. Daarnaast zijn er particulieren die voor een of enkele huishoudens een warmtebron willen benutten; de aanleg van dergelijke kleinere systemen kan (soms grote en onbedoelde) gevolgen hebben voor het ondergronds erfgoed.

De *warmtewinning* zelf kan ook op verschillende manieren en schalen plaatsvinden; de winningsmogelijkheden zullen per gemeente en regio variëren. Hierbij kan het gaan om groot-schalige, geothermische installaties tot en met groen gas (agrariërs), biomassa (ontwikkelaars, afvalbedrijven), en restwarmte uit industriële processen (datacentra, productiefabrieken) of waterzuiveringsinstallaties. Hierdoor kunnen de eigenaren en

leveranciers van de (rest)warmte en het aanbod zeer divers zijn: agrariërs, afvalverwerkingsbedrijven, projectontwikkelaars, hoogheemraadschappen en waterzuiveringsbedrijven, datacentra, industrie, samenwerkingsverbanden met verschillende private en publieke partijen. De partijen die bij voorbereiding en aanleg betrokken zijn zijn sterk afhankelijk van de gekozen methode. Het kan hierbij gaan om (inter)nationale bedrijven voor de aanleg van geothermische bronnen, bouwers van vergistingsinstallaties of waterzuiveringsbedrijven. Projecten worden vaak voorbereid en begeleid door ingenieurs- en adviesbureaus die zich op dit onderwerp hebben gespecialiseerd. Aanleg van een bron en het leggen van een transportsysteem voor de warmte kunnen binnen een project door verschillende bedrijven worden uitgevoerd, en soms zijn hiervoor ook andere vergunningen vereist.

Het *transport* van de warmte en de levering aan de afnemer is een ander onderdeel waarbij het spelersveld divers is. Wanneer sprake is van grote en gemeentegrens overstijgende tracés kan er sprake zijn van Provinciale Inpassingsplannen in combinatie met een Provinciale Coördinatie-regeling. Dat wil zeggen de tracékeuze, manier van uitvoering en alle benodigde uitvoeringsbesluiten binnen een gelijktijdig proces van besluitvorming verlopen.⁴⁹ Voor het PIP en de uitvoeringsbesluiten wordt dan een uitgebreide milieueffectrapportage doorlopen. De aanleg van duurzame energie valt op dit moment onder de Crisis- en Herstelwet. Dit heeft met name invloed op de beroepsfase omdat daardoor de versnelde behandeltermijn voor de afdoening van beroepschriften door de Raad van State van toepassing is (6 maanden in plaats van 12 maanden). Dit maakt het realiseren van warmtewinning, -transport en -aflevering tot een complex geheel met verschillende schaalniveaus en een caleidoscoop van betrokken partijen. Bij de invoering van de Omgevingswet zal de Crisis- en Herstelwet worden ingetrokken. *Samenwerking, kennisontwikkeling en kennisdeling* zijn belangrijke vereisten, ook omdat er steeds nieuwe mogelijkheden worden ontwikkeld en verkend. De transitie is zowel een technische als een sociaal-maatschappelijke opgave. In de lokale warmtetransitie hebben gemeenten een regierol. Op regionaal en hoger niveau zullen zij moeten samenwerken met andere overheden, bedrijven en organisaties.

⁴⁹ Een voorbeeld is het project WarmtelinQ tracé Vlaardingen-Den Haag (voorheen Leiding door het Midden). Het 23 km lange tracé is bedoeld voor restwarmte uit de Rotterdamse haven en hernieuwbare warmte en loopt door de gemeenten Den Haag, Rijswijk, Delft, Midden-Delfland, Schiedam en Vlaardingen. Inzet is de verwarming van circa 155.000 woningen. Voor de ontwikkeling van het netwerk werd in 2017 de Warmtealliantie opgericht waarin het Warmtebedrijf Rotterdam WbR, Eneco, Gasunie, Havenbedrijf Rotterdam (HbR), provincie Zuid-Holland en gemeente Rotterdam zijn vertegenwoordigd. De transportleiding wordt ontwikkeld door LdM C.V. Dit is een werkmaatschappij van de Gasunie N.V. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft de Gasunie het project WarmtelinQ overgenomen van energiebedrijf Eneco. Omdat de warmtetransportleiding tussen Vlaardingen en Den Haag een belangrijk onderdeel van het regionaal warmtenetwerk vormt, heeft LdM C.V. de provincie gevraagd om voor het project een Provinciaal inpassingsplan (PIP) op te stellen en de provinciale coördinatie-regeling toe te passen. Een inpassingsplan is een bestemmingsplan op provinciaal niveau. Dit heeft als voordeel dat de voorbereiding integraal en in nauwe samenwerking met de gemeenten verloopt, maar dat de ruimtelijke besluitvorming bij één bevoegd gezag ligt, namelijk Provinciale Staten. Beoogd doel hiervan is efficiëntie.

⁴⁶ Startanalyse Planbureau voor de Leefomgeving, [link]; handreiking voor lokale analyse Expertise Centrum Warmte.

⁴⁷ Programma Aardgasvrije Wijken; voor meer informatie zie www.aardgasvrijewijken.nl

⁴⁸ Zie brief Minister Wiebes (EZK) aan de Tweede Kamer van 19 juni 2020, kenmerk DGKE-K / 20159887.

Aanbevolen literatuur en bronnen

<https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/energie-en-land-schap/>

- Gebiedsbiografie als basis voor ontwikkelingen in de fysieke leefomgeving
- Regionale EnergieStrategie (RES)
- RES-kaarten

<https://hoewerktaardwarmte.nl/info/aardwarmte-in-nederland>

<https://www.ebn.nl/aardwarmte-in-nederland/>

<https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bodemenergie/>

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aardgasvrije-wijken>

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bodemenergie-en-aardwarmte>

<https://www.sikb.nl/bodembeheer/>

- Bodemenergie

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/toelichting-bor/vergunningplicht/industrie/bijlage-bor/warmte-koudeopslag/>

<https://wkotool.nl/>

www.aardgasvrijewijken.nl

<https://www.sodm.nl/sectoren/geothermie>

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2016: Handreiking Algemene uitgangspunten archeologievriendelijk bouwen, Amersfoort. <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2016/01/01/handreiking-archeologievriendelijk-bouwen>

Smit, et al, 2019: In situ 2100. De betekenis van vormgeving van de bescherming van archeologische vindplaatsen, Rapportage Verkenning Archeologie, RCE. <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2019/01/01/in-situ-2100>

Bijlage Warmte binnen de energietransitie

Circa 15% van de totale CO₂ in Nederland wordt uitgestoten door huishoudens en andere gebouwen (de 'gebouwde omgeving'). Hierin heeft de warmtevraag in huizen en gebouwen een groot aandeel.⁵⁰ In totaal 7 miljoen huizen en één miljoen gebouwen dienen uiterlijk 2050 te worden voorzien van duurzame warmte en elektriciteit waarbij ook isolatie een belangrijke rol speelt om onnodig energieverlies tegen te gaan. Als onderdeel van deze transitie, werken Nederlandse gemeentes, provincies en Rijk aan het verduurzamen van de warmtevoorziening.⁵¹

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat gemeenten uiterlijk eind 2021 een eerste Transitievisie Warmte (TVW) vastgesteld moeten hebben, als onderdeel van de Regionale Energie Strategie.⁵² Deze Transitievisies Warmte bevatten voor alle gemeenten plannen voor het isoleren en/of aardgasvrij maken van 1,5 miljoen woningen en andere gebouwen in de periode tot en met 2030. De TVW bevat het tijdspad en de mogelijke wijze waarop wijken worden verduurzaamd. De TVW vormt de basis voor verdere uitwerking en concretisering in het Uitvoeringsplan (op buurt- of wijkniveau). In dit Uitvoeringsplan besluiten gemeenten over het alternatief voor aardgas. De TVW's⁵³ en de Uitvoeringsplannen vormen input voor de RES en daarmee voor een Regionale Structuur Warmte en andersom. In het Klimaatakkoord is afge-

sproken dat gemeenteraden uiterlijk 2021 hun TVW vaststellen. Voor het opstellen van de TVW kunnen gemeenten o.a. gebruik maken van de Leidraad.⁵⁴

Net zoals bij andere grootschalige vormen van alternatieve energie, zonneparken en windparken, is bij warmtetransitie het regionale niveau van belang. Het is daarom van belang dat regionale partijen met elkaar afstemmen over voornemens, ontwikkelingen en uitvoering, zodat bronnen zo efficiënt mogelijk kunnen worden ingezet. Het regionale niveau wordt binnen de RES 1.0 uitgewerkt in een Regionale Structuur Warmte (RSW). Het doel van de RSW in deze fase is om het aanbod van en de vraag naar duurzame warmte in beeld te brengen en om bovengemeentelijke ontwikkelkansen te identificeren ter ondersteuning van de lokale TVW. Het gaat dan om de bovengemeentelijke warmtevraag, over warmtebronnen en warmte-infrastructuur. Daarnaast is ook de verbinding met warmtevraag en -aanbod van de industrie en landbouw (met name de glastuinbouw) van belang.⁵⁵ In de RSW worden de gegevens over warmtewinning en exploitatie en de gegevens en afspraken uit de TVW's en Uitvoeringsplannen overgenomen. De RSW zal regelmatig geüpdatet worden.

⁵⁰ Aardwarmte in warmtenetten; brochure Warmtenetwerk Nederland.

⁵¹ Voor een overzicht van de trends in het opwekken en gebruik van warmte zie o.a. Dutch New Energy Research (2020, 2 november). Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021; <https://warmtenettrendrapport.nl/trendrapport/>

⁵² Aardwarmte in warmtenetten; brochure Warmtenetwerk Nederland.

⁵³ Voor het opstellen van een TVW zijn verschillende instrumenten beschikbaar zoals de Leidraad; zie ook: <https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/default.aspx>

⁵⁴ <https://www.regionale-energiestrategie.nl/ondersteuning/handreiking/opgave+res/34+opgave+gebouwde+omgeving/default.aspx>

⁵⁵ NPRS Factsheet Warmte.

Colofon

Opstellers: drs. M.K. Dütting (NMF Erfgoedadvies) en drs. J. Bos (BLKVLD & Bos Erfgoed)

Datum: mei 2021

Status: definitief

Copyright: Het is een ieder toegestaan om (delen uit) deze publicatie te gebruiken onder verwijzing naar de auteurs en de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. Bij gebruik van de bijbehorende illustraties dient de naam van de tekenaar, Martin Hense, te worden vermeld.

Opmaak: Xerox/Osage Utrecht

© Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort, 2021

Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

Postbus 1600

3800 BP Amersfoort

The Netherlands

www.cultureelerfgoed.nl