

Memo

Instrumentarium inpassing collectieve warmtesystemen in de ondergrond

WarmingUp, project 6c

7 maart 2022

Memo Vraagstukken bij de opschaling van collectieve warmtesystemen

Auteurs

Deltares
Rutger van der Brugge
Otto Levelt
Linda Maring
Daan Rooze



7 maart 2022

Reviewer: Marijke Menkveld, TNO

Dit project is uitgevoerd als onderdeel van het Innovatieplan WarmingUP. Dit is mede mogelijk gemaakt door subsidie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in het kader van de subsidieregeling Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP), bij RVO bekend onder projectnummer TEUE819001. WarmingUP geeft invulling aan MMIP-4 – Duurzame warmte en koude in gebouwde omgeving en levert daarmee een bijdrage aan Missie B – Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050.

Projectnummer

11205163

Keywords

Ondergrond, aardgasvrij, warmte, infrastructuur

Jaar van publicatie

2022

Meer informatie

Rutger van der Brugge

T 06 10 40 63 15

E Rutger.vanderBrugge@deltares.nl

3/2022 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Over Warming Up

In het collectief WarmingUP ontwikkelen we met achtendertig deelnemers toepasbare kennis, zodat collectieve warmtesystemen betrouwbaar, duurzaam en betaalbaar zijn. Collectieve warmtesystemen in combinatie met duurzame bronnen spelen een grote rol bij het versnellen van de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Grootschalige inzet van warmtesystemen wordt gezien als een belangrijke oplossing om de doelstellingen van het Klimaatakkoord te halen en de CO₂-emissies te reduceren. Systeem- en procesinnovaties zijn nodig voor een efficiënter ontwerp, aanleg en beheer, en een goed samenspel tussen de partijen. WarmingUP wil deze innovaties in samenhang en in hoger tempo ontwikkelen. Het collectief richt zich daarnaast op de ontwikkeling van nieuwe samenwerkings- en financieringsvormen én nieuwe werkwijzen om maatschappelijk draagvlak te realiseren.

Over project 6C - Gedragen keuzes en slimme opschaling

Project 6C onderzoekt de mogelijke routekaart naar een aardgasvrije bebouwde omgeving en de overwegingen en onderbouwingen die daarbij horen. Er wordt onderzocht hoe gemeenten, warmtebedrijven en andere partijen op dit moment omgaan met de opschaling van collectieve warmtesystemen en welke vervolgstappen op de korte en lange termijn nodig zijn. In het onderzoek worden verschillende scenario's uitgewerkt met betrekking tot de technische en ruimtelijke implicaties en de sturingsmogelijkheden van het transitieproces.

<http://www.warmingup.info>

Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
2. Inventarisatie instrumentarium	7
3. Ondergrondgeschiktheidskaart	12
3.1 Methode 1 Wijktypologie	13
3.2 Methode 2 Beschikbare ruimte onder de weg	15
4. Reflectiesessie met experts	20
5. Conclusies en outlook	21
6. Bronnen	23

1. Inleiding

Aanleiding

De omschakeling naar een aardgasvrije warmtevoorziening heeft aanzienlijke consequenties voor de ondergrond. Zeker in stedelijk gebied is de inpassing van collectieve warmtesystemen vanwege de al bestaande functies in de ondergrond een complexe opgave. Dit betekent dat de inpassing en impact al vroegtijdig meegewogen zou moeten worden in de beleidsontwikkeling en niet pas bij de uitvoering van de projecten.

Informatie over de ondergrond wordt echter nog niet meegenomen in de meeste Transitievisies Warmte (1). Ook in de Startanalyse van het PBL (2) wordt deze informatie niet meegenomen. Het gebrek aan informatie over inpassing in de ondergrond kan leiden tot een vertekening van de onderliggende kostenberekeningen. Ten grondslag aan de Transitievisie Warmte en de Startanalyse liggen namelijk modelberekeningen die bepalen wat de goedkoopste warmte-optie per buurt is. Een deel van die kosten is echter afhankelijk van de beschikbare bovengrondse en ondergrondse ruimte, denk aan:

- de locatie van de bronnen in relatie tot de transportnetten,
- de leidingtracés en het verwijderen van obstakels of het verleggen van leidingen
- de graafkosten
- het gebruik van warmte-koude opslag
- dichte bebouwing met smalle straten waar leidingen niet verlegd kunnen worden.

Pas in de ontwerpfase worden deze ondergrondse aspecten duidelijk en dat kan leiden tot een andere kosteninschatting. Daarom zou het wenselijk zijn om al in een vroege fase van de ontwikkeling van een warmtenet een indicatie te hebben van de het gemak en de kosten voor inpassing in de ondergrond. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kan in de vroege fase van visie- en planvorming van de warmtetransitie - waarbij wel al voorgesorteerd wordt op de aanleg van een warmtenet, maar het (conceptuele) ontwerp nog niet beschikbaar is - toch rekening gehouden met de (kosten van) ondergrondse inpassing.

Doel van de analyse

Doel van deze analyse is daarom tweeledig:

1. Verkennen welk (bestaand) instrumentarium hiervoor reeds beschikbaar is (inventarisatie).
2. Met behulp van een GIS-analyse een kaart maken, waarmee de relevante ondergrondfactoren vroegtijdig meegenomen kan worden nog vóórdat het al bekend is waar precies de warmte-infrastructuur komt te liggen.

Aanpak

De inventarisatie heeft deels parallel aan de ontwikkeling van een ondergrondgeschiktheidskaart plaatsgevonden. Langs twee verschillende methoden is verkend hoe de geschiktheid van de ondergrond vroegtijdig in beeld kan worden gebracht. De eerste benadering was via een wijktypologie. De tweede benadering is opgezet middels een bepaling van de beschikbaarheid van de ruimte. Beide benaderingen zijn uitgewerkt aan de hand van testcases (op basis van gemeentelijke data). De benaderingen zijn voorgelegd aan een aantal experts die op de resultaten hebben gereflecteerd. Op basis daarvan is een laatste verbeteringslag gemaakt. De stappen worden hieronder nader toegelicht.

Leeswijzer

In deze memo worden de bevindingen toegelicht. Hoofdstuk 2 beschrijft de inventarisatie van bestaand instrumentarium en hoofdstuk 3 het opzetten van een kaart van de geschiktheid van de ondergrond voor warmtenetten.

2. Inventarisatie instrumentarium

Er zijn diverse instrumenten over hoe om te gaan met de ordening van de ondergrond. Deze worden in de *Handreiking Inpassing in de Ondergrond*¹ beschreven en daarom hier buiten beschouwing gelaten. Hier ligt de focus op instrumenten die zich specifiek richten op de inpassing van warmte-infrastructuur in de ondergrond. *Nota bene: De inventarisatie is niet uitputtend, er zijn waarschijnlijk meer instrumenten ontwikkeld, o.a. bij adviesbureaus, netbeheerders of andere partijen die ruimtelijke analyses uitvoeren. Ook wordt geen waardeoordeel gegeven over de methodes.*

Om een beeld te krijgen van de ondergrondse ruimte die beschikbaar is voor de aanleg van een warmtenet is als startpunt gekeken naar hoe dit aspect binnen het Vesta-MAIS -model is meegenomen in de Startanalyse en soortgelijke analyses die ten grondslag liggen aan de transitievisies warmte. Vervolgens zijn diverse andere initiatieven bekeken die met hetzelfde onderwerp bezig zijn gegaan.

Vesta-Mais

Het door PBL ontwikkelde ruimtelijke energiemodel Vesta MAIS is er op gericht om voor heel Nederland te verkennen op welke manier de gebouwde omgeving klimaatneutraal verwarmd zou kunnen worden tegen zo laag mogelijke nationale kosten. Daarvoor brengt het model het technisch potentieel van verschillende technieken in beeld en schetst de gevolgen op de warmte-, gas- en elektriciteitsnetten. Daarbij wordt rekening gehouden met lokale omstandigheden met betrekking tot gebouw- en gebiedsmaatregelen. In het model worden de potenties getoond op het CBS-buurt-niveau. Het model is dus vooral bruikbaar om de potentie voor warmtenetten vanuit de vraagkant in beeld te krijgen. Het model houdt *geen* rekening met de bovengrondse en ondergrondse ruimte die nodig is voor de warmte-infrastructuur. Er wordt aanbevolen om in lokaal wel rekening te houden met (3):

- geschiktheid geothermie en WKO,
- afdekking (asfaltering duurder dan langs zandpad), drukke ondergrond of onder kanalen door (hogere kosten per meter).
- dichte bebouwing met kleine straten waar het moeilijk is om ondergrondse leidingen aan te passen, zoals het centrum van een stad met grachtenpanden

Transitieviesies Warmte

De meeste Transitievisies Warmte geven weliswaar een ruimtelijke overzichtskaart van de warmteopties die per buurt mogelijk zijn, maar geen ruimtelijke uitwerking van de bijbehorende warmte-infrastructuur. Het ruimtebeslag is daardoor nog onbekend (Van der Brugge et al, 2021). Het probleem van inpassing wordt wel erkend. Industriële warmtepompcentrales hebben een behoorlijk bovengronds ruimtebeslag, warmtenetten en WKO's hebben een aanzienlijk ondergronds ruimtebeslag.

¹ WarmingUp deliverable 6.3.1

De inpassing van warmtenetten in bebouwd gebied is vanwege alle functies in de openbare ruimte en drukte in de ondergrond, met name in stedelijk gebied een zorgpunt bij zowel gemeenten als warmtebedrijven. Informatie over de ondergrond is niet altijd beschikbaar. Zogenaamde KLIC-meldingen zijn verplicht sinds 2008 en geven aan waar de kabels en leidingen liggen, maar deze databank is niet geheel accuraat, waardoor er ongeregistreerde kabels en -leidingen liggen waarvan niet bekend is van wie ze zijn. Voor warmteopties waarbij gebruik wordt gemaakt van warmte-koude opslag (WKO) geldt dat de doubletten op afstand van elkaar geplaatst moeten. Bij een te hoge dichtheid van bronnen ontstaat er interferentie tussen de warme en koude bronnen en werken de WKO's niet meer optimaal.

Het ruimtelijke aspect wordt nauwelijks meegenomen in de onderliggende energiemodellen en dat maakt de kostenberekeningen onzeker. Er worden kentallen gebruikt voor de aanlegkosten, maar die kosten zijn afhankelijk van het werkelijke tracé, het verplaatsen van obstakels en eventuele omleggingen. Om de warmteopties eerlijk met elkaar te kunnen vergelijken, moeten de kosten die te maken hebben met de ruimtelijk inpassing worden meegenomen.

Stantec

Stantec heeft voor de gemeente Den Haag een methode ontwikkeld om de beschikbare ruimte in de ondergrond van de gehele stad snel en eenduidig inzichtelijk te maken met behulp van een geoinformatiesysteem (GIS). Door dit in GIS uit te voeren is het resultaat snel beschikbaar, zijn aanvullende wensen makkelijk toe te voegen en is een actualisatie op basis van nieuwe datasets eenvoudig uit te voeren. (4) .

De methode maakt gebruik van zeer veel verschillende GIS-data (o.a. BAG, Klic, BGT) en ook een aantal lokale datasets (o.a. bomen, trambanen). Op basis daarvan wordt vervolgens dwars op de as van de weg de ruimte ondergronds bepaald. Die ruimte wordt elke meter op de as van de weg afgeleid. Op basis daarvan worden de kritische wegvakken geselecteerd (tot 3,5 m ruimte beschikbaar). Zo is voor elke meter weg aan te geven hoeveel ruimte er nog is en wat mogelijke obstakels in de ondergrond zijn.

Het gebruik van deze kaart past beter in de uitvoeringsfase dan in de planvormingsfase, hoewel op stedelijk niveau een dergelijke kaart eenmalig vroeg in het proces gemaakt zou kunnen worden. Op landelijke schaal is dit eigenlijk niet te doen vanwege de klic-data die niet openbaar beschikbaar is en het gebruik van lokale datasets.

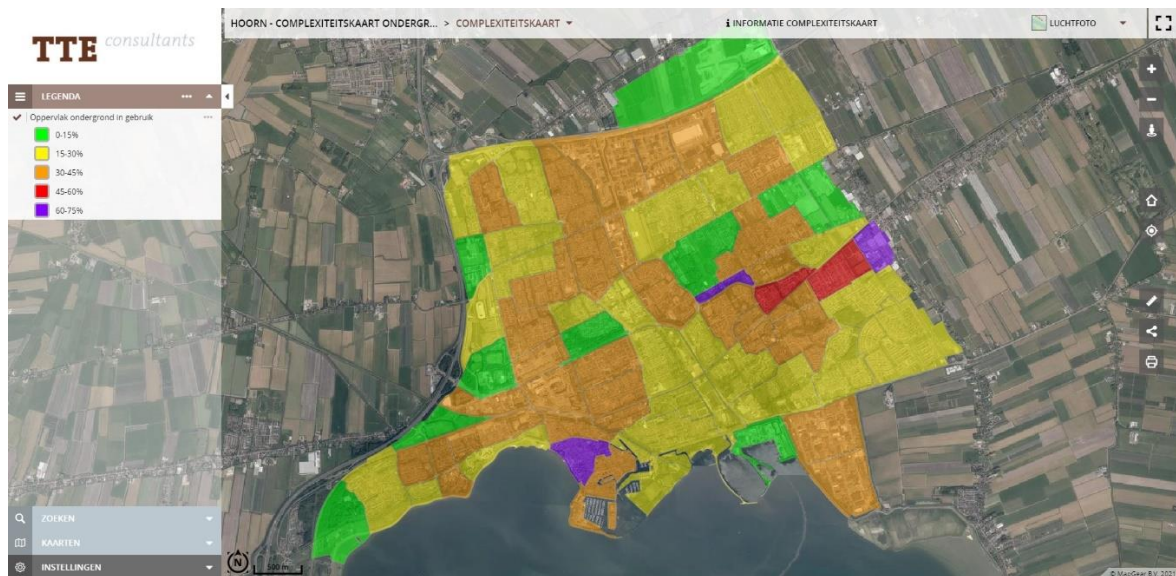
Stedin

Stedin heeft een analyse gedaan met als doel in beeld te brengen waar synergie te halen is bij vervanging van brossen aardgasleidingen door warmtenetten en of daar ruimte in de ondergrond voor is.

Hiervoor is de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT) gebruikt. Wegen smaller dan 3,5 meter zijn geselecteerd en er is vervolgens gekeken of daar gasleidingen liggen. Die wegen zijn gekenmerkt als knelpunt. Kansrijkheid onder andere wegen is bepaald op basis van o.a. warmteverbruik, tracélengte en beschikbare (rest)warmtebronnen in omgeving.

TTE Consultants

TTE heeft in opdracht van het Kennis en Leerprogramma van het Programma Aardgasvrije Wijken een nationale kaart gemaakt die inzicht geeft in de complexiteit of drukte in de ondergrond. (5). De kaart is opgebouwd op basis van openbaar beschikbare data, zoals de ligginggegevens van elektriciteitsnetten maar ook de locatie van bomen, etc. Vervolgens is het percentage vrije ruimte in de ondergrond berekend, dat wordt aangegeven met een kleur. De Complexiteitskaart maakt het mogelijk in een vroeg stadium inzicht te krijgen in de mogelijk beschikbare ruimte in de ondergrond. De kaart is ontwikkeld voor mensen die zich niet dagelijks met bodem gerelateerde zaken bezig houden.



Figuur 3.1: Complexiteitskaart Bron: (5)

Comsof

Dit softwarepakket (6) is ontwikkeld om warmtenetten mee te ontwerpen. De tool heeft naast de warmtevraag en warmtebronnen ook de straatprofielen en gebouwcontouren nodig. Op basis daarvan kunnen de lengte van leidingen en de kosten voor het netwerk in beeld gebracht worden. Zowel de invoer als de uitvoer bestaat uit GIS-data. Ondergronddata zit dus niet standaard in de software, maar moet ingevoerd worden. De mate van detail waarin de ondergrondse factoren worden meegenomen is daardoor afhankelijk van wat de gebruiker invoert en daar voor waarde aan hecht.

Design toolkit WarmingUp

De design toolkit voor collectieve warmtesystemen, die wordt ontwikkeld binnen thema 1 WarmingUp, is gericht op ontwerp van collectieve systemen, o.a. de locaties van warmtevragers, warmtebronnen en de tracés van warmtenetten worden in de tools gemodelleerd. Hierbij wordt echter (nog) geen gebruik van data van de ondergrond als factor die van invloed is op de tracés of de kosten.

Wareco

Wareco heeft overzichtelijke kaart gemaakt waar op straatniveau wordt aangegeven waar er ruimte in de ondergrond is (7). Dit is niet specifiek gericht op warmte-infrastructuur, maar op alle infrastructuur in de ondergrond. Voor iedere type leiding en voor groen is een gewenste bufferafstand tot andere infrastructuur geïdentificeerd. Daarbij is rekening gehouden met beheer en onderhoud, mogelijke toekomstige ontwikkelingen en de invloed van warmte van een warmtenet op andere kabels en leidingen. Zo is rond elke kabel een zone gedefinieerd die vrijgehouden moet worden. Hierna zijn alle zones op kaart weergegeven. Op deze manier kan bekeken worden waar en hoeveel ruimte er nog beschikbaar blijft in het wegprofiel. Zo is te zien of er voldoende ruimte is voor de aanleg van nieuwe infrastructuur. Zo niet, dan wordt een inschatting gemaakt of dit met het verleggen van riolering, kabels en leidingen, het eventueel meenemen van aangrenzende openbare ruimte of het gebruik van verschillende aanlegdieptes wel mogelijk is. Met deze informatie kan de gemeente ook een onderbouwde afweging maken of bepaalde wijken in aanmerking komen voor de toekomstige aanleg van een warmtenet. Daarnaast geeft het inzicht in de kosten waar rekening mee moet worden gehouden, bijvoorbeeld voor de invulling van de Transitievisie Warmte, zoals gedaan is in de warmtevisie Katwijk (8).

Wijktypologie Klimateffectatlas (9)

In dit initiatief is een typering van wijken gemaakt om een beeld te krijgen van de kwetsbaarheid van die wijken voor wateroverlast. Zo'n aanpak zou ook op kunnen werken voor collectieve warmtesystemen. Wijkeigenschappen die als indicator kunnen gelden voor wateroverlast zijn opgesomd in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Eigenschappen van wijken relevant voor klimaatadaptie

Eigenschap	Beschrijving
Bouwjaar	Gemiddelde bouwjaar binnen een wijk onderverdeeld in een aantal bouwperiodes
Kenmerk bebouwing	Benaming van de bouwperiode (bijv. historische binnenstad, tuindorp of Vinex)
Kenmerken openbare ruimte	Typering van de in de wijk aanwezige onderscheidende eigenschappen. Deze zijn zeer divers van aard en het kan gaan over tuinen en verhardingen, monumentaliteit, bouwhoogte, dus eigenlijk is hierin de bouwperiode uitgewerkt
Isolatiegraad	Voor de aanwezige bebouwing beschreven met -, +/-, + of geen waarde
Energielabel	Gemiddelde en eventuele variatie ook weer beschreven aan de hand van -, +/-, + of geen waarde
Koop/huur verhouding	Gemiddelde en eventuele variatie ook weer beschreven aan de hand van -, +/-, + of geen waarde
Woondichtheid/huishoudens	Aantal adressen per km ² . Ook weer beschreven aan de hand van -, +/-, + of geen waarde
Bebouwing (per km ²)	km ² bebouwing op oppervlakte wijk
Wegdek (per km ²)	km ² wegdek op oppervlakte wijk
Groen (per km ²)	km ² groen op oppervlakte wijk
Blauw (per km ²)	km ² water op oppervlakte wijk
Bodemtype	Bergend vermogen van de ondergrond, beschreven aan de hand van -, +/-, + of geen waarde

DNA-UP

Een tweede methode die gebruikt zou kunnen worden voor een inschatting van de ruimte onder de grond is de methode die ontwikkeld is in het kader van DNA van de stad en omgeving (10). Deze is vooral ontwikkeld met het oog op de ruimte die er in de ondergrond gebruikt kan worden voor het aanleggen van klimaatadaptieve maatregelen, zoals waterberging. De resulterende kaart is een grid en geeft voor elk cel een (1x1m) een beeld. Hierin zijn zowel fysieke beperkingen (zoals reeds aanwezige kabels en leidingen en boomwortels) als andersoortige beperkingen (zoals aanwezige bodemverontreinigingen en archeologische vindplaatsen) verwerkt. Het geeft een indicatie van hoe moeilijk het is om ondergrondse infrastructuur aan te leggen.

Samenvattend

Concluderend kunnen we zeggen dat er een aantal initiatieven is, dat met het onderwerp ruimte in de ondergrond bezig is. De meeste van deze initiatieven zijn gebaseerd op GIS-exercities. Met name de Complexiteitskaart van TTE komt dichtbij hetgeen met dit project ook beoogd wordt. Ten tijde dat dit project startte was deze kaart echter nog niet ontwikkeld. De indicatoren in de in dit project ontwikkelde *Ondergrondgeschiktheidskaart* verschillen echter wel met die van de *Complexiteitskaart* (zie hoofdstuk 3). De Complexiteitskaart gaat ook uit van openbare data, maar kan aangevuld worden met specifiek (betaalde) data van kabels en leidingen (klic-data). Softwarepakketten zoals Comsoft, maar ook de Design toolkit (uit warming up thema 1), maar ook energiemodellen zoals VESTA MAIS kunnen deze GIS-kaarten als input gebruiken.

3. Ondergrondgeschiktheidskaart

Zoals aangeven in tabel 3.1 verandert de behoefte aan informatie over de ondergrond naarmate het beleid rondom de toekomstige warmtevoorziening zich verder ontwikkelt. In de eerste fasen van de Regionale Structuur Warmte en de Transitievisies Warmte is er vooral behoefte aan wat algemenere informatie over de geschiktheid van de ondergrond en potentiële knelpunten en kosteninschattingen. Naarmate het beleidsproces richting uitvoering gaat is steeds gedetailleerdere informatie nodig. Daarom zijn we in dit project op zoek gegaan naar een ondergrondgeschiktheidskaart voor warmte-infrastructuur. Deze ruimtelijke kaart moet een eerste indicatie kunnen geven of het huidige gebruik van de ondergrond in een bepaald gebied genoeg ruimte laat voor de inpassing van een warmtenet. De kaart geeft een signaal dat er vanwege ruimtegebrek, obstakels of andere ondergrondfactoren een risico is op extra kosten. De volgende uitgangspunten voor ondergrondgeschiktheidskaart zijn daarbij geformuleerd:

- Mate van detail moet passen bij visievorming en strategische planningsfase
- Zinvol zijn voor de gebruiker
- Moet relatief snel en eenvoudig te maken zijn
- (Dus) gebruik makend van openbare data
- In te passen zijn in bestaand instrumentarium (dus GIS-gebaseerd)

Om de kaart te ontwikkelen zijn twee verschillende methoden gevolgd vanuit een andere benadering. Beide benaderingen worden hieronder toegelicht.

Tabel 3.1 Informatiebehoefte over ondergrond in verschillende fasen van beleid.

Schaal	Beleidsinstrument	Gebruik ondergrond data	Wat zou wenselijk zijn?
Regio	Regionale Structuur warmtenet (RSW)	Nauwelijks	Beeld van potentiële gebruik ondergrondse bronnen en opslag
Gemeente	Transitievisie Warmte (TVW)	Nauwelijks	Beperkingen vanuit ondergrond WKO, Beeld van potentiële knelpunten warmtenetten Risico's in schatten op hogere kosten Verdisconteren in de kostenberekeningen
Wijk/ buurt	Wijkuitvoeringsplan	Geen ervaring mee	
Warmteproject	Tracébesluit	Gedetailleerde ondergrondanalyse, met klic-data en schouw op locatie (kaarten vaak indicatief)	Meekoppelen met andere werkzaamheden i.v.m. graafrust en eventuele kostenbesparingen

3.1 Methode 1: Wijktypologie

De eerste benadering ging uit van wijktypen. De gedachte was dat het wijktype een indicator zou kunnen zijn voor de geschiktheid van de ondergrond. Oude stadswijken hebben doorgaans smalle straten en er ligt vanuit de geschiedenis van alles in de ondergrond, terwijl in nieuwbouwwijken de ondergrond netjes onder de straten geordend kan worden op basis van de voorzieningen van nu. Typische Tuinwijken hebben bijvoorbeeld weer groene zones die benut zouden kunnen worden etc. Hiermee zouden we goed aansluiten bij de Transitievisies Warmte en de Startanalyse, die ook op het niveau van wijken of buurten worden opgesteld.

Om deze hypothese te testen is een set van indicatoren ontwikkeld die de beschikbare ruimte in de ondergrond mogelijk zouden kunnen voorspellen (tabel 3.2). Vervolgens is gekeken of die indicatoren ook correleren met wijktypes.

Als basis wordt gebruik gemaakt van een GIS-bestand met de CBS Wijk en Buurtstatistieken (11). Daarnaast is voor de eerste indicator, de zogenaamde Open Space Ratio (OSR), gebruik gemaakt van een database/GIS-bestand van het PBL met betrekking tot de Ruimtelijke dichtheden en functiemenging (12). Deze OSR geeft de verhouding weer tussen de open ruimte en de bebouwing en is gebruikt als een indicator voor de hoeveelheid functies in de ondergrond. Bij een hoge ratio, dus veel openbare ruimte ten opzichte van bebouwde ruimte zullen er minder kabels en leidingen en andere functies in de ondergrond aanwezig zijn dan bij een lage ratio. Bij een lage ratio, dus relatief veel bebouwing zullen er naar verwachting relatief meer functies in de ondergrond zitten. Door gebruik te maken van dit bestand als indicator voor de functies in de ondergrond voorkomen we dat we voor elke buurt of wijk apart KLIC-data hoeven op te vragen.

Omdat veel van deze functies onder de wegen liggen (denk aan kabels, leidingen, riolen etc.) en een warmtenet in principe ook onder de wegen wordt aangelegd, zijn twee belangrijke indicatoren de dichtheid van wegen en de breedte van de wegen. De dichtheid geeft een indicatie van het totale weggoppervlak waaronder de leidingen geplaatst moeten worden. Weinig wegen betekent relatief minder fijnmazige vertakkingen in het distributienet en dus grotere leidingdiameters. De breedte van de wegen geeft een indicatie hoeveel ruimte er beschikbaar is onder de weg. Bij smalle wegen is die ruimte kleiner dan bij brede wegen. Voor deze twee indicatoren is gebruik gemaakt van OpenStreetmap (13).

De beschikbare ruimte wordt verder ingeperkt door boomwortels. Aanname is dat de kruin van de boom in omvang min of meer gelijk is aan het wortelstelsel en deze perkt de ruimte voor warmtenetleidingen aanzienlijk in. Ook voor de boomedichtheid is een openbaar GIS-bestand beschikbaar gemaakt door het RIVM (14).

Tenslotte is ook de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) (15) geraadpleegd om de ouderdom van de bebouwing te achterhalen. De ouderdom is een indirecte indicator die iets zegt over de hoeveelheid 'oude rommel' mogelijkerwijs in de ondergrond aanwezig is. Het geeft daarmee een risico-indicatie dat je bij aanleg iets tegenkomen kan komen wat je niet had voorzien en tot extra kosten kan leiden.

Tabel 3.2 Indicatoren in de Ondergrondgeschiktheidskaart

indicator	Wat is het	Waarom relevant
Open Space Ratio (OSR)	Geeft de verhouding aan tussen open ruimte en bebouwd oppervlak. Deze is er buurt beschikbaar voor het bebouwde gedeelte* ²	Hoe kleiner deze is hoe minder open ruimte er bovengronds is. Idee is dat dit zich ook door zal vertalen naar de ondergrond
Wegendichtheid	Hiervoor is de lengte van de wegen uit Open Street Map (OSR) gedeeld op het oppervlak van het bebouwde gedeelte van de buurt ¹	Hoe groter deze is, hoe meer wegen er beschikbaar zijn om een goed netwerk dat alle woningen ontsluit aan te leggen is
Gemiddelde wegbreedte	Hiervoor is op basis van een inschatting per wegtype in OSR een wegbreedte afgeleid. Hiervan is het gemiddelde afgeleid voor het bebouwde gedeelte van de buurt ¹	Hoe breder de wegen in de wijk gemiddeld, hoe meer ruimte er onder de wegen beschikbaar zal zijn.
Boomdichtheid	Geeft % bomen in het gebied weer hoger dan 2,5 m. nu zijn alleen de bomen rond de wegen geselecteerd, aangezien alleen deze voor ruimte in de ondergrond concurreren met de warmtenetten	Hoe meer bomen, hoe meer wortels in de ondergrond en dus hoe minder ruimte er overblijft in de ondergrond
Variatie in ouderdom bebouwing	Hiervoor is de mediaan en de ouderdom van de gebouwen in de buurt afgeleid uit data kadaster. Het verschil tussen het mediane bouwjaar (ongeveer meest voorkomende) en gemiddelde bouwjaar kan iets zeggen over de variatie in bouwjaar. Hoe groter dit verschil is, hoe meer variatie in bouwjaren in de wijk.	Idee is: hoe meer variatie in ouderdom, hoe meer "troep" er in de ondergrond zal zitten.
Oppervlak wegen per buurt	Hiervoor zijn de wegbreedtes die zijn afgeleid uit OSR gebruikt om oppervlaktes af te leiden. Deze zijn gesommeerd en gedeeld op het bebouwde gedeelte van de buurt ¹	Idee is: Hoe meer oppervlak, hoe meer ruimte in de ondergrond. Mogelijk is dit een overbodige indicator of moet hier iets anders voor worden gebruikt, want hiermee krijg je geen beeld van bijv. ruimte op pleinen.
<i>mogelijke andere obstakels</i>	<i>aanwezigheid ondergrondse parkeergarages, ondergronds afvalstelsel, open water, etc</i>	<i>extra obstakels, kan extra moeite voor aanleg betekenen. Niet meegenomen in de exercitie.</i>

Testcase tbv wijktypologie

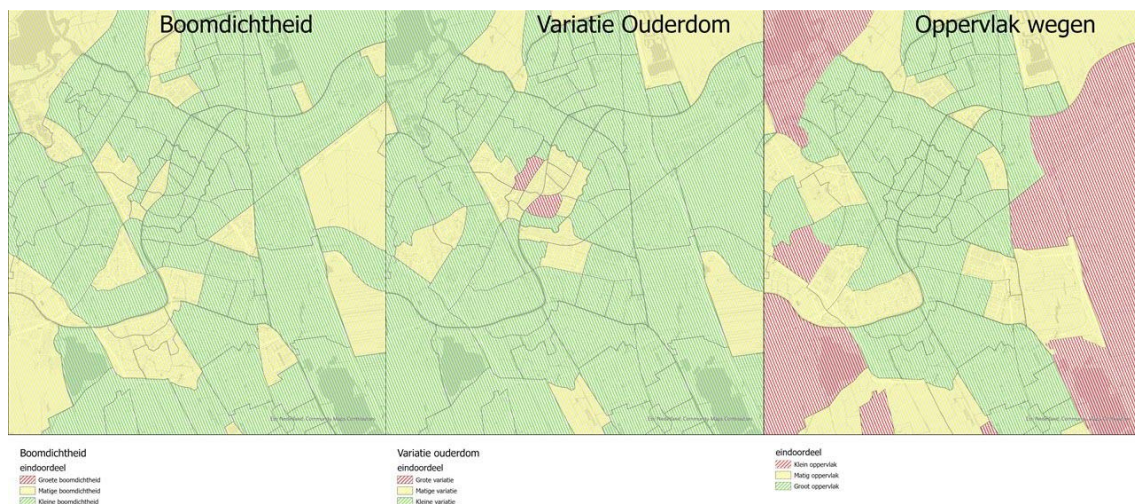
Het idee dat verschillende kenmerken van wijken aangeven hoe geschikt de ondergrond is voor de aanleg van een warmtenet is getest in een gemeente. Voor drie verschillende wijktypen zijn de indicatoren met elkaar vergeleken. Middels kleuren is per buurt aangeven of de ondergrond weinig, mogelijk of goed geschikt is voor het inpassen van een warmtenet. Per indicator uit tabel 3.2 zijn de grenswaarden van de drie categorieën bepaald (weinig, mogelijk of goed geschikt). Deze grenswaarden zijn ingeschat aan de hand van het drietal buurten en zijn niet gevalideerd. De grenswaarden zijn weergegeven in onderstaande tabel 3.3.

² Met het bebouwde gedeelte van de buurt wordt het deel bedoeld waarin de bebouwing staat. Dit betekent niet dat dit alleen gebouwen bevat, maar dit is het deel van de buurt zonder de parken en landelijk gebied, maar met de plantsoenen en groenstroken.

Tabel 3.3 Grenswaarden voor de indicatoren in de Ondergrondgeschiktheidskaart

Indicator	weinig geschikt	mogelijk	goed geschikt
OSR [opp. open ruimte/totaal opp.]	0 - 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5
Wegendichtheid [lengte wegen/opp. bebouwd gebied]	0 – 0,03	0,03 – 0,05	> 0,05
Gemiddelde wegbreedte [m]	< 3	3 – 6	> 6
Boomdichtheid [% van gridcel bedekt met bomen]	> 25	5 – 25	< 5
Variatie in ouderdom bebouwing [jaar]	> 50 jaar	15 – 50 jaar	< 15 jaar
Oppervlak wegen per oppervlak buurt [opp. wegen/opp. gebied]	< 0,2	0,2 – 0,3	> 0,3

Met bovenstaande indicatoren en grenswaarden zijn de ondergrondgeschiktheidskaarten gegeneerd (figuur 3.1). Op basis van de analyse is geconcludeerd dat de resultaten te afhankelijk zijn van de gekozen grenswaarden en dat die grenswaarden niet goed te valideren zijn. Deze benadering pretendeert daarmee nauwkeuriger te zijn dan het is en dat kan misleidend zijn. Een tweede punt was de weging van de verschillende indicatoren. Niet alle indicatoren wegen even zwaar mee, maar ook de wegingsfactor is niet goed te valideren. Vanwege deze redenen is geconcludeerd dat de benadering via wijktypen niet betrouwbaar genoeg is. Om die reden is een andere methode ontwikkeld waarbij met een andere benadering een inschatting van de ruimte in de ondergrond wordt gemaakt.



Figuur 3.1 indicatoren toegepast op een testcase

3.2 Methode 2: Beschikbare ruimte onder de weg

De tweede benadering is gericht op de inschatting van de overgebleven ruimte, na een inschatting van de al in gebruik genomen ondergrondse ruimte. Hierbij wordt aangenomen dat de warmtenetten ingepast zullen moeten worden naast de reeds aanwezige ondergrondse infrastructuur, zoals de kabels, leidingen boomwortels, etc.

In een eerste stap is op basis van Open Street Map (OSM) (13) het type weg bepaald. Vervolgens is op basis van het type weg de wegbreedte ingeschat. In tabel 3.4 zijn deze schattingen weergegeven.

Tabel 3.4 Inschatting typische wegbreedtes

Type weg	inschatting van de breedte (in meters)
Snelweg	16 (orde 3 rijbanen & vluchtstrook & berm)
regionale wegen	16 (4 rijbanen & berm of stoep)
Lokale wegen	9 (2 rijbanen & stoep)
Woonstraten	7 (1 rijbaan & stoep)
Fietspaden en landwegen	5 (1 rijbaan & stoep/berm)
wandelpaden	3
Overige	niet meegenomen

Vervolgens is bepaald of er bebouwing en bomen in of tegen dit wegvak staan. in het geval dat er bomen staan, liggen er dus ook boomwortels in de ondergrond. Indien dit het geval is, is een deel van de ruimte van de weg dus al in gebruik. Boomwortels leggen immers beslag op ondergrondse ruimte en de ondergrondse infrastructuur kan niet direct tegen bebouwing aan ingegraven worden; er dient altijd enige afstand tot genomen te worden. In tabel 3.5 zijn de rekenregels die hier gebruikt zijn te zien.

Tabel 3.5: Effect van bomen op bruikbare ondergrond onder de weg

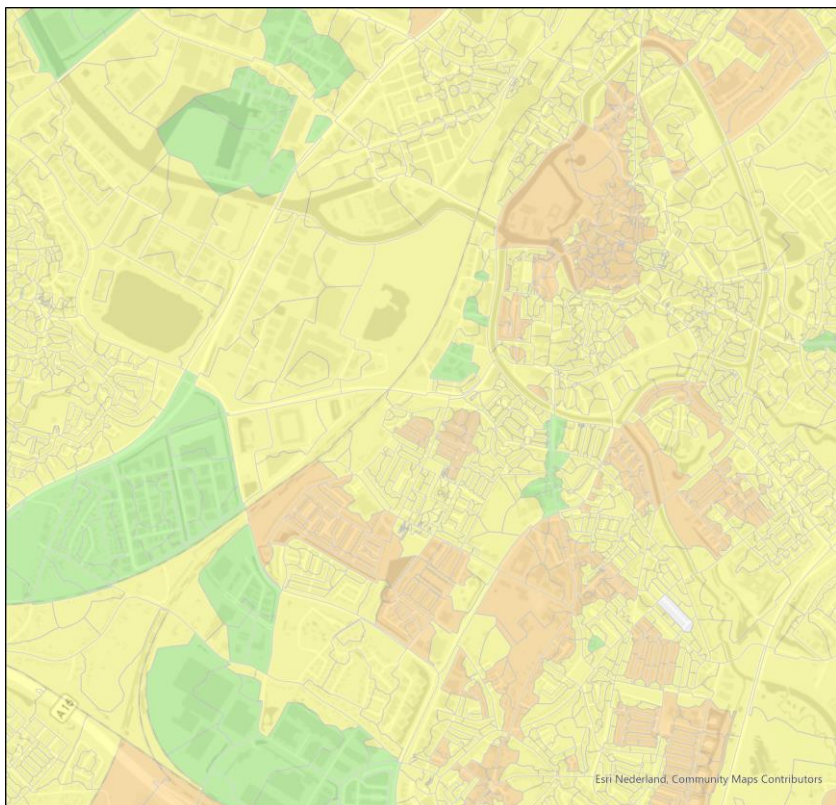
aanwezigheid bomen	gevolg
binnen breedte weg	wegbreedte voor infra neemt met 2 m af
binnen 2 m vanaf weg	bovenop wegbreedte is geen extra ruimte beschikbaar
Geen	Geen

Op deze manier is dus bepaald hoeveel wegprofiel er beschikbaar blijft op basis van de ingeschatte wegbreedtes en de breedte die daarvan afgehaald moet worden in verband met er dicht op staande bebouwing en bomen. In die breedte ligt dan behalve het warmtenet al een aantal bestaande kabels en leidingen. De benodigde ruimte hiervoor wordt ingeschat op basis van kentallen voor de ruimte die deze in beslag nemen inclusief de ruimte die eromheen vrij gehouden moet worden. Deze kentallen staan opgesomd in onderstaande tabel 3.6.

Tabel 3.6: Kentallen voor benodigde ruimte voor kabels en leidingen.

	Diameter [m]	Werkruimte [m]	Afstand tot gevel [m]	Afstand tot bomen [m]	Telecom	Electra	Waterleiding	Gas	Riool	Warmtenet
Telecom	0,05	0,3	0,75	2,0		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Electra (MS)	0,1	0,3	1,0	2,0	0,75		0,75	0,75	0,75	0,75
Waterleiding	0,16	0,25	1,25	2,0	0,75	0,75		0,75	2,0	1,50
Gas	0,3	0,25	2,0	2,0	0,75	0,75	0,75		1,0	0,75
Riool	0,45	0,5	2,0	2,0	0,75	0,75	2,0	1,0		0,75
Warmtenet	1,0	0,5	1,50	2,0	0,75	0,75	1,5	0,75	0,75	

Op basis van deze kentallen en een gestandaardiseerd wegprofiel met daarin de positie van de leidingen is aangenomen dat 5 meter breedte voldoende ruimte biedt voor een warmtenet, naast de kabels (telecom, elektra) en leidingen (drinkwaterleiding, riool en gasleiding). Dit resulteert in een eenvoudig beoordelingsschema met betrekking tot de geschiktheid van de ondergrond voor warmtenetten (tabel 3.7). Op basis van bovenstaande is per weg(deel) ingeschat hoeveel ruimte er onder de weg nog beschikbaar is.



Beschikbare ruimte in de ondergrond

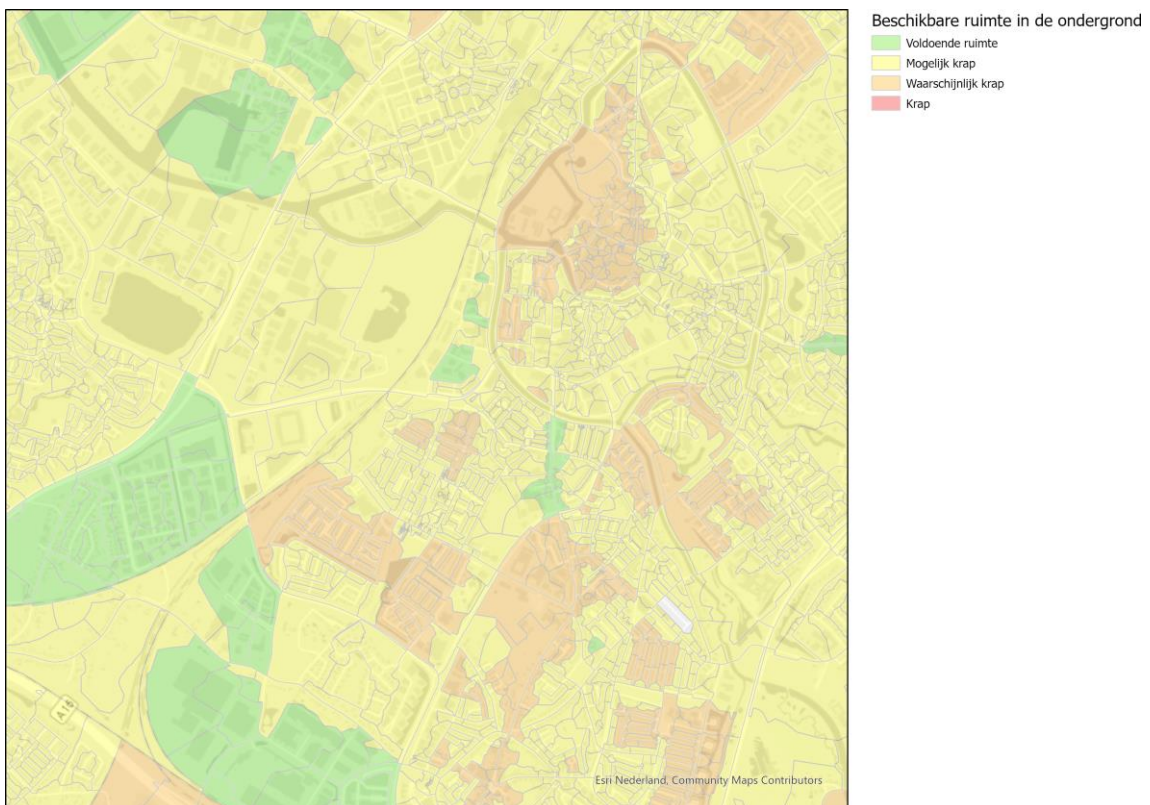
- Voldoende ruimte
- Mogelijk krap
- Waarschijnlijk krap
- Krap

Tabel 3.7 Beoordelingsschema geschiktheid van de ondergrond voor warmtenetten

Type weg	Gegeven breedte	Gevel in deze breedte	Bomen in deze breedte	Gevel in 2m buffer	Bomen in 2m buffer	Gevel noch bomen in breedte+buffer
Snelwegen	16 m	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Regionale wegen	16 m	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte
Lokale wegen	9 m	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte
Woonstraten	7 m	Mogelijk krap	Mogelijk krap	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte	Voldoende ruimte
Fietspaden en landwegen	5 m	Krap	Krap	Mogelijk krap	Mogelijk krap	Voldoende ruimte
Wandelpaden	3 m	Krap	Krap	Waarschijnlijk krap	Waarschijnlijk krap	Mogelijk krap
Overige	0					

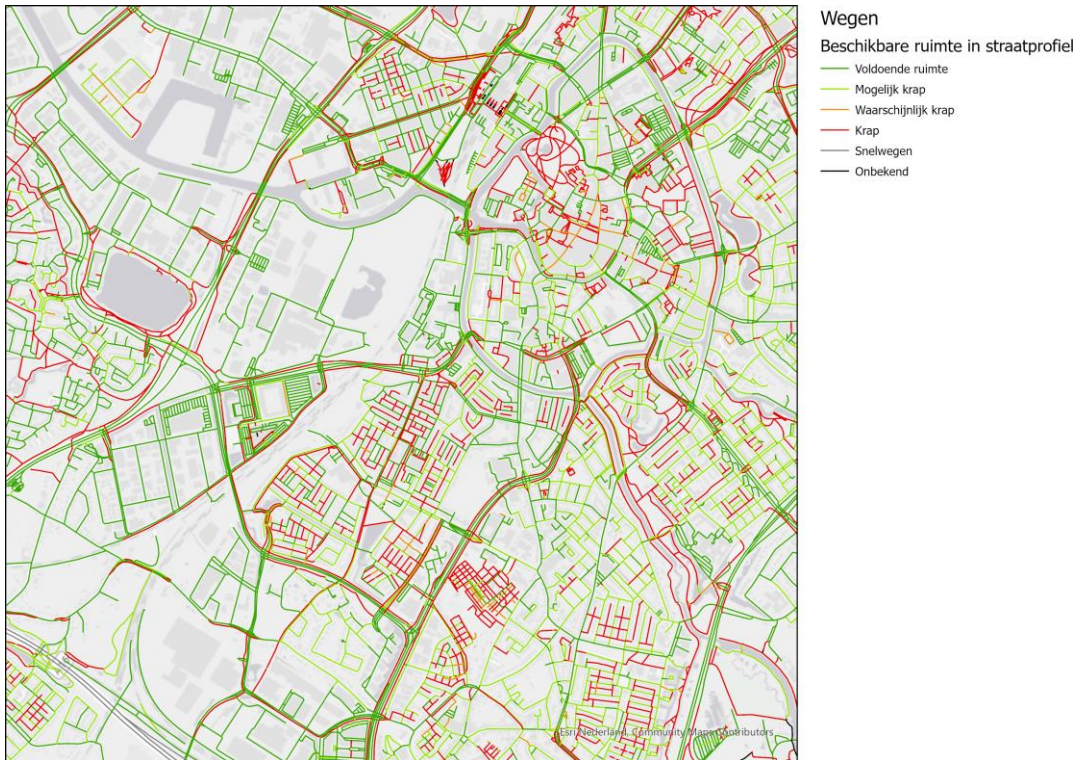
Zowel in de Startanalyse als de Transitievisies Warmte worden de resultaten op buurtniveau gepresenteerd. Om daarbij aan te sluiten is de ondergrondgeschiktheid ook in eerste instantie op dat niveau gemaakt. Dit blijkt echter een te groot schaalniveau om die gebieden eruit te lichten waar de ruimte knelt. Daarom is voor het postcode5-niveau (16) gekozen. Hierbij komen de gebieden waar ondergrondse ruimte nijpend zou kunnen zijn beter naar voren.

Op basis van bovenstaande analyse is een eerste versie van de tweede methode voor een ondergrondgeschiktheidskaart gemaakt voor een gemeente (figuur 3.2). Deze kaart geeft een indicatie van de ondergrondse geschiktheid voor een warmtenet. De kaart laat zien dat voor een aanzienlijk aantal wijken er mogelijk krapte is in de ondergrond. Echter, deze kaart is niet gevalideerd. Validatie zou inhouden dat gekeken wordt of de inschatting van de ruimte in de ondergrond ook klopt met de situatie in werkelijkheid.

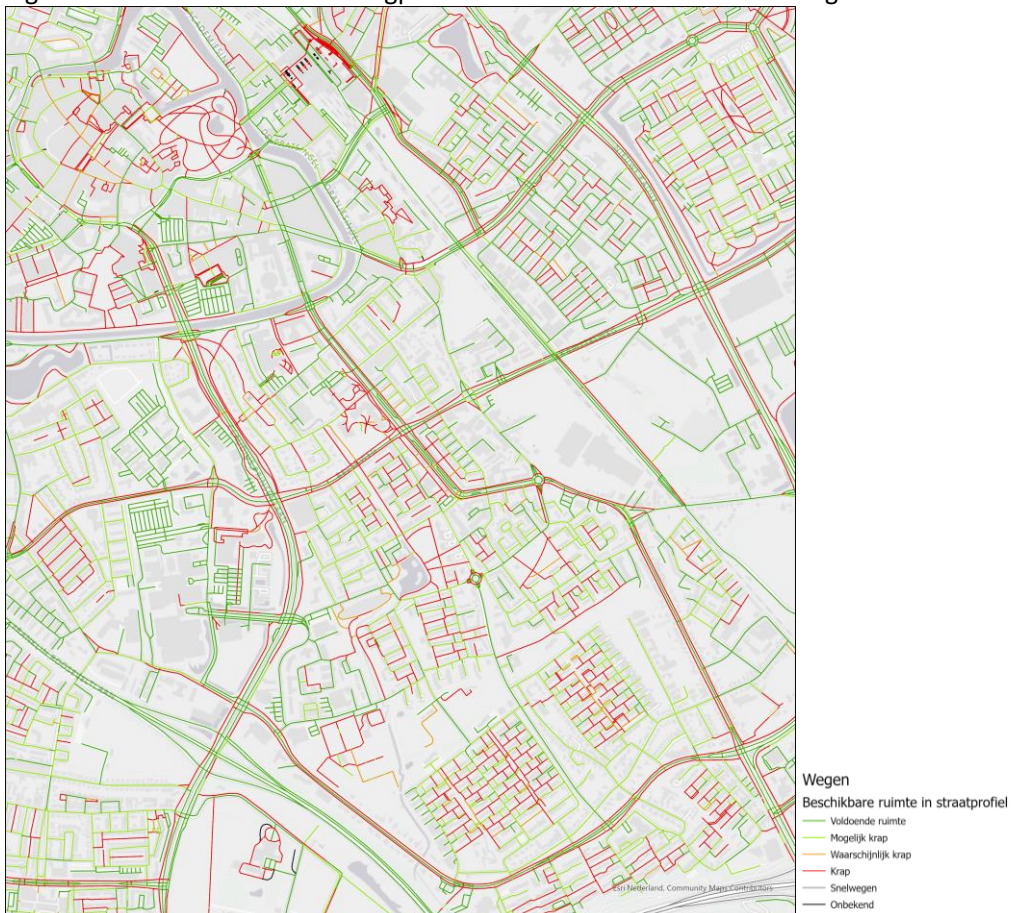


Figuur 3.2 Conceptuele ondergrondgeschiktheidskaart voor postcode 5 gebieden

Deze kaart is naar aanleiding van de expertworkshop (zie volgend hoofdstuk) aangepast. De indicatie (voldoende ruimte, mogelijk krap, waarschijnlijk krap en krap) die in figuur 3.2 gekoppeld is aan de postcode5-gebieden is in de kaartbeelden van figuur 3.3 en 3.4 gekoppeld aan de wegen zelf. De ondergrondgeschiktheidskaart geeft een indicatie aan van beschikbare ruimte. Hieruit valt op te maken dat voor een heel aantal wegen in de bekeken gemeente de ruimte onder wegen (te) krap is om een warmtenet aan te leggen. Deze ondergrondgeschiktheidskaart geeft daarmee een vroeg signaal af dat voor een aantal wegen er niet zondermeer van uit kan worden gegaan dat er voldoende ruimte is. Dat kan consequenties hebben voor de tracés (omleidingen) of mogelijk een ondergrondse herordening.



Figuur 3.3 Beeld van de in het wegprofiel beschikbare ruimte voor aanleg van een warmtenet



Figuur 3.4 Beeld van de in het wegprofiel beschikbare ruimte voor aanleg van een warmtenet in en rond het centrum

4. Reflectiesessie met experts

Om de methodes en de resultaten beter te valideren is een reflectiesessie met aantal ervaringsdeskundigen³ op het gebied van aanleg van warmtenetten en andere ondergrondse infrastructuur georganiseerd. Met deze groep is ingegaan op de methodes en betrouwbaarheid van deze resulterende kaarten. Hieruit zijn de volgende aanbevelingen naar voren gekomen:

- Er dient rekening gehouden te moeten worden met de diameters van de warmtenetleidingen. Vooral is het van belang om onderscheid te maken tussen de primaire transportleidingen en de secundaire distributienetten. Bij het aanleggen van een warmtenet worden de primaire leidingen vooral onder hoofdroutes aangelegd (wegen, vooral rijbaan) en de secundaire lopen via de straten.
- De obstakels bij aanleg warmtenet zijn naast kabels en leidingen en ondergrondse objecten ook spoorlijnen, provinciale en grotere wegen, dijken, damwanden, kunstwerken (duikers, tunnels) en watergangen.
- Voor het zoeken naar beschikbare ondergrondse ruimte voor warmtenetten kan ook in de buurt van de weg gekeken worden. Niet alles hoeft onder de weg ingepast te worden. Vaak wordt er ook gekeken naar groenstroken, of dieper in de ondergrond.
- Daarnaast zijn voor de inschatting van kosten ook van belang:
 - Het type bestrating. Als het kan wordt aanleg onder asfalt vermeden
 - Het type benodigde bemaling om kabels en leidingen droog te leggen
 - De aanwezigheid van slappe bodems
 - De in de ondergrond aanwezige verontreinigingen

Hoe concreter de mogelijke aanleg van een warmtenet wordt, hoe meer informatie en detail gebruikt wordt om de kansen en mogelijke ligging in beeld te brengen. Naarmate je verder in het proces komt worden de volgende zaken steeds belangrijker:

- *Klic-data*: In de praktijk liggen de kabels en leidingen nooit zo strak als op de kaart aangegeven is. Ook stuit het gebruik van de data soms nog op bezwaren van de beheerders.
- *Wegbeheer*: Door deze partij te betrekken komt naar voren of zij per se iets ergens niet willen, zoals langdurige wegafsluitingen of in verband met toekomstige herinrichtingsplannen.
- *Schouw*: Er zal altijd buiten naar de locaties gekeken worden. De kaarten zijn vooral indicatief. De bovengrondse infrastructuur, zoals elektriciteitshuisjes, staan vaak niet op dergelijke kaarten. Bij het inzoomen op gebieden blijkt dat waar indicatief weinig ruimte lijkt te zitten er in de praktijk geregeld nog wel ruimte te vinden is. Als er nog in de breedte 1 à 2 meter ruimte beschikbaar is, dan is het mogelijk om een warmtedistributienet aan te leggen. Deze 1 à 2 meter is dus flink minder dan waarmee gewerkt is in de kaarten (zie tabel 3.7, figuren 3.2-3.4), waardoor deze dus een negatiever beeld geven dan wat de experts inschatten.

³ Experts namen deel van: SVP (duurzaam warmteleverancier Purmerend eo), Ontwerp en Omgeving (Milieutechnisch bureau op gebied van water en riool), Stichting Mijnaansluiting (ketensamenwerking netwerkbeheerders), Evides (Waterbedrijf), HVC groep (energieleverancier, warmtenetten), Vattenval/Eneco (netwerkarchitect).

5. Conclusies en outlook

Deze notitie laat de tussenstand zien van het onderzoek naar instrumentarium om vroegtijdig in de planontwikkeling rond warmtenetten een indicatie te geven van de geschiktheid van de ondergrond. Daarbij is voornamelijk gekeken naar de geschiktheid voor warmtenetten en (nog) niet naar de ondergrondse geschiktheid van opslag (WKO) en bronnen (zoals geothermie). Op basis van deze tussenstand trekken we de volgende conclusies.

Conclusie met betrekking tot het gebruik van de ondergrondgeschiktheidskaart

Er is een behoefte om vroegtijdig in het planningsproces een indicatie te hebben of warmtenetten wel gaan passen. In een vroege fase hoeft dit geen gedetailleerde data te zijn, maar een globaal beeld, waaruit blijkt dat er eventueel beperkingen te verwachten zijn. Dat kan namelijk van invloed zijn op de kostenberekeningen die ten grondslag liggen aan de transitievisies warmte, dus al in de fase van visie- en strategievorming. Er is in deze fase geen behoefte aan detailinformatie en tijdrovende ruimtelijke analyses op basis van Klic-data. Dit komt pas in beeld in latere fasen als leidingtracés ontworpen moeten worden. Tot die tijd zou een dergelijke *ondergrondgeschiktheidskaart* zinvol kunnen zijn.

Conclusie met betrekking tot betrouwbaarheid

De ondergrondgeschiktheidskaart geeft voor een bepaald gebied een vroege indicatie van de beschikbare ruimte voor een warmtenet onder de wegen. Dit kan consequenties hebben voor de tracés van de leidingen, of aanleiding zijn voor een ondergrondse herordening. Dat brengt extra kosten met zich mee. De ondergrondgeschiktheidskaart is daarmee ook een risicosignaalkaart op extra (aanleg)kosten. De huidige versie van de ondergrondgeschiktheidskaart is echter nog niet gevalideerd en de betrouwbaarheid is daarom lastig in te schatten. De huidige ondergrondgeschiktheidskaart is vanwege deze redenen nog niet gepubliceerd.

Conclusie met betrekking tot doorontwikkeling

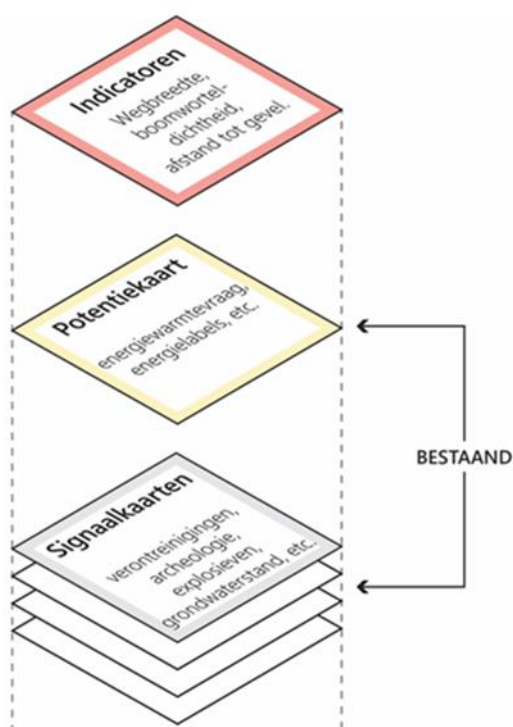
Op basis van de feedback van expert zijn aanbevelingen gedaan om te kaart te verbeteren:

- Andere bekende obstakels bij de aanleg van een warmtenet toevoegen aan de kaart, zoals spoorlijnen, provinciale en grotere wegen, dijken, damwanden, kunstwerken (duikers, tunnels) en watergangen.
- De nog beschikbare ruimte in relatie zien tot de (verwachte) diameter, met name het onderscheid tussen transportleidingen en distributienet.
- Additionele ondergrondse ruimte in kaart brengen die gebruikt kan worden naast de ruimte onder wegen.
- De koppeling tussen ondergrondfactoren en risico op hogere kosten (binnen Warming Up wordt hier onderzoek naar gedaan. Echter tijdens het verschijnen van deze memo zijn de uitkomsten nog niet bekend. Relevante resultaten worden wel in de handleiding voor project 6C3 over inpassing in de ondergrond meegenomen).

Outlook

De ondergrondgeschiktheidskaart kan een handig instrument zijn om energiebeleid en ondergrond bodembeleid bij elkaar te brengen in een vroegtijdig stadium. Om een dergelijke ondergrondgeschiktheidskaart verder te ontwikkelen, is in deze studie aangegeven welke data nog extra toegevoegd zou moeten worden. Het instrument waar naar toe gewerkt zou kunnen worden is weergegeven in figuur 4.1, waarbij de ondergrondgeschiktheidskaart gekoppeld wordt aan de potentiekaarten zoals de Startanalyse en de kaarten uit de Transitievisies Warmte. Uit die laatste kaarten kunnen indicatieve leidingdiameters afgeleid worden die ingepast zouden moeten worden. Op basis daarvan zou een indicatie van de meerkosten gegeven kunnen worden.

Dit zijn echter studies die momenteel al door adviesbureaus worden ontwikkeld en uitgevoerd en niet doorontwikkeld hoeven te worden binnen het WarmingUP-kennisprogramma.



Figuur 4.1 Doorblik voor de ondergrondgeschiktheidskaart.

Tot slot, op dit moment wordt binnen WarmingUp gewerkt aan een extra module van de design toolkit (warming up thema 1) die ingaat op strategische vraagstukken met betrekking tot warmte-transitiepaden. De ondergrondse ruimtecomponent zou daar in meegenomen moeten worden. De ondergrondgeschiktheidskaart zal daarom als (concept)signaalkaart worden toegevoegd.

Daarnaast zullen de ondergrondgeschiktheidskaarten opgenomen worden in de *handreiking inpassing in de ondergrond* die aan het eind van WarmingUp zal worden opgeleverd, als een van de inzetbare instrumenten.

6. Bronnen

- (1) Van der Brugge et al (2021) Transitie naar Aardgasvrij. Vraagstukken bij de opschaling van collectieve warmtesystemen. Deltares, TNO en Saxion. Rapport WarmingUP.
https://www.warmingup.info/documenten/van-der-brugge-et-al-2021-transitie-naar-aardgasvrij-vraagstukken-bij-de-opscaling-van-collectieve-warmtesystemen_warmingup_t6p6c1.pdf
- (2) PBL, Startanalyse aardgasvrije buurten versie 2020:
https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-startanalyse-aardgasvrije-buurten-versie_2020-24-september-2020_4038.pdf
- (3) Vesta-Mais: <https://www.pbl.nl/modellen/vesta>
- (4) <https://www.stantec.com/nl/services/soil-underground/rio>
- (5) <https://tteconsultants.nl/projecten/974-nationaal-complexiteitskaart-ondergrond>
- (6) <https://comsof.com/heat/>
- (7) <https://www.wareco.nl/klimaat/klimaat,-ruimte-in-de-ondergrond>
- (8) <https://extra.katwijk.nl/wonen-verkeer-en-leefomgeving/duurzaamheid/warmtevisie>
- (9) Klimaat-effectatlas, Wijktypologie:
<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=9b0a61fcbcf140c3951c2272782f9474>
- (10) DNA van de stad en omgeving, voorbeeld Leiden:
<https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/bodem-ondergrond/pilot-leiden/>
- (11) CBS Wijk en buurtstatistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/wijk-en-buurtstatistiek>
- (12) PBL, Ruimtelijke dichtheden en functiemenging in Nederland (RUDIFUN):
https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-ruimtelijke-dichtheden-en-functiemenging-in-nederland-rudifun_3654.pdf
- (13) OpenStreetmap (OSM): www.openstreetmap.org/export#map=5/51.500/-0.100
- (14) RIVM, Bomen in Nederland:
<https://data.rivm.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/89611780-75d6-4163-935f-9bc0a738f7ca>
- (15) Kadaster, Basisregistratie adressen en gebouwen (BAG):
<https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/adressen-en-gebouwen>
- (16) Postcode 5 gebieden: https://hub.arcgis.com/datasets/b459d56a0c9c4cbd98dec1c0cced47ed_0

ⁱ Het bomenbestand is afgeleid van AHN (ongefilterd) voor gridcellen van 10x10m. Daaruit is alle vegetatie hoger dan 2,5 m als boom beschouwd. Lagere vegetatie is bestempeld als struik en in een ander bestand opgenomen.