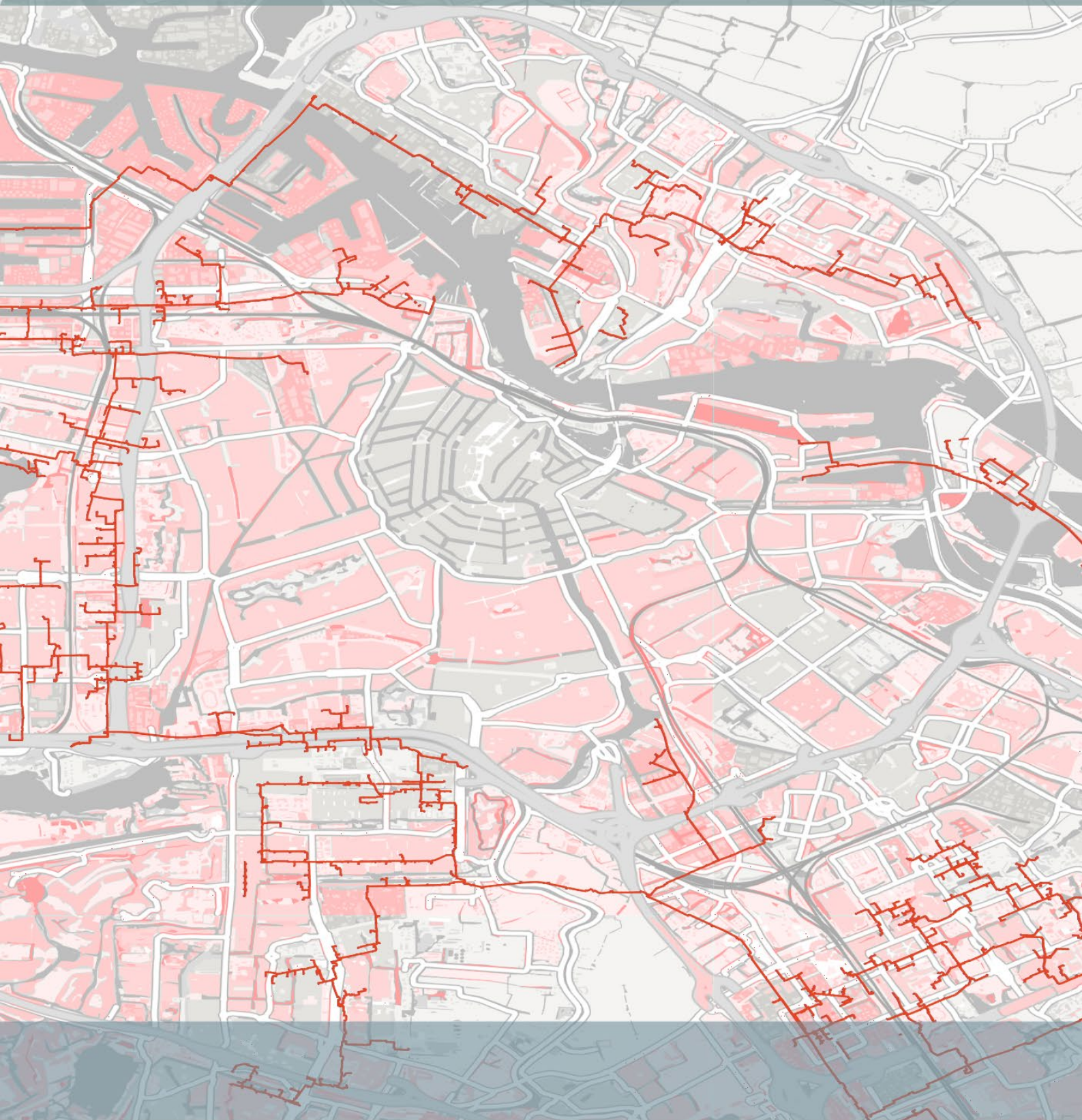


Optimale berekening voor beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet

Een onderzoek naar factoren en effecten in Amsterdam



Optimale berekening van beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet

Een onderzoek naar factoren en effecten in Amsterdam

Naam:	Joran van Duin
Studentnummer:	3027785
Opleiding:	Geo Media & Design
Opdrachtgever:	Aeres Hogeschool
Plaats:	Krommenie
Datum:	14-01-2023
Afstudeerdocent:	Jan Willem van Eck
Begeleider gemeente Amsterdam:	Felix Behrends

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie "Optimale berekening van beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet: Een onderzoek naar factoren en effecten in Amsterdam" waarin ik onderzocht heb hoe de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet optimaal kan worden berekend.

Ik wil Jan Willem van Eck bedanken voor zijn uitstekende communicatie en hulp tijdens dit proces. Ik ben ook dankbaar voor de steun van Felix Behrends, zowel op persoonlijk vlak als voor de scriptie vanuit de Gemeente Amsterdam, en ik wil de Gemeente Amsterdam bedanken voor het verlenen van toegang tot hun tools.

Het schrijven van deze scriptie was voor mij een uitdagend proces, omdat ik te maken heb gehad met het overlijden van een dierbaar persoon tijdens deze periode. Ondanks deze moeilijke omstandigheid ben ik dankbaar voor de ondersteuning van mijn begeleider en de andere personen die mij hebben geholpen om dit werk te voltooien.

Ik hoop dat de bevindingen van dit onderzoek nuttig zullen zijn voor degenen die betrokken zijn bij de planning en de aanleg van warmtenetten in Amsterdam, en dat het zal bijdragen aan een beter begrip van hoe de beschikbare ruimte op een optimale manier gebruikt kan worden.

Ik wens u veel plezier toe bij het lezen van mijn afstudeerwerkstuk.

Joran van Duin

Krommenie, 14 januari 2023

Inhoudsopgave

LIJST VAN AFKORTINGEN	5
LIJST VAN TEKENS	6
SAMENVATTING	7
SUMMARY	8
HOOFDSTUK 1 - INLEIDING	9
1 ACHTERGRONDINFORMATIE	9
1.1 DE ONDERGRONDSE KABEL- EN LEIDINGEN INFRASTRUCTUUR	10
1.2 WAT IS EEN WARMTENET?	11
1.3 KNOWLEDGE GAP	15
1.4 AFBAKENING	16
1.5 PROBLEEMSTELLING	17
1.6 DOELSTELLING	17
HOOFDSTUK 2 – MATERIAAL & METHODE	19
2.1 DEELVRAAG 1	19
2.2 DEELVRAAG 2	19
2.3 DEELVRAAG 3	20
HOOFDSTUK 3 - RESULTATEN	22
3.1 WAT BEPAALT DE BESCHIKBARE RUIMTE IN DE ONDERGROND?	22
3.1.1 <i>Wat is de ondergrond?</i>	22
3.1.2 <i>Wat zit er in de ondergrond?</i>	22
3.1.3 <i>Waar moet rekening mee gehouden worden bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond?</i>	24
3.2 HOE WORDT NU DE BESCHIKBARE ONDERGRONDSE RUIMTE IN KAART GEBRACHT?	27
3.3 WAT ZIJN DE KENMERKEN VAN EEN REKENKUNDIG MODEL, DAT EEN OPTIMAAL RESULTAAT VOOR NIEUW WARMTENET OPLEVERT?	30
3.3.1 <i>Factoren en kenmerken</i>	30
3.3.2 <i>Formule en code</i>	31
3.3.3 <i>Nulmeting</i>	32
3.3.4 <i>Datasets</i>	33
3.3.5 <i>Resultaten en vergelijking</i>	34
HOOFDSTUK 4 - DISCUSSIE	37
WAT BEPAALT DE BESCHIKBARE RUIMTE IN DE ONDERGROND?	37
HOE WORDT NU DE BESCHIKBARE ONDERGRONDSE RUIMTE IN KAART GEBRACHT?	37
WAT ZIJN DE KENMERKEN VAN EEN REKENKUNDIG MODEL, DAT EEN OPTIMAAL RESULTAAT VOOR NIEUW WARMTENET OPLEVERT?	39
HOOFDSTUK 5 – CONCLUSIE EN AANBEVELING	41
5.1 EINDCONCLUSIE	41
5.2 AANBEVELING	42
5.3 VERVOLGONDERZOEK	42
LITERATUURLIJST	43
BIJLAGEN	49
BIJLAGE I	49
BIJLAGE II	50
BIJLAGE III	52
BIJLAGE IV	54
BIJLAGE V	56
BIJLAGE VI	58

BIJLAGE VII.....	61
BIJLAGE VIII.....	63
BIJLAGE IX.....	66
BIJLAGE X.....	70

Lijst van afkortingen

DWA	Droogweerafvoer; afvoer van sanitair water; afvalwater
GIS	Geografisch informatiesysteem
HT	Hoge Temperatuur
KLIC	Kabel en Leiding Informatie Centrum
LT	Lage Temperatuur
M ¹	Strekkende meter
MPa	Megapascal; 1 miljoen Pascal
MT	Midden-Temperatuur
NEN	Nederlandse Norm
RWA	Regenwaterafvoer; afvoer van regenwater; hemelwater
WOS	Warmteoverdrachtstation
ZLT	Zeer Lage Temperatuur

Lijst van tekens

Σ	Som
$\leq$	Kleiner of gelijk aan
μ	Gemiddelde
σ	Standaarddeviatie

Samenvatting

In dit afstudeeronderzoek is onderzocht hoe de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet optimaal kan worden berekend. De hoofdvraag luidde: "Hoe kan de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet optimaal worden berekend?" De doelstelling van het onderzoek was om inzicht te genereren in de factoren die meegenomen dienen te worden bij het ontwikkelen van een rekenkundig model voor de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet. Een nevendoelestelling was om te onderzoeken wat voor effect dit rekenkundig model had op de kosten en aantal benodigde meters warmtebuis.

Uit het onderzoek is gebleken dat er veel factoren zijn die invloed hebben op de beschikbare ruimte in de ondergrond, waaronder bovengrondse objecten zoals bomen en ondergrondse afvalcontainers, de horizontale indeling van de ondergrondse ruimte, waarbij rekening moet worden gehouden met de verplichte onderlinge afstanden tussen kabels, leidingen en buizen. Het blijkt echter moeilijk om de beschikbare ruimte via een rekenkundig model goed in kaart te brengen, onder andere door onjuiste en/of verouderde data. Bovendien wordt de planning van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond voornamelijk gedaan op basis van praktijkervaring, en niet via het gebruik van een rekenkundig model.

Uit het onderzoek is verder gebleken dat het gebruik van een rekenkundig model in de praktijk geen optimaal resultaat oplevert en daarom niet geschikt is voor het optimaliseren van een warmtenet. Het gebruik van een rekenkundig model levert in de praktijk geen optimaal resultaat op en leidt zelfs tot hogere kosten en meer buisleidingen dan bij het gebruik van de huidige methoden. Dit komt doordat de complexiteit van de ondergrond en de niet-accurate data van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond niet voldoende meegenomen kunnen worden in het model.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat het ontwikkelen van een rekenkundig model om de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet in kaart te brengen, op dit moment niet haalbaar is. Er zijn te veel factoren die invloed hebben op de beschikbare ruimte en er is te weinig accurate data beschikbaar om een betrouwbaar model te ontwikkelen. Het is daarom aan te raden om voor het bepalen van de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet te blijven vertrouwen op de huidige methoden, zoals praktische ervaring en het inwinnen van informatie bij relevante partijen.

Summary

The focus of this research was to understand how to calculate the available space for the construction of a district heating network in an optimal way. The research aimed to identify the factors that should be considered in the calculation of the available space for a district heating network and to assess the effectiveness of using such a calculation. An additional aim was to investigate whether it is possible to develop a mathematical model to map the available underground space, using existing infrastructure in the underground.

The research found that many factors that influence the available underground space, including aboveground objects such as trees and underground waste containers, and the horizontal layout of the underground space, considering the required distances between cables, pipes, and tubes. However, it is difficult to map the available space through a mathematical model, due in part to incorrect or outdated data. In addition, the planning of cables, pipes, and tubes in the underground is mainly based on practical experience, rather than the use of a mathematical model.

The research further showed that using a mathematical method does not yield optimal results and is therefore not suitable for optimizing a district heating network. The use of a mathematical model in practice does not result in optimal outcomes and can even lead to higher costs and more pipes than using current methods. This is due to the complexity of the underground and the lack of accurate data on cables, pipes, and tubes in the underground that can be adequately considered in the model.

Based on the results of this research, it can be concluded that the development of a mathematical model to map the available space for the construction of a district heating network is not feasible at this time. There are too many factors influencing the available space and there is too little accurate data available to develop a reliable model. It is therefore recommended to use current methods for determining the available space for the construction of a district heating network, such as practical experience and consultation with relevant experts.

Hoofdstuk 1 - Inleiding

1 | Achtergrondinformatie

In 2015 kondigde de Verenigde Naties de Sustainable Development Goals (Nederlands: Duurzame Ontwikkelingsdoelen), vanaf hier SDG genoemd, aan. De SDG's, bestaande uit een zeventiental doelen, dienen als een soort kapstok om de wereld in 2030 een betere plek te maken (SDG Nederland, 2022; United Nations, 2020). In Figuur 1 is een overzicht te vinden van alle zeventien doelen van de Verenigde Naties. De zevende doelstelling van de SDG's omvat "betaalbare en duurzame energie", dit is de SDG waar dit onderzoek binnen zal vallen. In 2021 treedt de Energiewet in Nederland in werking, welke moet bijdragen aan het behalen van de zevende doelstelling van de SDG's (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021).

Figuur 1 - Sustainable Development Goals



Sustainable Development Goals, 2019 (bron: UN.org)

Als aanvulling op de Energiewet kondigde het kabinet op 17 mei 2022 jl. aan dat vanaf 2026 huidige centrale verwarmingsinstallaties, vanaf hier cv-installaties, die aan vervanging toe zijn vervangen moeten worden door een duurzamere variant (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2022). Deze duurzamere varianten bestaan volgens het kabinet uit de volgende drie opties: hybride warmtepomp, welke nog deels op gas werkt, volledig elektrische warmtepomp of de aansluiting op een warmtenet.

De reden waarom vastgoedeigenaren verplicht worden heeft tot het plaatsen van duurzamere varianten van cv-installaties te maken met dat gebouwen goed zijn voor 40% van de mondiale energiebehoefte. Hieraan dragen gebouwen als kantoorpanden en woningen voor 30% bij aan de totale mondiale CO₂-emissie (Li et al., 2017). In het Klimaatakkoord van Parijs uit 2015 is er afgesproken dat de mondiale opwarming tot 2 graden Celsius beperkt dient te blijven, met als streefwaarde 1,5 graden Celsius (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022; United Nations, z.d.). De Europese Unie heeft

besloten om samen te werken om deze doelen te behalen. In dit besluit is opgenomen dat in 2030 de emissie van broeikasgassen (waaronder CO₂) met minimaal 40% gereduceerd moet worden. Nederland streeft voor hetzelfde doel naar een reducering van 49% van de broeikasgassen en wil dit zelfs verhogen naar 55% (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Om de emissie van broeikasgassen terug te dringen kijkt de overheid naar de manier hoe gebouwen verwarmd worden. Een warmtenet is een van de mogelijke opties die het kabinet geeft als duurzame oplossing.

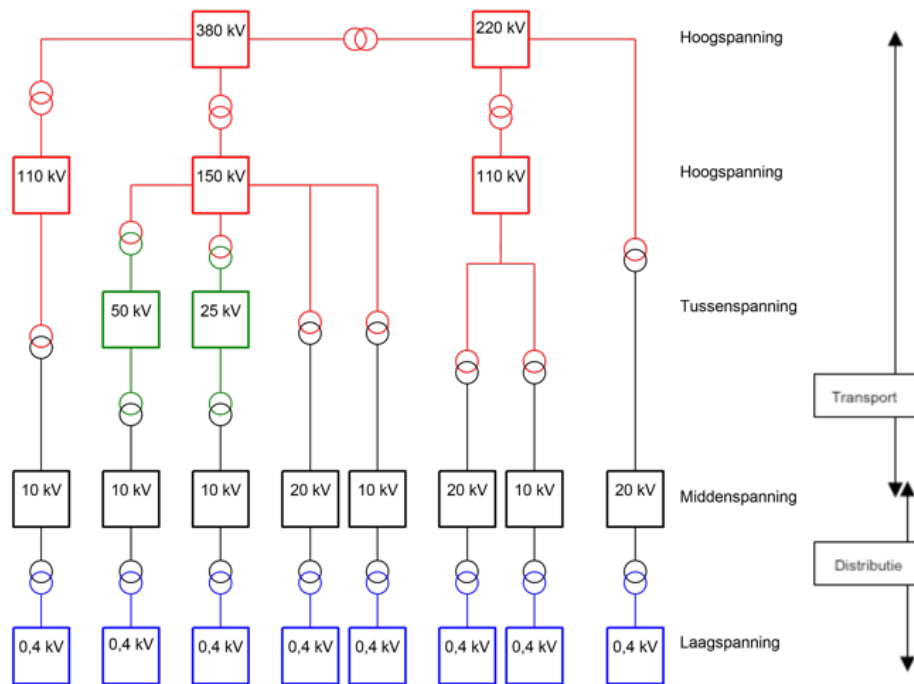
Duurzame toepassingen voor het verwarmen van de gebouwen is een belangrijk onderwerp waar in de nabije toekomst veel aandacht naar uitgaat. Het behalen van de SDG's zijn hierbij de belangrijke aanjager om dit op relatief korte termijn te bewerkstelligen. Het uitrollen van warmtenetten kan hieraan bijdragen, maar wat is een warmtenet precies en hoe zit dit in elkaar?

1.1 De ondergrondse kabel- en leidingen infrastructuur

Infrastructuur in de Nederlandse taal wordt omschreven door VanDale (2022) als het geheel van auto-, spoor-, waterwegen, havens, vliegvelden, elektrische installaties, kabels, en nog veel meer. Het Instituut voor de Nederlandse Taal (2022) omschrijft infrastructuur als "Geheel van primaire voorzieningen en installaties voor algemeen en gemeenschappelijk gebruik in een bepaald land of gebied, maar ook in een bepaalde bedrijfstak, branche e.d., die voor de samenleving en het functioneren ervan van belang zijn, ..." Een warmtenet valt volgens de bovengenoemde omschrijvingen van zowel VanDale als het Instituut voor de Nederlandse Taal onder infrastructuur: een warmtenet is een geheel aan leidingen die warm water vervoert en afgeeft (Ennatuurlijk, z.d.-a; Warmtenetten voor beginners, 2022).

Infrastructuur gaat over netwerken en de benodigde hulpmiddelen om deze netwerken te kunnen gebruiken en/of te onderhouden. Een deel van deze infrastructuur is bovengrondse infrastructuur, zoals waterwegen, vliegvelden, het wegennet en havens, maar een deel van de gehele infrastructuur ligt ondergronds. De ondergrondse infrastructuur omvat: riolering (zowel voor afval- als hemelwater), gas, water, warmte, telecommunicatie en elektriciteit (Egyed et al., 2008). Egyed et al. (2008) stellen dat de ondergrondse infrastructuur niet als een volledig netwerk gezien kan worden, maar dat het bestaat uit allerlei systemen. Voorbeelden van dit soort systemen in de ondergrond is het elektriciteitssysteem of het rioleringssysteem. Deze systemen, waar een warmtenet een eigen systeem is, kunnen verder onderverdeeld worden in verschillende subsystemen. Een voorbeeld van een dergelijk subsysteem binnen een systeem is te vinden in het elektriciteitsnetwerk. Volgens Energiebeheer Nederland (2019) is het elektriciteitsnetwerk onder te verdelen in een aantal subsystemen: extra hoogspanning, hoogspanning, tussenspanning, midden spanning en laagspanning. Deze subsystemen van elektriciteit zijn terug te vinden in Figuur 2. De subsystemen zijn aan elkaar aangesloten door middel van een tussenstation, verder zijn het onafhankelijke subsystemen.

Figuur 2 – Substelsiem van het elektriciteitsnetwerk

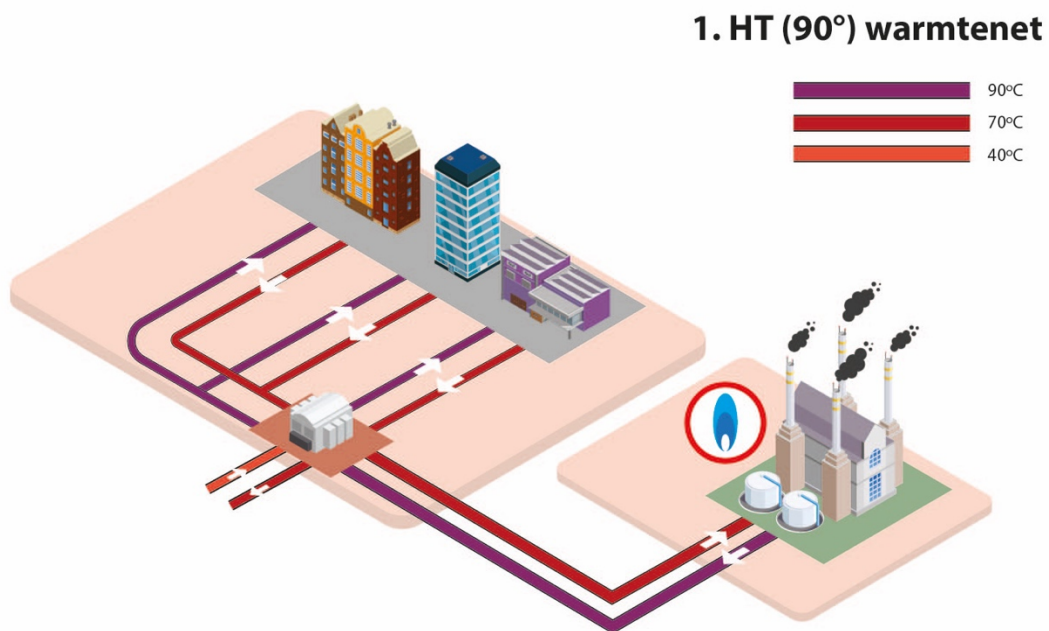


Spanningsniveaus en subsystemen van het elektriciteitsnetwerk (bron: phasetophase.nl)

1.2 Wat is een warmtenet?

Een warmtenet, ook wel bekend onder de term stadsverwarming, is een netwerk van leidingen waar warm water doorheen stroomt (Ennatuurlijk, z.d.-a; Warmtenetten voor beginners, 2022). Dit water wordt op een centrale locatie opgewarmd en gedistribueerd naar gebouwen en woningen. De centrale locatie of de bron, kunnen verschillende systemen zijn: geothermie, warmtepompen, zonneboilers of restwarmte van industrie (Finny et al. 2013). Hiernaast noemt het International Energy Agency (2021) bio-energie als mogelijke bron van warmte waar een warmtenetwerk gebruik van kan maken. Deze manieren van het opwekken van warmte verwarmen het water dat door de leidingen gaat stromen. Een schematische tekening hoe een warmtenet net werkt is opgenomen in Figuur 3. In dit figuur is een schematisch overzicht te vinden van een Hoog Temperatuurwarmtenet. Over de warmtenetten, temperatuurclassificatie wordt verder in deze paragraaf op ingegaan.

Figuur 3 - Voorbeeld hoog temperatuur warmtenet



Schematisch overzicht van een hoog temperatuur warmtenet (2021). Door: Tim Ruijs, 2021

Het opgewarmde water wordt gedistribueerd door het netwerk aan leidingen. De leidingen worden aangesloten op woningen. Bij dit type aansluiting kan onderscheid gemaakt worden tussen twee verschillende aansluitingen: direct en indirecte aansluiting. Bij directe aansluiting gaat het warme water van de bron direct naar de te verwarmen gebouwen en woningen. Bij een indirecte aansluiting wordt er een warmtewisselaar geplaatst in een warmteoverdrachtsstation (afkorting: WOS) tussen de bron van de warmte en woningen die op het netwerk aangesloten zitten (Finny et al., 2013).

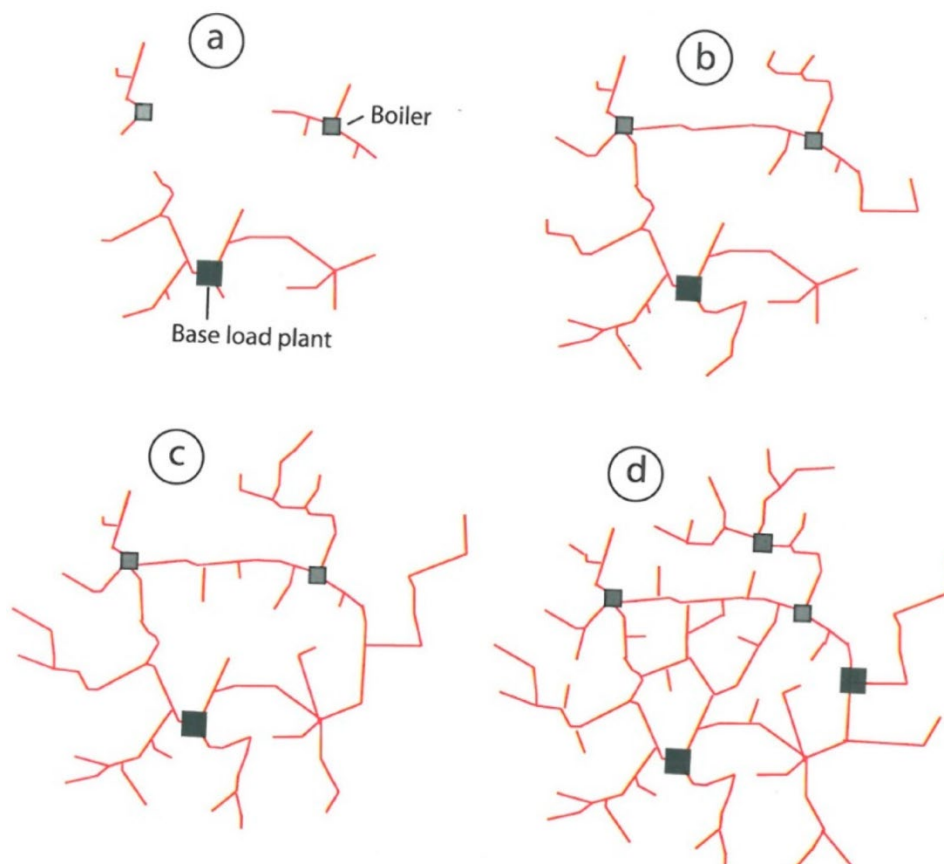
De aansluiting op het warmtenet binnen woningen gebeurt in het grootste deel van de gevallen in de meterkast. De warmteleverancier plaatst in de meterkast een warmtewisselaar (ook wel afleverset genoemd (Ennatuurlijk, z.d.; Feenstra, 2020), deze warmtewisselaar zet de warmte om van de externe buizen naar de interne buizen van de woning.

De warmtewisselaar valt in het grootste deel van de gevallen binnen één van de twee categorieën wisselaars: (1) directe verwarming van de buizen of (2) indirecte verwarming van de buizen. Bij directe verwarming van de buizen liggen de buizen van buiten de woning tegen de buizen binnen de woning aan. Indirecte verwarming lijkt op directe verwarming, echter zit daar een plaat (vaak hoog-warmtegeleidend materiaal) tussen om de warmte van de buizen buiten de woning op te nemen en direct af te geven aan de koelere buizen binnen

de woning (Zhu et al., 2016). De huidige C.V.-ketel kan volledig weggehaald worden, deze is niet meer nodig bij de aansluiting op een warmtesysteem. Naast het plaatsen van deze kast zijn er geen ingrijpende verbouwingen benodigd voor de aansluiting op een warmtenet. De huidige radiatoren en thermostaat kunnen gebruikt blijven worden en hoeven dus niet vervangen te worden (Feenstra, 2020).

Een warmtenet kent dergelijke subsystemen zoals beschreven in paragraaf 1.1 niet. In warmtenetten zijn er wel onderdelen van het volledige systeem wat geclassificeerd zouden kunnen als subsystemen en dat zijn: het transport- en distributienetwerk (Lund et al., 2018). Een warmtenet bestaat hoofdzakelijk uit een boomstructuur, zie Figuur 4 [b], of een radiale vorm, zie Figuur 4 [c]. In de boomstructuur transporteert de transportleiding het warme water naar andere delen van het verzorgingsgebied. Vanaf deze transportleiding takken de distributieleidingen af (Lund et al., 2018). Bij de radiale vorm is dit niet anders. Bij de radiale vorm vertakt het net zich niet als een boom, maar is de vorm van het transportnet een cirkelvorm. Vanaf deze cirkelvorm takt het distributienet zich af. In Figuur 4 [a] zijn onafhankelijke warmtenetten te zien, deze staan niet met elkaar in verbinding. In Figuur 4 [d] is een ringstructuur te zien. Deze lijkt op de radiale vorm, maar doordat binnen (en buiten) de ring netten aan elkaar gekoppeld kunnen worden, wordt deze vorm gezien als een andere vorm dan de radiale vorm.

Figuur 4 - Verschillende uitvoeringen van een warmtenet



Verschillende soorten warmtenetten: [a] gescheiden netten, [b] boomstructuur, [c] radiale vorm, [d] ring structuur (bron: Vesterlund & Toffolo, 2017)

Binnen een warmtenet vindt er ook een classificatie plaats op basis van temperaturen. De classificaties die doorgaans gehanteerd worden zijn: High-temperature district heating (HTDH), Medium-temperature district heating (MTDH), Low-temperature district heating (LTDH) en Ultra-low-temperature district heating (ULTDH), vrij vertaald zijn dit: hoge temperatuur (HT), midden temperatuur (MT), laagtemperatuur (LT) en zeer lage temperatuur (ZLT) (Østergaard & Svendsen, 2017).

In Tabel 1 zijn de temperatuurclassificaties van warmtenetten opgenomen aan de hand bovenstaande classificaties.

Tabel 1 - Temperatuurclassificering van warmtenetten

Systeem	Aanvoertemperatuur
HT	100°C +
MT	65 – 90°C
LT	50 – 60°C
ZLT	30 – 50°C

Bron: Østergaard & Svendsen (2017)

De classificering van deze temperaturen is bij warmtenetten niet gelijk aan een subsysteem. In het geval van warmtenetten wordt er alleen gesproken van een transport- en distributiesubsysteem. (Lund et al., 2018; Østergaard & Svendsen, 2017).

Net als telefooncommunicatie, waar 4G en 5G de meest recente en bekendste vormen van zijn, kent het warmtenet meerdere generaties. De eerste generatie warmtenet gebruikte in plaats van water stoom als drager van warmte (Lund et al., 2021). Het eerste commerciële warmtenet van deze generatie werd in 1877 aangelegd in New York en wordt tot op heden nog steeds gebruikt voor het verwarmen van oudere gebouwen (Razaie & Rosen, 2012).

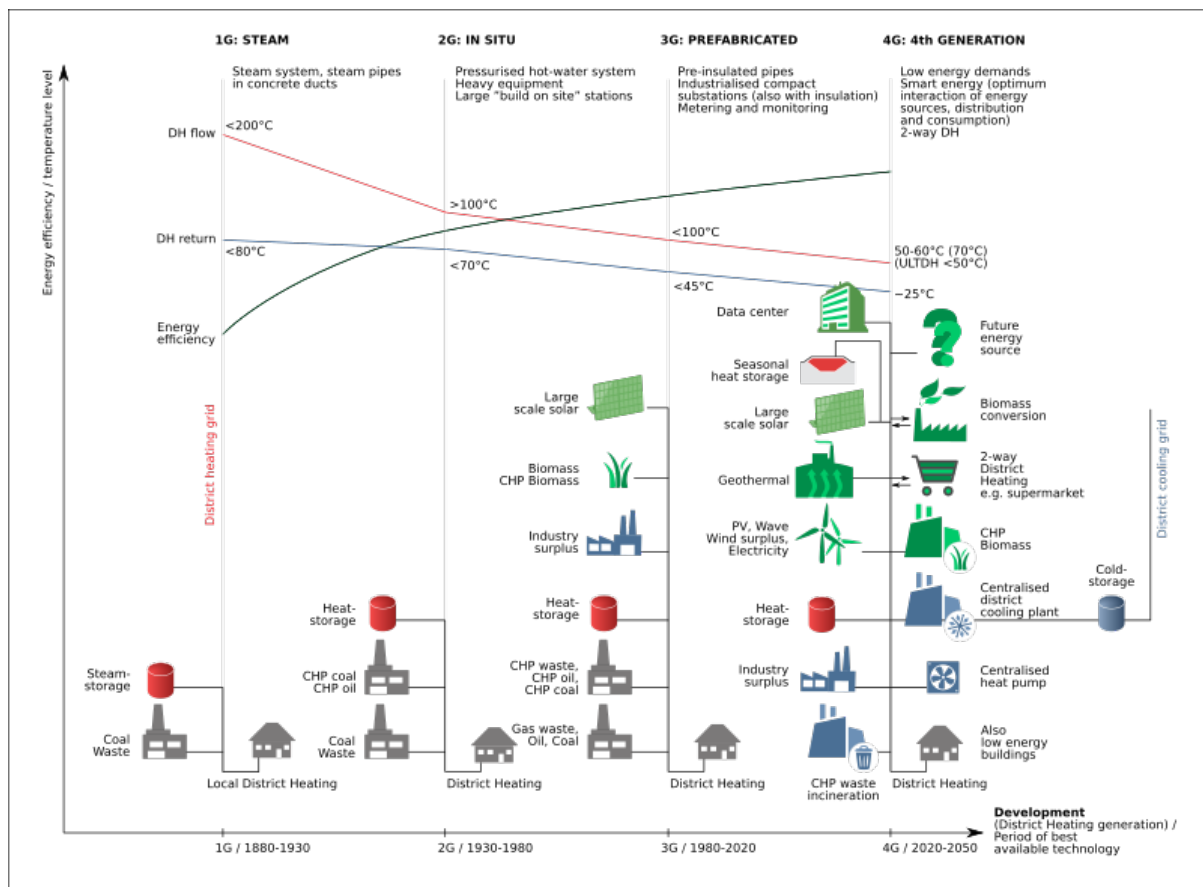
De tweede generatie warmtenetten, ontwikkeld omstreeks 1930 en breed ingezet tot ongeveer 1970, gebruikte geen stoom meer als drager van warmte. Deze generatie gebruikte onder druk gezet water als middel om warmte te distribueren. De aanvoertemperaturen van dit water zijn veelal boven de 100 graden Celsius (Lund et al., 2014). De derde generatie warmtenetten gebruikte dezelfde drager voor warmte als de tweede generatie, maar de aanvoertemperaturen van het warme water zijn veelal onder de 100 graden Celsius. Deze generatie bouwt voort op de tweede generatie en voegde daar onderstation aan het netwerk toe, waar de warmte overgezet wordt naar andere buizen. Daarnaast kunnen er meerdere bronnen, zoals geothermie en biomassa, aan het systeem toegevoegd worden om het systeem van warmte te voorzien (Lund et al., 2014).

De vierde generatie en een van de recentste warmtenetten bouwt voort op de voortgang van de derde generatie. De aan- en retourtemperatuur zijn van dit systeem lager als de derde generatie, vaak tussen 40 en 70 graden Celsius als aanvoertemperatuur (Lund et al., 2014; Lund et al., 2021). De vijfde generatie warmtenetten zijn nog niet breed in gebruik, maar dienen zich wel aan. Deze generatie kenmerkt zich door lage aanvoertemperaturen, lager dan 40 graden Celsius, gecentraliseerde seizoensopslag van warmte en de mogelijkheid tot verkoeling van gebouwen en woningen met dit warmtenet systeem (Buffa et al., 2019; Von Rhein et al., 2019). Een ander kenmerk van deze vijfde generatie is dat de

verliezen, door de lagere temperaturen, kleiner zijn dan de verliezen van vooral de tweede en derde generatie warmtenetten (Buffa et al., 2019). Een overzicht van de eerste tot en met de vierde generatie warmtenet is opgenomen in Figuur 5.

De vijfde generatie maakt vooral gebruik van het eerdergenoemde ringnetwerk, zie Figuur 4 [c] voor de visualisatie van het ringnetwerk. Dit netwerk heeft verschillende voordelen, zo kunnen er op een ringnetwerk meerdere bronnen aangesloten worden en wordt de leveringszekerheid gegarandeerd (Von Rhein et al., 2019). Daarnaast kan volgens Von Rhein et al. (2019) de warmte in een ringnetwerk bi-directioneel (in twee richtingen) stromen en kan de warmte gericht geleverd worden aan de warmtevragers.

Figuur 5 - Verschillen in generaties warmtenetten



Verschillen in de generaties van de warmtenetten, voornamelijk gefocust op de manier van warmteopwarming (bron: Lund, et al., 2014)

Zoals eerder benoemd in dit hoofdstuk wil Nederland haar CO₂-uitstoot met een groot deel verminderen en warmtenetten kunnen daar een groot onderdeel van worden. Echter, warmtenetten liggen ondergronds en hebben een bepaalde vraag naar ruimte in deze ondergrond. Hoe wordt hier mee omgegaan?

1.3 Knowledge gap

De zogeheten "knowledge gap" is het gat in de vergaarde kennis door de jaren heen waar uit onderzoek nog geen duidelijk antwoord is voortgekomen, of er is nog geen onderzoek naar gedaan.

Om te achterhalen waar de knowledge gap zat is er gezocht in de databases van Science Direct en Google Scholar. In Tabel 2 zijn de zoektermen met de daar bijbehorende aantal resultaten uit de databases terug te vinden.

Tabel 2 - Resultaten van de zoektermen in twee verschillende databases

Zoekterm ¹	Science Direct	Google Scholar
“calculate” AND “available space” AND “utilities” AND “subsurface”	78	276
“calculate” AND “subsurface space” AND “district heating”	20	32
“calculate” AND “available space” AND “subsurface” AND “district heating”	29	67

Uit het onderzoek van Olde Scholtenhuis, et al. (2018) blijkt dat er onderzoek gedaan is naar het in kaart brengen van de ondergrondse infrastructuur. In dit onderzoek is er gekeken naar de graad van precisie van de beschikbare data ten opzichte van de werkelijkheid in de ondergrond. Uit het onderzoek van Zhang et al. (2020) blijkt dat er onderzoek gedaan is naar de underground utility occupation index (UUOI) en hoe dit gemeten kan worden binnen polygonen. Dit is onderzoek gaat in op hoe de dichtheid van kabels en leidingen kan worden berekend binnen straat- en stoeppolygonen.

Vastgesteld kan worden dat er onderzoek gedaan wordt naar de ondergrond en specifiek in de combinatie met utilities (nutsvoorzieningen). 3D-modellen van de ondergrondse infrastructuur, afwijkingen tot de werkelijke ligplaats van kabels, leidingen en buizen, etc. zijn de onderwerpen waar onderzoek naar gedaan is. Er is verder weinig onderzoek gedaan naar de combinatie tussen nutsvoorzieningen en hoe deze de beschikbare ruimte voor een warmtenet beïnvloed en of hier een (gis²-)model voor ontwikkeld kan worden.

1.4 Afbakening

Een onderzoek dient afgebakend te worden om tot een concretere onderzoeksvraag te komen en om de validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek te vergroten. Het onderzoek was gericht op het in kaart brengen van de ondergrond in Nederland en specifiek Nederlandse steden door de grote mate van documenteren en aanwezigheid van (openbare) data. Daarnaast was het onderzoek gericht op het ontwikkelen van een berekening of model welke toegepast kan worden vóór de softwarematig of handmatige modellering van een warmtenet. Ook heeft het onderzoek zich gefocust op het effect van de uitkomsten van de modellering mét en zonder de ontwikkelde berekening.

Verder heeft het onderzoek plaatsgevonden binnen de grenzen van de gemeente Amsterdam. Amsterdam is de grootste stad van Nederland met een oppervlakte van 21.949,18 hectare en een inwonersaantal van 881.933 gemeten op 1 januari 2022 (Amsterdam, 2019-2022). Doordat Amsterdam de grootste stad van Nederland is, kunnen andere grote, middelgrote en kleinere steden als voorbeeld dienen voor de rest van Nederland. Hierdoor is Amsterdam een geschikte stad om binnen de grenzen van

¹ Zoekterm kan aangepast zijn naar de werking van de database en de daar bijbehorende zoek-syntax.

² Geografisch informatiesysteem

Amsterdam dit onderzoek uit te voeren. Daarnaast heeft Amsterdam de unieke opdracht om een grootschalig warmtenet aan te leggen wat door de gehele stad Amsterdam, uitgezonderd het platteland en enkele wijken en/of buurten binnen de stad, moet komen te liggen.

1.5 Probleemstelling

Dit onderzoek stond in het teken van het ontwikkelen van de berekening om de beschikbare ruimte in de ondergrond in kaart te brengen en wat het effect van deze berekening op de lengte van leidingen en de kosten van het project. Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de volgende hoofdvraag:

“Hoe kan de beschikbare ruimte voor de aanleg van een warmtenet optimaal worden berekend?”

Om het antwoord te krijgen op de bovenstaande hoofdvraag, was de hoofdvraag opgesplitst in een drietal thema's, deze waren als volgt: (1) ondergrond, (2) praktijk en (3) effect van de berekening. Aan de hand van deze thema's waren deze volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat bepaalt de beschikbare ruimte in de ondergrond?
2. Hoe wordt nu de beschikbare ondergrondse ruimte in kaart gebracht?
3. Wat zijn de kenmerken van een rekenkundig model, dat een optimaal resultaat voor een warmtenet oplevert?

1.6 Doelstelling

Dit onderzoek moest de vraag beantwoorden of er een rekenkundig model gemaakt kan worden om de beschikbare ruimte in de ondergrond in kaart te brengen bij het aanleggen van een warmtenet, aan de hand van de bestaande infrastructuur in de ondergrond. Het gebruik van deze berekening kan bij het modelleren helpen om een (sub-)optimaal warmtenet te modelleren.

Een neven doel van het onderzoek was om inzicht te genereren in de factoren die meegenomen dienen te worden bij het ontwikkelen van de berekening. Een andere neven doelstelling was om het effect te meten van het gebruik van deze berekening. Bij het meten van het effect is er gekeken worden naar de kosten en veranderingen in het aantal m¹ buis.

Samenvattend kan er gesteld worden dat warmtenetten een toegevoegde waarde kunnen hebben bij het behalen van de Klimaatdoelen van Parijs (2016) en de Sustainable Development Goals die opgesteld zijn door de Verenigde Naties. Een warmtenet is een netwerk van leidingen waar warm water doorheen stroomt, wat ook bekend staat onder de term stadsverwarming. Warmtenetten zijn een complex systeem aan buizen wat op verschillende temperaturen kan opereren en verschillende vormen aan kan nemen in de grond. Naar warmtenetten zijn een groot aantal studies gedaan, echter is er nog weinig onderzoek gedaan naar de combinatie tussen nutsvoorzieningen en hoe deze beschikbare ruimte voor een warmtenet beïnvloedt en hoe hier een rekenkundig model voor ontwikkeld kan worden om dit goed in kaart te brengen.

Het onderzoek zal plaatsvinden binnen de grenzen van Amsterdam, vanwege de toegang tot openbare data en omdat Amsterdam een van de grootste steden van Nederland is. Het doel van het onderzoek is om een (sub-)optimaal, gebaseerd op de kosten en m^1 buis, warmtenet te modelleren. Echter, hoe moet de antwoorden verkregen worden en hoe moet deze doelstelling behaald worden?

Hoofdstuk 2 – Materiaal & Methode

2.1 Deelvraag 1

De eerste deelvraag “wat bepaalt de beschikbare ruimte in de ondergrond?” is onderzocht door middel van een kwalitatief literatuuronderzoek. Bij deze deelvraag was het belangrijk om vast te stellen welke onderdelen volgens de literatuur invloed hebben op de ondergrondse ruimte en daarmee een ruimtereservering hebben op de ondergrond.

De onderstaande zoektermen (en een combinatie van deze zoektermen) zijn om deze deelvraag te beantwoorden:

- Factoren
- Ondergrondse ruimte
- Ondergrondse nutsvoorzieningen
- Ondergrondse kabel- en leidingeninfrastructuur

Databases als Science Direct, Springer en Wiley zijn gebruikt om de gegevens te vinden. Daarnaast was er in Google Scholar gezocht naar informatie die niet in de eerdergenoemde databases aanwezig is. Ook is de zoekmachine Google gebruikt om te zoeken naar informatie met bovenstaande zoektermen.

Naast onderzoeksliteratuur was er gezocht binnen beleidsdocumenten van de overheid om de deelvraag te beantwoorden. Dit is gedaan aan de hand van de volgende zoektermen of een combinatie van deze zoektermen:

- Handboek kabels en leidingen
- Handboek kabels en leidingen Amsterdam/Rotterdam/Almere
- Handboek ondergrond
- Handboek groen Amsterdam/Rotterdam/Almere

Om de het onderzoek te valideren is er gebruik gemaakt van literatuur en bronnen, afkomstig van zowel onderzoeken als van de overheid. Daarnaast was er de eis gesteld dat als overheidsinstellingen bepaalde uitspraken doen, dat deze ondersteund zijn door een overkoepelend document dat door alle gemeentes gebruikt wordt. Verder was er toegang verleend door de gemeente Amsterdam tot de interne documenten ter beantwoording van deze deelvraag.

2.2 Deelvraag 2

De tweede deelvraag “hoe wordt nu de beschikbare ondergrondse ruimte in kaart gebracht?” is onderzocht door middel van een kwalitatief onderzoek wat bestond uit de combinatie van de eerste deelvraag en interviews met experts op het gebied van ondergrond, ondergrondse infrastructuur of ruimtelijke ordening.

De interviews hadden een tweetal doeleinden: (1) het verifiëren van de resultaten van de eerste deelvraag en (2) uitbreiding op de resultaten van de eerste deelvraag. Het aantal interviews wat afgenomen was lag tussen de vijf en tien interviews, afhankelijk van de beschikbaarheid van de experts en de informatie die de eerder gegeven interviews hebben opgeleverd en hoe dit met elkaar overeenkomt. Dit aantal interviews was afgenomen om te peilen of een antwoord uit zowel de literatuur als expert valt te verifiëren. Daarnaast heeft dit aantal interviews de uitkomsten versterkt en geverifieerd.

Het afgenomen interview bestond uit de volgende viertal thema's: (1) algemene informatie: wie de geïnterviewde persoon is; en (2) literatuur: wat wordt er in de literatuur gezegd en komt dit overeen met wat de geïnterviewde persoon als antwoord geeft; en (3) praktijk: hoe gaat men in de praktijk aan het werk bij het plannen (en plaatsen) van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond; en (4) berekening, wordt er nu een berekening gemaakt en waar wordt rekening mee gehouden bij het maken van deze berekening.

Zoals eerder vermeldt stond in het eerste thema de algemene informatie centraal. In dit thema werd vooral de persoon behandeld met een aantal korte vragen, zoals wie het is en hoe lang deze persoon ervaring heeft in het werkveld. In het tweede thema stond de bevestiging van de resultaten van de eerste deelvraag centraal. In het derde thema staat de praktijk centraal over hoe de gemeentes het plannen (en plaatsen) van nieuwe kabels aanpakken en met welke factoren, bijvoorbeeld geld of ruimte, zij dan rekening houden. Bij het vierde thema is ingegaan op de berekening en specifiek op of er een berekening gemaakt wordt, hoe deze berekening er uit ziet en hoe deze toegepast wordt.

Aan de hand van de interviews en de resultaten van de eerste deelvraag zal er vastgesteld worden welke factoren wel of niet meegenomen moeten worden in het model en welke factoren prioritering hebben boven andere factoren met betrekking tot het ontwikkelen van het model/berekening.

Om de validiteit van de interviews en de verkregen informatie te waarborgen was er geprobeerd bij meerdere gemeentes of overheidsinstanties experts te interviewen op het gebied van kabels en leidingen of ondergrondse infrastructuur.

2.3 Deelvraag 3

In het derde deel van dit onderzoek zijn de kenmerken van een rekenkundig model bepaald dat een optimaal resultaat oplevert voor de aanleg van een nieuw warmtenet. Dit is gedaan door middel van een rekenkundig model dat is opgesteld op basis van informatie verkregen uit de eerste en tweede deelvragen. Het rekenkundig model zal worden omgezet in een script wat geschreven is Python. Het resultaat wat het script oplevert, een shapefile, kan gebruikt worden in GIS-programma's als QGIS3 en ArcGIS Pro.

De benodigde data om het script te kunnen laten draaien was verkregen door interne, niet openbare, databronnen van de gemeente Amsterdam en openbare databronnen van openbaar toegankelijke dataportaal van de gemeente Amsterdam.

In het tweede deel van het onderzoek was er een nulmeting gemaakt met behulp van de Heat Designer plug-in, die door het bedrijf Comsof is ontwikkeld. Heat Designer berekent en tekent warmtenetten uit in een GIS-programma. In dit onderzoek is QGIS3 gebruikt als GIS-programma. Het algoritme van Heat Designer is minimaal vijf keer worden uitgevoerd om een betrouwbare nulmeting te verkrijgen. Deze nulmeting bestond uit onder andere kosten, aantal meters warmtebuis en andere gegevens. Vervolgens zijn de gegevens verzameld die nodig zijn voor het rekenkundig model, zoals straten, gas- en waterleidingen. Deze gegevens zijn handmatig voorbereid zodat ze kunnen worden gebruikt in het rekenkundig model. Het model is vervolgens uitgevoerd en de nieuwe gegevens zijn in COMSOF ingevoerd. Daarna is

COMSOF nogmaals vijf keer gedraaid met de nieuwe data om een betrouwbare uitslag te krijgen.

In het derde deel van het onderzoek zijn de uitslagen van de nulmeting en de uitslagen met het model geanalyseerd en met elkaar vergeleken. Hierna is er gekeken of er een effect is opgetreden ten opzichte van de nulmeting en wat dit effect inhoudt.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de drie deelvragen welke onderling met elkaar verband hadden. Als eerst is er onderzoek gedaan door middel van een deskresearch om te achterhalen wat er in theorie gezegd wordt over de planning en plaatsing van kabels, buizen en leidingen en met welke factoren hier rekening mee gehouden moet worden. De tweede deelvraag en het tweede onderdeel is onderzocht aan de hand van de resultaten van de eerste deelvraag te combineren met een interview die afgenomen wordt bij experts op het gebied van kabels en leidingen. Hier is verder ook onderzocht of er al een berekening toegepast wordt in de praktijk en wat deze exact inhoudt. De derde deelvraag en het derde onderdeel is onderzocht aan de hand van de volgende zestal stappen: (1) het bepalen van de factoren onderzocht in deelvraag 1 en deelvraag 2, (2) het opstellen van het rekenkundig (code)model, (3) het draaien van nulmetingen, (4) het opstellen van een script in de codetaal Python, (5) het toepassen van het script op geprepareerde data en als laatste (6) de resultaten van de tests vergelijken met de nulmeting en mate van optimalisatie bepalen aan de hand van deze uitkomsten. Maar, wat zijn de resultaten van de beschreven onderzoeksmethodiek?

Hoofdstuk 3 - Resultaten

Naar aanleiding van de geformuleerde deelvragen in paragraaf 1.5 zijn de vastgestelde onderzoeksmethoden uit hoofdstuk 2 toegepast op elke bijbehorende deelvraag. In dit hoofdstuk worden de resultaten van elke deelvraag besproken in de volgende paragrafen. Per paragraaf wordt de bijbehorende deelvraag kortstondig toegelicht, waarna de resultaten op de deelvraag worden gepresenteerd.

3.1 Wat bepaalt de beschikbare ruimte in de ondergrond?

In deze paragraaf wordt een antwoord gegeven op de deelvraag “wat bepaalt de beschikbare ruimte in de ondergrond?”. Zoals vermeldt in paragraaf 1.1 is er bijna overal in de ondergrond in Nederland infrastructuur aanwezig. Infrastructuur omvat netwerken en benodigde hulpmiddelen om deze netwerken te gebruiken en/of te onderhouden (Het instituut voor Nederlandse taal, 2022; VanDale, 2022). Een deel van deze infrastructuur ligt in de ondergrond, welke onder andere bestaat uit gas, elektra en riolering (Egyed et al, 2008).

3.1.1 Wat is de ondergrond?

De ondergrond wordt gedefinieerd door de Cambridge Dictionary (2022) als alles wat zich onder de oppervlakte van de aarde bevindt. In deze ondergrond bevinden zich dan ook de eerdergenoemde kabels en leidingen die dienen voor transport van gas, elektra en (afval)water. Bij ondergronds of ondergrondse aanleg, wordt er gesproken over een constructie die geheel onder het maaiveld (oppervlakte van de aarde) ligt of een constructie die (grotendeels) onder het maaiveld ligt (Arends et al., 2002). De ondergrondse infrastructuur is een constructie van kabels en leidingen die zich onder het maaiveld bevindt.

3.1.2 Wat zit er in de ondergrond?

Het plaatsen van de infrastructuur ondergronds is een van de traditionele gebruiksvormen van de ondergrond, deze gebruiksvormen zijn: ecologie, de zuiveringseigenschappen van de bodem voor de drinkwatervoorziening, fundering voor civiel- en bouwtechnische constructies, (kleinschalige)kelderconstructies en winning van de delfstoffen zoals bijvoorbeeld olie, gas en zout (Arends et al., 2002). De ondergrondse infrastructuur kan volgens Arends et al. (2002) onderverdeeld worden in twee categorieën: grote infrastructuur en kleine infrastructuur. Grote infrastructuur omvat het transport van personen en goederen via tunnels ten behoeve van trein, tram, metro en wegverkeer. De kleine infrastructuur omvat de eerdergenoemde kabels, leidingen en buizen voor het transport van gas, elektriciteit en riolering (Arends et al., 2002; Egyed et al., 2008).

De kleine infrastructuur bevat volgens Arends et al. (2002) en Egyed et al. (2008) naast gas, elektriciteit en riolering, ook (drink)water en telecommunicatie (televisie, telefoon en data). Een warmtenet, de buizen die het warme water transporteren, wordt ook ondergronds geplaatst en behoort ook tot deze categorie van infrastructuur. De NEN7171-1:2009 (NEN, 2009), het normendocument van de Nederlandse overheid, heeft de ondergrondse kabels, leidingen en buizeninfrastructuur ingedeeld in de volgende categorieën: gas staal, gas kunststof, elektriciteit, water kunststof, water beton, warmte staal, telecom/CAI³ koper,

³ Centrale Antenne Inrichting(s)(kabel(s))

riool beton, riool kunststof. Het WIOR-document, Werken in de Openbare Ruimte, van de gemeente Amsterdam worden de kabels, leidingen en buizen in de bijna dezelfde categorieën ingedeeld als die van NEN7171-1:2009 (NEN, 2009; Gemeente Amsterdam, 2021). De categorieën die de gemeente Amsterdam hanteert zijn: elektriciteitskabels, warmte/koude staal, warmte/koude kunststof, waterleiding, afvoer afvalwater, gas kunststof, gas staal, verkeersinstallaties en telecommunicatie kabels (Gemeente Amsterdam, 2021).

In het Handboek beheer ondergrond Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2022) worden de volgende kabels, leidingen en buizen genoemd als onderdeel van de ondergrondse infrastructuur: datakabel, drinkwater huisaansluiting, drinkwater ≤ 250 mm, drinkwater > 250 mm, gas huisaansluiting $\leq 0,1$ MPa, gas huisaansluitingen $> 0,1$ MPa, gasleiding $\leq 0,1$ MPa, gas overige leidingen, elektriciteit huisaansluiting + OV + Signaalkabel, elektriciteit laagspanning, elektriciteit hoogspanning ≤ 25 kV, elektriciteit hoogspanning > 25 kV, elektriciteit gelijkspanning, stadsverwarming huisaansluiting, stadsverwarming distributieleiding, stadsverwarming transportleiding, riolering huisaansluiting, riolering (PVC) ≤ 300 mm, riolering (beton), (riool)persleiding & brandblusleiding en overige leidingen.

Deze bovenstaande categorieën kabels, leidingen en buizen die de gemeente Rotterdam hanteert vallen onder de eerdergenoemde hoofdcategorieën van Egyed et al. (2008) en Arends et al. (2002). De gemeente Almere hanteert in haar Handboek Kabels en Leidingen Gemeente Almere 2016 (2016) de volgende categorieën voor kabels, leidingen en buizen: Telecom/CAI-bussignalering, elektra, dwa-riool, rwa-riool, rioolpersleiding, water-ecowater, gas lagedruk/hogedruk en stadsverwarming. Deze categorieën vallen binnen de bovengenoemde hoofdcategorieën van Egyed et al. (2008) en Arends et al. (2002).

In Tabel 3, welke terug te vinden is op volgende pagina, pagina 24, is een schema opgenomen van de hoofdcategorieën en de onderverdeling van de categorieën die de NEN7171-1:2009, gemeente Amsterdam, gemeente Rotterdam en gemeente Almere hanteert.

De hoofdcategorieën van kabels, leidingen en buizen die ondergronds terug te vinden zijn, zijn: gas, elektriciteit, riolering, warmte/koude, (drink)water en telecommunicatie. Deze categorieën kunnen worden onderverdeeld in subsystemen, manieren van aanleggen of materiaalgebruik (Arends et al., 2002).

Tabel 3 - Onderverdeling van kabels, leidingen en buizen

Verdeling Egyed et al. en COB Beleidsdocument Gemeente	Gas	Elektriciteit	Riolering	Warmte/Koude	(Drink)water	Telecommunicatie
NEN7171-1:2009	-Gas staal -Gas kunststof	-Elektriciteit	-Riool beton -Riool kunststof	-Warmte staal	-Water kunststof -Water beton	-Telecom/CAI koper
Amsterdam	-Gas kunststof -Gas staal	-Elektriciteitskabels	-Afvoer afvalwater	-Warmte/koude staal -Warmte/koude kunststof	-Waterleiding	-Verkeersinstallaties -Telecommunicatie kabels
Rotterdam	-Gas huisaansluiting ≤ 0,1 MPA -Gas huisaansluitingen > 0,1 MPA -Gasleiding ≤ 0,1 MPA -Gas overige leidingen	-Elektriciteit laagspanning -Elektriciteit hoogspanning ≤ 25 kV -Elektriciteit hoogspanning > 25 kV -Elektriciteit gelijkspanning	-Riolering huisaansluiting -Riolering (PVC) ≤ 300 mm -Riolering (beton) - (Riool)persleiding & brandblusleiding	-Stadsverwarming huisaansluiting -Stadsverwarming distributieleiding -Stadsverwarming transportleiding	-Drinkwater huisaansluiting -Drinkwater ≤ 250 mm -Drinkwater > 250 mm	-Elektriciteit huisaansluiting + OV + Signaalkabel
Almere	-Gas lagedruk/hogedruk	-Elektra	-DWA-riool -RWA-riool -Rioolpersleiding	-Stadsverwarming	-Water-ECOWater	-Telecom/CAI-bussignalering

Kabel-, leiding- en buiscategorieën van gemeentes onderverdeeld in categorieën gehanteerd door Egyed et al en COB.
Bronnen: NEN7171-1:2009, Gemeente Amsterdam (2021), Gemeente Rotterdam (2022) en Gemeente Almere (2016).

3.1.3 Waar moet rekening mee gehouden worden bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond?

Bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen zijn er een aantal factoren van toepassing. Deze factoren vallen onder de hoofdcategorie regelgeving, maar zijn onder te verdelen in een aantal categorieën:

- Horizontale indeling;
- Verticale indeling;
- Diepteligging/Grondbedekking, en;
- Groenvoorziening.

Horizontale indeling

De horizontale indeling gaat over hoe de kabels, leidingen en buizen verdeeld worden over de breedte van de weg/openbare ruimte. In de NEN7171-1:2009 wordt de volgende indeling gemaakt voor kabels, leidingen en buizen: transport en distributie. De transportkabels, -leidingen en -buizen van een gegeven netwerk worden geplaatst in de weg. De distributiekabels, -leidingen en -buizen van een gegeven netwerk worden geplaatst in het trottoir (NEN, 2009). De gemeente Amsterdam met het WIOR-document (Gemeente Amsterdam, 2021) dezelfde richtlijnen als de NEN7171-1:2009: transport wordt in het weg-deel (de weg) van de openbare ruimte geplaatst en distributie in de overige delen. De gemeente Rotterdam en de gemeente Almere volgen net als Gemeente Amsterdam de richtlijnen voorgeschreven vanuit de voorgeschreven NEN7171-1:2009.

De horizontale indeling wordt omvat verder de verplichte afstanden tussen verschillende kabels, leidingen en buizen (NEN, 2009). De gemeente Amsterdam heeft in het *Uitlegschema 10 april 2022* (Gemeente Amsterdam, persoonlijke communicatie, 2022) deze

verplichte afstanden opgenomen. De afstanden tussen de verschillende kabels, leidingen en buizen is te vinden in de onderstaande matrix, zie Matrix 1.

Matrix 1 - Verplichte onderlinge afstanden kabels, leidingen en buizen (in mm)

Soort kabel of leiding	Gas	Elektra	Telecom	Drinkwater	Riool	Koude	Warmte	Boom 1 ^e grootte	Boom 2 ^e grootte	Boom 3 ^e grootte
Gas	0	700	700	700	1000	1000	1000	2000	2000	1000
Elektra	700	0	500	700	1000	1000	1000	2000	2000	1000
Telecom	700	600	0	700	1000	1000	1000	2000	2000	1000
Drinkwater	700	700	700	0	1000	1000	1000	2000	2000	1000
Riool	1000	1000	1000	1000	0	1000	1000	2000	2000	1000
Koude	1000	1000	1000	1000	1000	0	1000	2000	2000	1000
Warmte	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0	2000	2000	1000
Boom 1 ^e grootte	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	1000
Boom 2 ^e grootte	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	1000
Boom 3 ^e grootte	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0

*De onderlinge afstanden tussen kabels, leidingen en buizen die verplicht zijn om te volgen binnen de gemeente Amsterdam.
Bron: Uitlegsschema 10 april 2022 (Gemeente Amsterdam, persoonlijke communicatie, 2022)*

Verticale indeling

De verticale indeling gaat over hoe de diepte van de straat wordt ingedeeld. De gemeente Amsterdam hanteert de volgende richtlijnen voor de verticale indeling: vrij verval leidingen (leidingen die door middel van zwaartekracht transporteren) hebben voorrang op persleidingen (leidingen die onder druk gezet worden om transport mogelijk te maken). Verder dienen alle kabels en leidingen horizontaal gelegd te worden, dit houdt in dat er een minimaal hoogteverschil mag zijn tussen twee punten van de kabels, leidingen en buizen. Uitzondering op deze regel zijn vrij verval leidingen, hier wordt hoogteverschil verplicht. Ook hanteert de gemeente Amsterdam de regel dat kabels, leidingen en buizen zo min mogelijk onder elkaar gelegd worden (Gemeente Amsterdam, 2021).

De gemeente Rotterdam hanteert voor vrij verval- en persleidingen dezelfde normen als de Gemeente Amsterdam. De gemeente Rotterdam stelt verder dat de kabels, leidingen of buizen van dezelfde exploitant op dezelfde diepte komen te liggen (Gemeente Rotterdam, 2022). De gemeente Almere hanteert dezelfde normen als de gemeente Amsterdam en de gemeente Rotterdam (Gemeente Almere, 2016). De NEN7171-1:2009 gaat niet in op de verticale indeling (NEN, 2009).

De gemeente Amsterdam hanteert voor de verticale indeling in het gemeente Amsterdam (2021) dat kabels, leidingen en buizen niet onder elkaar geplaatst mogen worden, maar waar mogelijk zoveel mogelijk over de breedte van de openbare ruimte worden neergelegd. Kabels, leidingen en buizen worden zoveel mogelijk horizontaal geplaatst, dit houdt in dat het verval (het verschil hoogte tussen punt A en punt B) van kabels en leidingen tot het minimum beperkt moeten blijven. Uitgezonderd op deze regel zijn vrij verval leidingen, deze moeten in een specifieke hellingshoek geplaatst worden om te functioneren. Daarnaast hanteert de gemeente Amsterdam ook in het WIOR-document (Gemeente Amsterdam, 2021) dat vrij verval leidingen, leidingen die werken door middel van zwaartekracht,

voorrang krijgen bij de verticale plaatsing op persleidingen, leidingen die werken door middel van druk.

De gemeente Almere hanteert in Handboek kabels en leidingen (Gemeente Almere 2016, 2016) dat distributiekabels, -leidingen en -buizen ondieper liggen dan transportkabels, -leidingen en -buizen. Daarnaast hanteert de gemeente Almere dezelfde regels als de gemeenten Amsterdam en Rotterdam dat kabels, leidingen en buizen horizontaal gelegd worden en dat vrij verval leidingen voorrang krijgen op persleidingen in de verticale indeling (Gemeente Almere, 2016).

Diepteligging

De gemeente Amsterdam, gemeente Rotterdam en gemeente Almere volgen in de diepteligging van kabels, leidingen en buizen de NEN7171-1:2009 over het algemeen voor de eigen indelingen, maar ook wijken deze gemeenten af van de maatvoeringen opgenomen in de NEN7171-1:2009. De dieptevoeringen van de kabels, leidingen en buizen volgens de NEN7171-1:2009 en de dieptevoeringen die de gemeenten Amsterdam, Rotterdam en Almere zijn terug te vinden in Tabel 4.

Tabel 4 - Overzicht van diepteligging kabels, leidingen en buizen (in cm) volgens gemeentes en beleidsdocument

Gemeente/ Beleidsdocument	Gas		Elektriciteit		Riolering		Warmte/Koude		(Drink)water		Telecommunicatie	
	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D
NEN7171-1:2009	100		60		120		80		100		60	
Amsterdam	80	65	100 / 120	60 / 70	80	80	125	70 / 80	100	80	60	50 – 60
Rotterdam	100	80	80 / 100	60	± 100	≥ 100	100	70	100	70 – 80	30 – 60	30 – 60
Almere	100		65 / 100		100 / 155	Var.	100		100		60	

De diepteligging van kabels, leidingen en buizen die elke gemeente hanteert of voorgeschreven wordt volgens beleidsdocument. T = transport, D = distributie, Var. = Variabel. Bronnen: NEN7171-1:2009, Gemeente Amsterdam (2021), Gemeente Rotterdam (2022) en Gemeente Almere (2016).

Groenvoorziening

Bij het aanleggen van kabels, leidingen en buizen is groenvoorziening en met name bomen een factor waar rekening mee gehouden moet worden. De kans dat kabels, leidingen en buizen in de wortels vast komen te zitten is te groot, daarom dient er een bepaalde afstand genomen te worden tot de boom bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen. Het Handboek Groen van de gemeente Amsterdam stelt dat kabels, leidingen en buizen niet te dicht langs een boom mogen komen te liggen en dat ze elkaar niet hinderen bij plaatsing, vervanging of onderhoud (Werkgroep Handboek Groen, 2020).

Deze afstand wordt binnen de gemeente Amsterdam, gemeente Rotterdam en gemeente Almere bepaalt door de categorie waar de boom binnen valt, deze categorie omvat de hoogte van de bomen. De gemeente Amsterdam worden de bomen onderverdeelt in de volgende categorieën: (1) bomen van 15 meter of hoger zijn in volgroeide staat, (2) bomen

met een hoogte tussen 10 en 15 meter hoogte zijn in volwassen staat en (3) bomen van 6 tot 10 meter zijn in volwassen staat (Gemeente Amsterdam, 2021; Werkgroep Handboek Groen, 2020).

De gemeente Rotterdam verdeelt de bomen onder in de volgende drie categorieën: (1) snelgroeiende boomsoorten of bomen die oud kunnen worden, (2) klein blijvende bomen en (3) klein blijvende sierbomen. De indeling wordt vastgesteld aan de hand van de kroon van de bomen, deze zijn (1) 10 – 20 meter, (2) tot 10 meter en (3) tot 10 meter (Gemeente Rotterdam, 2022).

De gemeente Almere hanteert het principe dat bomen nooit in het leidingtracé mogen staan en dat bomen dus niet geplant mogen worden in het leidingtracé. De gemeente Almere hanteert net als de gemeente Amsterdam en Rotterdam drie categorieën voor bomen: (1) volgroeid, met een hoogte van 15 meter of hoger, (2) volgroeid tussen 8 en 15 meter en (3) volgroeid kleiner dan 8 meter (Gemeente Almere, 2016).

De afstanden die per categorie boom gehouden dient te worden in terug te vinden op de volgende pagina in Tabel 5.

Tabel 5 - Overzicht van afstand tracé vanaf boom, per categorie

Gemeente	Diepteligging		
	Categorie 1	Categorie 2	Categorie 3
Amsterdam	2,00 meter	1,50 meter	1,00 meter
Rotterdam	≥ 3,50 meter	≥ 3,50 meter	≥ 2,00 meter
Almere	2,50 meter	2,00 meter	1,50 meter

Afstand die het kabel-, leiding- en buistracé dient te houden per categorie boom. Bronnen: Gemeente Amsterdam (2021), Werkgroep Handboek Groen (2020), Gemeente Rotterdam (2022) en Gemeente Almere (2016).

De onderdelen waar er in de theorie rekening mee gehouden wordt zijn de horizontale indeling en met name de onderlinge afstanden tussen de kabels, leidingen en buizen. De verticale indeling van de ondergrond en de diepteligging van de kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Daarnaast wordt de groenvoorziening aangedragen als een belangrijke factor waar rekening mee gehouden moet worden bij de plaatsing van (nieuwe) kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Nu duidelijk is welke factoren de theorie aandragen is het belangrijk om ditzelfde te doen vanuit praktisch oogpunt.

3.2 Hoe wordt nu de beschikbare ondergrondse ruimte in kaart gebracht?

In deze paragraaf wordt een antwoord gegeven op de deelvraag “hoe wordt nu de beschikbare ondergrondse ruimte in kaart gebracht?”. Deze deelvraag wordt beantwoord aan de hand van informatie uit de eerste deelvraag, zie paragraaf 3.1, en de resultaten van de afgenomen interviews. Het doel van de interviews om een praktische blik te verkrijgen op het in kaart brengen van de ondergrondse ruimte en de resultaten uit paragraaf 3.1 te verifiëren over dit onderwerp.

Voor het overzichtelijk in kaart brengen en het bewaren van de privacy van de geïnterviewden is er een code toegekend aan de persoon, welke correspondeert met de instelling waar de persoon voor werkt. Deze code, de instelling waar de geïnterviewde voor werkt en de ervaring van de geïnterviewde in jaren in het werkveld zijn terug te vinden in de Tabel 6.

Tabel 6 - Overzicht van afgenomen interviews en toegekende codes

Toegekende code	Instelling	Ervaring
GAm	Gemeente Amsterdam	10
IBA	Ingenieursbureau Amsterdam	14
GR	Gemeente Rotterdam	22
GG	Gemeente Groningen	32
GZ	Gemeente Zaanstad	30
GAl1	Gemeente Almere	5,5
GAl2	Gemeente Almere	15

Het interview is in een viertal delen opgedeeld, waarvan het eerste deel in de bovenstaande Tabel 6 uitgewerkt is. Het tweede deel bestaat uit het verifiëren van de informatie in paragraaf 3.1. Het derde deel bestaat uit vragen over de praktijk en hoe gemeentes na hebben gedacht over de indeling van de ondergrondse ruimte. Het vierde deel bestaat uit het berekeningsdeel: wordt er nu een berekening gemaakt en hoe doen zij dat dan?

De eerste interviewvraag “welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond?” zal hier behandeld worden.

Uit de antwoorden blijkt dat de factoren waar het meest rekening mee gehouden wordt de bomen, zoals ook is gebleken in paragraaf 3.1, en de ondergrondse vuilcontainers zijn. Deze factoren worden genoemd omdat deze een relatief grote claim hebben op de ondergrondse ruimte. Enkele antwoorden vielen op doordat zij naast deze twee factoren meerdere factoren meewegen. IBA benoemde de aanwezigheid van wadi's, waterberging en restanten van oude gebouwen als een factor waar rekening mee gehouden wordt, terwijl GAm, uit dezelfde gemeente, deze twee juist niet benoemd, ook de andere gemeentes benoemen deze factoren niet. GAl2 benoemt als factoren waar rekening mee gehouden dient te worden alle bovengrondse objecten met enige vorm van een claim op de ondergrond. Dit sluit aan op de antwoorden die andere geïnterviewden gegeven hebben.

De volgende vraag “wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de ondergrond?” zal behandeld worden. Deze vraag is gesteld om te achterhalen of de hoofdcategorieën kabels, leidingen en buizen overeenkomt met de praktijk.

Uit bijna alle antwoorden blijkt dat er een scheiding gemaakt wordt tussen distributiekabels, -leidingen en -buizen en transportkabels, -leidingen en -buizen en hoe deze in het profiel van een straat gelegd worden. De uitzondering hierop is de gemeente Groningen die dit niet doet. De hoofdcategorieën die zij benoemen vallen binnen de hoofdcategorieën die genoemd zijn in paragraaf 3.1, Tabel 3 en voorgeschreven zijn door NEN7171-1:2009 (2009).

De indelingen tussen de verschillende gemeentes is niet uniform, maar hebben onderling wel dezelfde indelingen. De gemeente Amsterdam en gemeente Rotterdam hebben de volgende indeling: telecom, gas, water, elektra, riool en warmte/koude. De gemeente Zaanstad en gemeente Groningen de hanteren de indeling: water, gas, elektra, telecom, riolering en warmte/koude, waar de gemeente Zaanstad tussen telecom en riolering de transportkabel voor elektriciteit nog meeneemt in de vaste indeling binnen de gemeente. De gemeente Almere wijkt af van deze indelingen, doordat in de Gemeente Almere amper tot geen gasleidingen aanwezig zijn in de wegdelen. De meest voorkomende indeling binnen de gemeente Almere bestaat uit: telecom, water, elektra, water, riolering (zowel RWA⁴ als DWA⁵) en twee buizen voor stadsverwarming.

Op de vraag "wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?" wordt eenduidig antwoord gegeven dat er niet afgeweken wordt van deze "doorgaande" indeling. GAM van de gemeente Amsterdam gaf aan dat er niet afgeweken wordt van deze indeling, tenzij dit niet anders kan. Dit antwoord komt overeen met de antwoorden van GR, die aangeeft dat de indeling zelfs als "heilig" beschouwd wordt en GZ. Het enige volledig afwijkende antwoord is die van de gemeente Groningen die met meerdere, zelf opgestelde, dwarsprofielen werkt binnen de stad. De rest van de geïnterviewde gemeentes hebben deze dwarsprofielen niet of hebben deze niet aangedragen als een optie tijdens het interview. De gemeente Groningen zegt daarover het volgende: "... afwijkingen zijn er wel van gebied tot gebied, maar de indeling is altijd volgens een bepaald profiel van de gemeente." Om te achterhalen hoe de praktijk omgaat met het berekenen van de ondergrond is hier de volgende vraag over gesteld: "Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?"

Uit bijna alle antwoorden blijkt dat er geen berekening gemaakt wordt om de beschikbare ondergrondse ruimte te meten. Volgens IBA gebeurt dit tegenwoordig vaker, maar is dit nog geen vast gegeven dat dit gebeurt. De reden waarom dit gebeurt is met de opvolgvraag "Zo niet, waarom niet?" gesteld. De antwoorden die gegeven zijn geven allemaal aan dat het nog steeds met de hand gedaan wordt en dus vooral praktisch en niet zozeer mathematisch is. De ervaring in dit vakgebied weegt zwaar mee. GAM geeft aan dat de data die verkrijgbaar is niet altijd accuraat is, waardoor het in de praktijk er anders uit kan zien dan op "papier". Het antwoord van GZ sluit zich hierop aan, maar vervolgt zijn antwoord dat er gebruik gemaakt wordt van KLIC⁶, waar kabels, leidingen en buizen in staan geregistreerd en opgevraagd kan worden door middel van een KLIC-melding. GZ geeft aan dat het nadeel van de KLIC is er een te grote marge zit op de accuraatheid, met een marge van 2 meter. GZ geeft aan dat de gemeente Zaanstad de voorkeur geniet voor praktische controle in plaats van modellen. De gemeente Almere geeft zelfs het statement af dat nieuwe kabels, leidingen en buizen in Almere eigenlijk altijd passen, waar soms wel afspraken benodigd zijn om het in te kunnen passen. De redenen hiervoor zijn dat (1) de situatie in de ondergrond er altijd anders uitziet in de praktijk dan op "papier", (2) de uitvoering in de praktijk is altijd belangrijker is dan de planning vooraf en (3) dat het plaatsen van tracés meer aankomt op logisch nadenken en goed kijken dan op mathematisch berekenen.

⁴ Regenwaterafvoer, riolering wat hemelwater afvoert.

⁵ Drogweerafvoer, riolering wat sanitair water afvoert.

⁶ Kabels en Leidingen Informatie Centrum

Uit de interviewvragen blijkt dat er vele factoren zijn waar rekening mee gehouden moet worden bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Daarnaast blijkt er dat de indeling van de ondergrond per gemeente erg verschilt en dat zij hier zo min mogelijk van af willen wijken. Ook blijkt het dat er, vanwege uiteenlopende redenen, geen tot amper berekeningen gemaakt worden om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten. Het is daarnaast duidelijk dat de gemeentes de voorgeschreven eigen richtlijnen en de richtlijnen van de NEN7171-1:2009 (2009) nauw volgen om duidelijkheid te scheppen voor alle betrokken partijen.

De volledig afgenomen interviews zijn terug te vinden in Bijlage II tot en met Bijlage VIII.

Nu duidelijk is wat er vanuit de theorie en vanuit de praktijk aangedragen wordt als factoren waar rekening mee gehouden wordt bij het plaatsen van (nieuwe) kabels, leidingen en buizen in de ondergrond, kan er nu een rekenkundig model geschreven worden om dit automatisch te berekenen.

3.3 Wat zijn de kenmerken van een rekenkundig model, dat een optimaal resultaat voor nieuw warmtenet oplevert?

In deze paragraaf wordt een antwoord gegeven op de deelvraag “wat zijn de kenmerken van een rekenkundig model, dat een optimaal resultaat voor een warmtenet oplevert?”.

Om een rekenkundig model te creëren dienen alle factoren die benoemd zijn in paragraaf 3.1 en paragraaf 3.2 samengevoegd te worden in een rekenkundig (code)model waarmee uitgerekend kan worden hoeveel ruimte er “in gebruik” is, hoeveel ruimte er over is in een straatprofiel en of het in overeenstemming is met de eis aan de hoeveelheid vrije ruimte voor een warmtenet. Deze factoren omvatten alle (gekozen) onderdelen die invloed uitoefenen op deze beschikbare vrije ruimte in de ondergrond.

3.3.1 Factoren en kenmerken

Vanuit de theorie worden een aantal factoren genoemd die meewegen bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. De factoren zijn en omvatten:

1. De horizontale ligging, hoe de kabels, leidingen en buizen worden gelegd in de ondergrond;
2. De verticale indeling, hoe de verticale ruimte van een straatprofiel ingedeeld wordt;
3. De diepteligging, hoe diep de kabels, leidingen en buizen in de ondergrond gelegd worden, en;
4. De groenvoorziening, hoeveel afstand moet er gehouden worden van de groenvoorziening om de groei ervan niet te belemmeren en de veiligheid van de kabels, leidingen en buizen te garanderen.

De praktijk stipt een enkele van deze factoren aan als een factor die grote impact heeft op de plaatsing van de kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. De factor die vanuit de theorie heeft zwaarst meeweegt in de praktijk is de groenvoorziening, deze mag niet aangetast worden. Naast de impact van de groenvoorziening op de plaatsing van kabels, leidingen en buizen worden vuilcontainers genoemd. Deze vuilcontainers hebben volgens GA12, zie paragraaf 3.2 en bijlage VIII, een impact van $\pm 1,5$ meter in het straatprofiel. Verder worden factoren als wadi's, waterberging en restanten van oude gebouwen genoemd als

factoren waar rekening mee gehouden wordt bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond.

Vanuit deze bovengenoemde factoren is een selectie gemaakt welke van deze factoren meegenomen worden in het rekenkundig model. De factoren die meegenomen worden in de berekening zijn:

1. De aanwezige kabels, leidingen en buizen in de ondergrond, zie paragraaf 3.1.2;
2. De horizontale indeling en specifiek de afstandenmatrix (zie Matrix 1);
3. De groenvoorziening, zie paragraaf 3.1.3, en;
4. De ondergrondse afvalcontainers, zie paragraaf 3.2.

3.3.2 Formule en code

De gebruikte formule in het rekenkundig (code)model om de beschikbare ruimte in de ondergrond te berekenen is hieronder terug te vinden. De som van de formule is een som van alle toegekende waarden aan de afvalcontainers en bomen (respectievelijk 2 en 1,5) en de waarden van de aanwezige kabels, leidingen en buizen in het straatprofiel.

$$\sum \text{totaal} = \left(\sum \text{klb} \equiv \begin{cases} \emptyset + \text{afst.} \cdot 2, & \text{if } \text{klb} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \right) + \left(\sum \text{af} \equiv \begin{cases} 1.5, & \text{if } \text{af} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \right) + \left(\sum \text{bo} \equiv \begin{cases} \text{ba} \equiv \begin{cases} 2 & \text{if } \text{bc1 and bc2 and b3} = 1 \\ 2 & \text{if } \text{bc1 or bc2 and b3} = 1 \\ 1 & \text{if } \text{bc1 or bc2} = 0 \text{ and } \text{b3} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \end{cases} \right)$$

Aan de hand van de eerder benoemde geselecteerde factoren is de volgende formule opgesteld om de beschikbare ruimte in de ondergrond te berekenen:

$$\sum \text{totaal} = \sum \text{klb} + \sum \text{af} + \sum \text{bo}$$

De formule bestaat uit een drietal sub-formules, deze sub-formules geven een uitslag gebaseerd op de invoerwaarden en aanwezigheid. De eerste sub-formule, klb, $\sum \text{klb} \equiv \begin{cases} \emptyset + \text{afst.} \cdot 2, & \text{if } \text{klb} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$ bestaat uit een if-else-statement waarmee vastgesteld of iets aanwezig is en welke waarde(s) hieraan toegekend zijn en wat de uitslag van al deze waarden is. De tweede sub-formule, af, $\sum \text{af} \equiv \begin{cases} 1.5, & \text{if } \text{af} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$ stelt vast of afvalcontainers aanwezig zijn. Als deze aanwezig is, wordt er een waarde van 1,5 (meter) toegewezen. De derde en laatste subformule, bo, $\sum \text{bo} \equiv \begin{cases} \text{ba} \equiv \begin{cases} 2 & \text{if } \text{bc1 and bc2 and b3} = 1 \\ 2 & \text{if } \text{bc1 or bc2 and b3} = 1 \\ 1 & \text{if } \text{bc1 or bc2} = 0 \text{ and } \text{b3} = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \end{cases}$ bestaat uit een tweetal if-else-statements. Het eerste if-else statement stelt vast of er een waarde van 2, 1 of 0 toegekend wordt aan de aanwezigheid van bomen. Het tweede if-statement (ba) stelt vast wanneer een waarde van 2 toegekend moet worden.

De bovenstaande formule is omgezet in de programmeertaal Python. De ontwikkelde code in Python werkt volgens de volgende principes. De .dbf-file, de datafile van een ESRI-shapefile, wordt ingeladen als een lijst met de dbf Python library. Over deze lijst wordt per regel een eigen lijst gemaakt. Deze eigen lijst wordt gebruikt om de berekening te maken. De uitslagen worden toegevoegd aan de originele .dbf-file. De volledige code, met commentaar, is terug te vinden in bijlage IX.

3.3.3 Nulmeting

Om vast te stellen of het rekenkundig (code)model, zie bijlage IX voor de uitwerking van dit (code)model, invloed heeft op de uitkomsten van Comsof-modellering zijn er een vijftal nulmetingen uitgevoerd met dezelfde input-parameters. Deze parameters bestaan uit een regels bestand, aangemaakt in Comsof, en een tweetal datasets: (1) een panden-bestand met daarin de warmtevraag (Persoonlijke Communicatie, Ingenieursbureau Amsterdam) en een stratenbestand (Persoonlijke Communicatie, Ingenieursbureau Amsterdam). De gebruikte parameters zijn de standaard parameters van Comsof waar enkele kleine wijzigingen in aangebracht zijn: (1) de clustergrootte van de onderstations van het warmtenet zijn aangepast van 5MW naar 2MW en (2) de groottes van de buizen zijn ingeladen tot een grootte van 1000mm. De gebruikte parameters in het regelbestand zijn terug te vinden in Bijlage X. De uitkomsten van de vijf nulmetingen zijn opgenomen in Tabel 7.

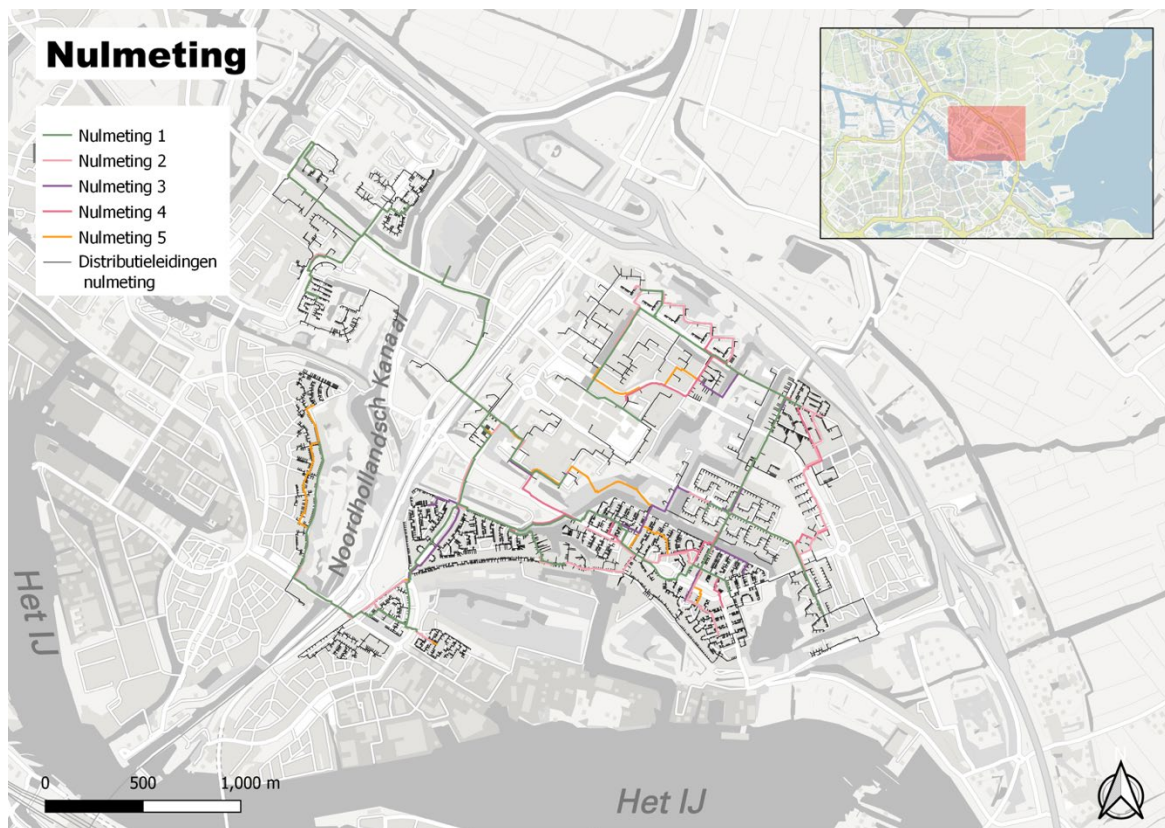
Tabel 7 - Uitslag van nulmetingen

	Kosten	Benodigde m ¹ warmtenet
Nulmeting 1	€ 40.033.279,53	102.509,97
Nulmeting 2	€ 41.673.569,76	103.325,21
Nulmeting 3	€ 39.826.871,16	102.458,48
Nulmeting 4	€ 40.701.494,22	103.129,32
Nulmeting 5	€ 40.275.428,04	103.641,66
Gemiddelde (μ)	€ 40.033.279,53	102.509,97
Standaarddeviatie (σ)	€ 731.301,28	516,42

Uitslagen van gedraaide nulmetingen in Comsof

De uitslag van de nulmetingen in geografisch perspectief is terug te vinden in Figuur 6.

Figuur 6 - Uitslag nulmetingen



Uitslag van de nulmetingen in geografisch perspectief.

3.3.4 Datasets

Voor het draaien de tests dient een werkbaar shapefile-bestand met een daar bijhorend .dbf-bestand gerealiseerd te worden. Het uitgangspunt van de shapefile betreft een shapefile van de straatbreedtes (Gemeente Amsterdam, Niet publieke databron), een vergelijkbare dataset is te vinden bij het Nationaal Wegenbestand. Aan deze dataset zijn de waarden van 1 of 0 voor de aanwezigheid van de eerder benoemde objecten in paragraaf 3.1 toegevoegd.

De gebruikte datasets om de bovengenoemde waarden van 1 of 0 voor bomen, afvalcontainers en kabels, leidingen en buizen te verkrijgen zijn:

- Bomen | 1 (Gemeente Amsterdam, 2022)
- Bomen | 2 (Gemeente Amsterdam, 2022)
- Bomen | 3 (Gemeente Amsterdam, 2022)
- Bomen | 4 (Gemeente Amsterdam, 2022)
- Ondergrondse afvalcontainers (Gemeente Amsterdam, 2020)
- KLIC (Gemeente Amsterdam, Niet publieke databron)

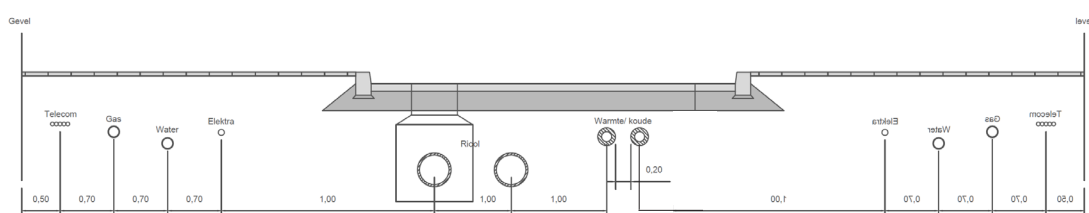
De bomen datasets van de bomen zijn gecombineerd in QGIS3 tot één grote dataset. De afvalcontainers zijn gefilterd op de ondergrondse containers.

3.3.5 Resultaten en vergelijking

Na het draaien van het (code)model met behulp van de programmeertaal python, zijn er een vijftal testen uitgevoerd om een beeld te krijgen van de invloed van het (code)model op de Comsof modellering.

De testen zijn uitgevoerd aan de hand van de opmerking van GAL2 in het afgenomen interview. GAL2 omschreef het volgende "(...) Als je heel goed kijkt naar de onderlinge afstanden en straatbreedtes zal de theorie in de praktijk eigenlijk nooit passen. De profielen zijn opgesteld in een wereld waarin alles past en de "overige" ruimtevragers geen obstakel vormen voor de kabel, leidingen en buizen tracés. (...)". Deze zogenaamde "perfecte" wereld waar alles in past als volgt geïnterpreteerd en verwerkt: (1) alle straten zijn loodrecht, (2) kabels, leidingen, en buizen in de ondergrond liggen parallel aan de straat en liggen op de "perfecte" onderlinge aangegeven afstand van elkaar en (3) aangegeven dieptes van kabels, leidingen en buizen zijn in deze wereld niet relevant. De indeling van de kabels, leidingen en buizen in de ondergrond die in deze "perfecte" wereld wordt gevolgd is terug te vinden in Figuur 7.

Figuur 7 - Indeling ondergrond Amsterdam



Indeling kabels, leidingen en buizen binnen de gemeente Amsterdam. Bron: Gemeente Amsterdam, persoonlijke communicatie

De paramaters van deze testen staan gelijk aan de parameters van de nulmeting. Het enige verschil in de input is het stratenbestand. De uitslagen zijn terug te vinden in Tabel 8, welke terug te vinden is op de volgende pagina.

Tabel 8 - Resultaten Comsof modellering na toepassing codemodel

	Kosten	Benodigde m ¹ warmtenet
Modellering 1	€ 52.073.503,41	122,118.05
Modellering 2	€ 52.622.578,93	120,786.64
Modellering 3	€ 53.961.259,49	121,645.86
Modellering 4	€ 51.824.963,81	120,522.88
Modellering 5	€ 52.071.027,16	124,315.38
Gemiddelde (μ)	€ 52.510.666,56	121,877.76
Standaarddeviatie (σ)	€ 861.876,86	1506.63

Uitslagen van gedraaide modelleringen in Comsof na het toepassen van het rekenkundig (code)model.

De gemiddelde waarde van de vijftal testen is €52.510.666,56 met een standaarddeviatie van €861.867,86. De uitslagen in geografisch perspectief zijn terug te vinden in Figuur 8. De waardes uit Tabel 8 dienen vergeleken te worden om te zien wat de verandering is van de testen met het codemodel ten opzichte van de nulmetingen.

Figuur 8 - Uitslag testen



Uitslag van de testen in geografisch perspectief.

De vergelijking tussen de nulmeting en de testen met het rekenkundig (code)model zijn te vinden in de onderstaande Tabel 9.

Tabel 9 - Vergelijken resultaten

	Nulmeting	Na toepassing rekenkundig model	Toe-/Afname in %
Gemiddelde (μ) kosten	€ 40.502.128,54	€ 52.510.666,56	+ 29,65%
Gemiddelde (μ) m¹ warmtebuis	103.012,93	103.012,93	+ 18,31%
Standaarddeviatie (σ) kosten	€ 731.301,28	€ 861.876,86	+ 17,86%
Standaarddeviatie (σ) benodigde m¹ warmtebuis	516,42	1506,63	+ 191,75%

Vergelijken van de resultaten van de nulmeting en de uitslagen van de modellering na het toepassen van het rekenkundig (code)model.

De gemiddelde waarde (μ) van de modelleringen is, zoals terug te vinden in Tabel 9, toegenomen met gemiddeld 29,6% en de standaarddeviatie (σ) is met 17,86% toegenomen. De verschillen in de gemiddelde (μ) m¹ warmtenet is toegenomen met een percentage van 18,3% en de standaarddeviatie (σ) is toegenomen met 191,75% ten opzichte van de nulmeting.

De resultaten uit de paragrafen 3.1 tot en met 3.3 vormen de basis voor het beantwoorden van de hoofdvraag, wat behandeld wordt in hoofdstuk 5, en de discussie welke behandeld zal worden in het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 4).

Hoofdstuk 4 - Discussie

In dit hoofdstuk worden de verkregen resultaten, paragraaf 3.1 tot en met paragraaf 3.3 bediscussieerd.

Wat bepaalt de beschikbare ruimte in de ondergrond?

Naar aanleiding van de eerste deelvraag is de focus gelegd op het onderzoeken wat de beschikbare ruimte in de ondergrond bepaalt, kortom: welke factoren hebben ruimte nodig in de ondergrond en waar wordt rekening mee gehouden door overheidsinstellingen en beleidsdocumenten.

De ondergrondse ruimte wordt bepaald door de objecten die een ruimteclaim hebben op de ondergrond, waaronder de kabels, leidingen en buizen zelf, de diepte van deze kabels, leidingen en buizen en de groenvoorziening. Het is gebleken dat gemeentes onderling verschillen in de geaccepteerde afstanden tussen kabels, leidingen en buizen onderling, maar ook de afstand die zij acceptabel vinden om van groenvoorziening weg te blijven.

De NEN7171-1:2009 is een normen document wat door de onderzochte gemeentes, Amsterdam, Rotterdam en Almere, gebruikt wordt om de verantwoording om de door deze gemeentes gebruikte handboeken over de ondergrond. De handboeken van de eerdergenoemde gemeentes zijn een goede indicatie van het beleid wat de gemeentes volgen met betrekking tot de ondergrond. Deze documenten zijn om deze reden een goede (eerstehands) bron om theoretische inzichten te verkrijgen.

Het resultaat van de deelvraag had completer en samenhangender gemaakt kunnen worden door de onderzoeksmethodiek van deze deelvraag uit te breiden. De onderzoeksmethode die toegepast had kunnen worden was het toepassen van een interview op deze deelvraag. Dit had als resultaat kunnen hebben dat er een completer beeld ontwikkeld was doordat de theorie direct gecombineerd zou worden met de praktijk.

Verder kan er echter wel gesteld worden dat de gebruikte documenten en onderzoeken een relatief compleet beeld hebben geschetst van de factoren waar ingenieurs in de praktijk rekening mee houden bij het plannen en plaatsen van nieuwe kabels, leidingen en buizen in de ondergrond.

Hoe wordt nu de beschikbare ondergrondse ruimte in kaart gebracht?

Naar aanleiding van de tweede deelvraag is er gekozen om een completer beeld te verkrijgen van de situatie(s) in de ondergrond, de praktische overwegingen die gemaakt worden en hoe de praktijk nu omgaat met een rekenkundig model. Vanuit de resultaten blijkt dat ondergrondse situaties vanuit een praktisch perspectief een lastige opgave is en dat er in praktijk eigenlijk amper tot niet gewerkt wordt met rekenkundige modellen.

Een aantal vragen die ter discussie gesteld kunnen worden zijn:

1. De vraag over de categorieën van kabels, leidingen en buizen die de desbetreffende gemeente hanteert. (*"In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?"*)

2. De vraag over de doorgaande indeling die in een gemeente in de grond ligt. (*“Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?”*)

De eerste vraag is een vraag die vaag geïnterpreteerd kan worden door de geïnterviewde. Deze vraag kan geïnterpreteerd worden als de categorieën transport en distributie, maar ook, zoals de onderzochte indeling van Egyed et al. (2008), met gas, elektriciteit, riolering, warmte/koude, (drink)water en telecommunicatie. De tweede vraag kan geïnterpreteerd worden als: (1) de doorgaande indeling als de scheiding tussen distributie en transport in een straatprofiel of (2) de letterlijke indeling van de ondergrond waar de kabels, leidingen, buizen en andere objecten in een straatprofiel.

De gemeentes die gekozen zijn om deze deelvraag te beantwoorden zullen per stuk doorlopen worden en de reden achter het kiezen voor deze gemeente. De gemeente Amsterdam is gekozen vanwege de stage van de student bij het Ingenieursbureau Amsterdam en de beschikbaarheid van beleidsdocumenten en de data (en software). Daarnaast is de gemeente Amsterdam een van de grootste stedelijke gemeentes met een lange historie. De gemeente Rotterdam is gekozen vanwege een vergelijkbare situatie als Amsterdam, maar door een “herstart” van de stad door de Tweede Wereldoorlog is de situatie van Rotterdam anders dan die van Amsterdam.

De gemeente Almere is gekozen omdat het een geplande gemeente is. Almere is opgezet volgens bepaalde doelen en visies en is een relatief jonge gemeente in vergelijking met andere gemeenten in Nederland. Bovendien ligt Almere in de provincie Flevoland, een uniek gebied dat opgezet is op land dat voordien onder de zee lag (Almere20, 2021; Wikipedia, 2022).

De gemeente Groningen is gekozen door het contact via het Ingenieursbureau Amsterdam en doordat het een kleinere stad is was het interessant om te onderzoeken hoe dezelfde problemen aanpakken die grotere gemeentes (en steden) hebben. De gemeente Zaanstad is gekozen omdat deze gemeente tegen de gemeente Amsterdam aanligt en hierdoor een beeld kan geven welke verschillen er zijn tussen twee gemeentes die naast elkaar liggen.

De resultaten van dit deel van het onderzoek lijken in potentie goed en geven een goed beeld van hoe de praktijk omgaat met de planning en plaatsing van nieuwe kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Echter, had de verkregen informatie uitgebreid (en daarmee betrouwbaarder) kunnen worden door meer interviews af te nemen. Het aantal interviews, zeven, is met moeite behaald om twee redenen:

1. Gemeentelijke ingenieurs en kabel- en leidingspecialisten hebben zeer beperkt tijd voor een interview, en;
2. Gemeentelijke ingenieurs en kabels- en leidingspecialisten hebben door hun zeer beperkte tijd en werkdruk weinig tot geen tijd om te reageren op e-mails.

Van de 15 benaderde gemeentes en contacten hebben er 7 in totaal gereageerd, welke dan ook geïnterviewd zijn en in de resultaten van de derde deelvraag zijn opgenomen.

Dit aantal interviews brengt echt een potentieel probleem aan het licht: door de relatief lage aantal onderzochte gemeentes is het mogelijk dat niet alle factoren en aspecten waar rekening mee gehouden wordt in de praktijk in kaart zijn gebracht.

Wat zijn de kenmerken van een rekenkundig model, dat een optimaal resultaat voor nieuw warmtenet oplevert?

Uit de resultaten van de derde deelvraag blijkt dat de kosten significant toenemen ten opzichte van de nulmetingen. Met een toename van $\pm 30\%$ op de kosten en $\pm 18\%$ op de m^1 warmtebuis kan gesteld worden dat het toepassen van het codemodel contraproductief werkt ten opzichte van de nulmeting. Deze hoge toename van kosten en de benodigde m^1 warmtebuis is mogelijk te verklaren door werking van het Comsof Heat algoritme. In het rekenkundig (code)model wordt er een Comsof-attribuut (in het rekenkundig (code)model aangegeven als 'AVOID', zie bijlage IX) toegevoegd welke aangeeft aan het algoritme of een weg gebruikt of zoveel als mogelijk vermeden moet worden bij het modelleren van het warmtenet.

Het attribuut AVOID van Comsof is gekozen uit één van de twee mogelijkheden om het algoritme wegens niet mee te nemen bij de modellering, de andere mogelijkheid is het Comsof-attribuut INCLUDE (met de waarde F voor uitsluiten). INCLUDE is niet gekozen omdat dit hele delen van het onderzoeksgebied afsloot en daardoor geen betrouwbaar resultaat op zou leveren ten opzichte van de nulmeting, het AVOID-attribuut was in deze situatie het meest aansluitende attribuut voor het onderzoek.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de gesuggereerde situatie van GA12, een volledig niet bestaande theoretische situatie, zie paragraaf 3.3 en bijlage VII, met de bestaande ondergrondse infrastructuur. Door het uitgangspunt van een loodrechte ligging en exacte dezelfde breedte over het gehele straatprofiel zijn eventuele versmallingen en/of verbredingen, krommingen en bochten niet meegenomen in de berekening. Een situatie die uit de werkelijkheid is overgenomen, zou een te complexe situatie worden om in een codemodel te verwerken. Daarom zijn de factoren als de verticale indeling en de diepteligging van de kabels, leidingen en buizen niet opgenomen in het rekenkundig (code)model. Verder is er in het codemodel een mogelijkheid opgenomen om de beschikbare ruimte handmatig aan te geven met een (komma)getal en eenheid van meter tot en met millimeter, welke bij het rekenkundig (code) is gezet op een waarde die correspondeert met 3 meter.

Bij de plaatsing van de bron in Comsof Heat, de bron waar het water voor het warmtenet opgewarmd wordt, is er geen rekening gehouden met zowel de bestaande warmtebronnen als het bestaande warmtenet in dat gebied. Bij de plaatsing van de bron is er gekeken naar waar er zo min mogelijk bebouwing aanwezig is en wat een relatief centrale locatie is in het onderzoeksgebied. Daarnaast is er gekozen om Comsof Heat geen eigen bron te laten tekenen, wat binnen de mogelijkheden van het softwarepakket valt, vanwege de mogelijke verschillen die optreden bij de verschillende nulmetingen en testen.

Het onderzoek is verder uitgevoerd rondom de locatie van de Buik Slotermeer in Amsterdam-Noord. Dit gebied heeft in enkele delen een warmtenet liggen, maar in het overgrote deel is er geen warmtenet aanwezig. Daarnaast is er gekozen voor dit relatief klein onderzoeksgebied vanwege de factor tijd, hier wordt later in de discussie op teruggekomen.

Voor het onderzoek is verder gebruikt gemaakt van Comsof Heat, een programma wat specifiek ontwikkeld is voor het inplannen van warmtenetten. De gebruikte Comsof versie, 22.1.2.1824, is op het moment van het uitvoeren van de test de meest recente beschikbare versie. Deze versie hanteert het meest recente algoritme die Comsof Heat tot haar beschikking heeft gesteld aan de gemeente Amsterdam voor het intekenen en berekenen van warmtenetten. Oudere versies (en eventueel nieuwere versies) van Comsof zijn bij de gemeente Amsterdam niet beschikbaar.

Voor het onderzoek zijn een vijftal nulmetingen gedaan om twee redenen: (1) de resultaten konden niet significant van elkaar verschillen door het gebruikte algoritme en (2) de factor tijd. Het uitvoeren van een nulmeting nam, met het inladen van data, het klaarmaken van de data voor Comsof en het draaien van een algoritme ongeveer anderhalf tot twee uur tijd in beslag. De bovenstaande redenen gelden ook voor de testen, hierom zijn er maar een vijftal testen uitgevoerd. Naast de eerder benoemde redenen was er een andere reden voor het uitvoeren van een tiental Comsof-algoritmes was het verlopen van de licentie van de gemeente Amsterdam bij Comsof.

Bij het opnemen van de data op het wegenbestand is er mogelijk een potentieel probleem ontstaan. Als eerst is er een variabele breedte buffer aangemaakt op basis van de straatbreedtes. Doordat niet alle breedtes met een zekerheid van 100% opgegeven zijn is er een mogelijkheid dat er objecten zijn die opgenomen zijn en niet opgenomen hadden moeten worden en vice versa. Hierdoor zouden de resultaten niet 100% betrouwbaar kunnen zijn. Daarnaast is de meest recente, en beschikbare, versie van de afvalcontainers uit 2020. Door het tijdsverschil van plusminus twee jaar tussen de publicatie en het onderzoek bestaat er een mogelijkheid dat er niet met de meest actuele situatie gewerkt is. Daarnaast maakte de manier waarop de data van de afvalcontainers gestructureerd was het lastig om de afvalcontainers goed te kunnen scheiden tussen boven- en ondergronds afvalcontainers. Deze eerdergenoemde factoren kunnen ertoe leiden dat de hoeveelheid ondergrondse afvalcontainers die meegenomen wordt in de berekening hoger of lager is dan er in de praktijk aanwezig zijn.

Hoofdstuk 5 – Conclusie en aanbeveling

In dit hoofdstuk wordt er ingegaan welke conclusies getrokken kunnen worden gebaseerd op de resultaten, welke terug te vinden zijn in hoofdstuk 3. In paragraaf 5.1 wordt de eindconclusie van het onderzoek beschreven en in paragraaf 5.2 wordt er een aanbeveling gedaan op basis van de eindconclusie.

5.1 Eindconclusie

Er blijken vele en grote factoren te zijn die invloed hebben op de ondergrond en in het specifiek welke ruimte nog beschikbaar is in de ondergrond. De factoren die met de grootste invloed zijn de bovengrondse objecten met een grote claim op de ondergrond, zoals de groenvoorziening en ondergrondse afvalcontainers. Bomen hebben de grootste impact op de ondergrond door de verschillende categorieën en het niet willen/mogen aantasten van de wortelkroon van de boom/bomen. De horizontale indeling van de ondergrondse ruimte en de daar bijkomende verplichte onderlinge afstanden van kabels, leidingen en buizen hebben invloed op de ontwikkeling van een berekening.

Het blijkt verder dat het een ingewikkelde opgave is om de beschikbare ruimte in de ondergrond via een rekenkundig (code)model goed in kaart te kunnen brengen doordat data die niet altijd accuraat en up-to-date is. Daarnaast blijkt het dat de planning van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond hoofdzakelijk gedaan wordt door middel van praktische ervaring en niet het berekenen aan de hand van een rekenkundig (code)model. Het berekenen wordt niet gedaan door de ingenieurs van gemeentes door de complexiteit in de ondergrond en de niet accurate beschikbare data van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond.

Het gebruik van een rekenkundig (code)model blijkt in de praktijk geen optimaal resultaat op te leveren. Ondanks dat het (code)model in een theoretisch, fictieve situatie is toegepast, blijkt het toch niet mogelijk om resultaat te verkrijgen wat optimaler resultaat oplevert. Dit komt doordat de eerdergenoemde kosten significant hoger uitvallen, een verschil $\pm 30\%$, dan de nulmeting waar geen optimalisatie plaats heeft gevonden. Daarnaast is de m^1 benodigde warmtebuis $\pm 18\%$ hoger uitvalt dan de nulmeting. Door deze significante stijgingen kan er gesteld worden dat de toepassing van het rekenkundig (code)model geen gewenst resultaat oplevert.

Een rekenkundig (code)model dat de kosten kan optimaliseren is naar huidige regelgeving van onderlinge afstanden tussen kabels, leidingen en buizen, de verplichte en/of de gewenste afstand tot de groenvoorziening niet goed mogelijk om te ontwikkelen. Daarnaast ontbreekt er voldoende, goede, locatiedata van de bestaande ondergrondse infrastructuur, wat een goede en betrouwbare berekening in de weg staat. Het toepassen van het rekenkundig (code)model zal, op korte termijn, door de eerdergenoemde factoren contraproductief werken in plaats van optimaliseren.

Het rekenkundig (code)model kan daarentegen mogelijk wel toegepast worden in de praktijk. Doordat de kabels, leidingen en buizen die aanwezig zijn in een straat opgenomen worden in de berekening, kan het (code)model wel een indicatieve waarde geven van de beschikbare ruimte in de ondergrond. De optimalisatie, binnen deze ruimte, moet echter wel gedaan worden met de praktische ervaring van de ingenieur(s).

5.2 Aanbeveling

Het onderwerp is zeer complex en betreft veel praktische ervaring en kennis om nieuwe kabels, leidingen en buizen in de ondergrond te plannen. Er zijn (te) veel factoren waar rekening mee gehouden moet worden in de praktijk, waardoor een rekenkundig (code)model (onnodig) ingewikkeld kan worden. De eerste aanbeveling is dan ook om, in de voorziene toekomst, niet van de huidige werkwijze af te wijken door de complexiteit van het probleem en de niet altijd accurate beschikbare data.

De tweede aanbeveling valt dan ook samen met de accuraatheid van de data. Het bouwen van een rekenkundig (code)model kan gedaan worden, mits de data accuraat genoeg is. Bijvoorbeeld de data inmeten met een maximale afwijking van bijvoorbeeld 50 centimeter, in plaats van de door de KLIC gehanteerde 2 meter. Mijn aanbeveling voor gemeentes is dan ook om kabels, leidingen en buizen in de ondergrond door middel van een radar in kaart te brengen. Dit zal echter een dure opgave worden voor zowel grote als kleine gemeentes en kan hierdoor niet haalbaar worden. Echter, door het gebruik van deze ondergrondse radar wordt de beschikbare data accurater en is de mogelijkheid om een rekenkundig (code)model toe te passen vergroot en kan het op de lange termijn de kosten en mogelijke graafschade verkleinen.

5.3 Vervolgonderzoek

Een vervolgonderzoek kan uitgevoerd worden door dit bestaande onderzoek uit te breiden met gegevens van de diepteliggingen van de kabels, leidingen en buizen en hoe deze gebruikt kunnen worden om de beschikbare ruimte in de ondergrond te berekenen. De diepteliggingen zouden mogelijk een belangrijke factor kunnen vormen bij de hoeveelheid beschikbare ruimte in de ondergrond die in dit onderzoek niet meegenomen is.

Literatuurlijst

Almere20. (2021, juni). Almere: Stad met toekomst.

Geraadpleegd op 28 december 2022, van

<https://almere20.nl/wp-content/uploads/2021/07/Almere-stad-met-toekomst-klein.pdf>

Amsterdam. (2019–2022, januari 1). *Kerncijfers gebieden | Website Onderzoek en Statistiek*

[Dataset]. <https://onderzoek.amsterdam.nl/interactief/dashboard-kerncijfers>

Arends, G., Van Gelder, L. A., Kamphuis, A. W. M., Koenis, J. P., Rolf, F. H., & Van der Vliet,

M. J. (Reds.). (2002). *Inleiding Ondergronds Bouwen*. <https://www.cob.nl/wp-content/uploads/2018/01/Inleiding-Ondergronds-Bouwen.pdf>

Bomen | 1 (Versie 2022). (2022) [Dataset]. Gemeente Amsterdam

https://maps.amsterdam.nl/open_geodata/?k=254

Bomen | 2 (Versie 2022). (2022) [Dataset]. Gemeente Amsterdam

https://maps.amsterdam.nl/open_geodata/?k=255

Bomen | 3 (Versie 2022). (2022) [Dataset]. Gemeente Amsterdam

https://maps.amsterdam.nl/open_geodata/?k=256

Bomen | 4 (Versie 2022). (2022) [Dataset]. Gemeente Amsterdam

https://maps.amsterdam.nl/open_geodata/?k=257

Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district

heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 504–522.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059>

Cambridge Dictionary. (2022, 29 juni). *underground definition: 1. below the surface of the earth; below ground: 2. An underground activity is secret and usually. . . Learn more.*

Geraadpleegd op 1 juli 2022, van

<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/underground>

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021, 15 februari). 3. *Stand van zaken per SDG.*

Geraadpleegd op 6 juni 2022, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/vijf-jaar-implementatie-van-de-sdg-s-in-nederland--2016-2020--/3-stand-van-zaken-per-sdg>

Egyed, C. E. G., Visser, H., & Tromp, E. (2008). *Inventarisatie ondergrondse infrastructuur: Duurzame onderhoudsstrategie voor voorzieningen op 'slappe bodem'. ()*. Delft Cluster.

Ennatuurlijk. (z.d.-a). *Ennatuurlijk | Wat is een warmtenet?* Ennatuurlijk.nl. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten-van-ennatuurlijk/wat-is-een-warmtenet>

Feenstra. (2020, 12 november). *Warmtenet: duurzame belofte voor de toekomst.*

Geraadpleegd op 20 mei 2022, van

<https://www.feenstra.com/zorgelooswonen/warmtenet-duurzame-belofte-voor-de-toekomst/>

Finney, K. N., Zhou, J., Chen, Q., Zhang, X., Chan, C., Sharifi, V. N., Swithenbank, J., Nolan, A., White, S., Ogden, S., & Bradford, R. (2013). Modelling and mapping sustainable heating for cities. *Applied Thermal Engineering*, 53(2), 246–255.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.009>

Gemeente Almere. (2016). *HANDBOEK KABELS & LEIDINGEN GEMEENTE ALMERE 2016*.

[https://www.almere.nl/fileadmin/files/almere/bestuur/beleidsstukken/Verordening
en_en_nadere_regels/Handboek_Kabels_en_Leidingen__gemeente_Almere_18-1-
2016.pdf](https://www.almere.nl/fileadmin/files/almere/bestuur/beleidsstukken/Verordening_en_en_nadere_regels/Handboek_Kabels_en_Leidingen__gemeente_Almere_18-1-2016.pdf)

Gemeente Amsterdam. (2021, 8 april). *Besluit van het college van burgemeester en*

*wethouders van de gemeente Amsterdam houdende regels omtrent werkzaamheden
aan de infrastructuur in de openbare ruimte (Nadere Regels WIOR (2021))*. Lokale
Regelgeving. Geraadpleegd op 2 juli 2022, van

<https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR656374/1>

Gemeente Rotterdam. (2022, januari). *Handboek beheer ondergrond Rotterdam*.

[https://www.rotterdam.nl/loket/documentenkcc/handboekBeheerOndergrondRott
erdam.pdf](https://www.rotterdam.nl/loket/documentenkcc/handboekBeheerOndergrondRotterdam.pdf)

Instituut voor de Nederlandse Taal. (2022). *Infrastructuur - ANW (Algemeen Nederlands*

Woordenboek). <https://Anw.Ivdnt.Org/Article/Infrastructuur>. Geraadpleegd op 6
juni 2022, van <https://anw.irdnt.org/article/infrastructuur>

International Energy Agency. (2021, november). *District Heating – Analysis*. IEA.

Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://www.iea.org/reports/district-heating>

Li, Y., Rezgui, Y., & Zhu, H. (2017). District heating and cooling optimization and

enhancement – Towards integration of renewables, storage and smart grid.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72, 281–294.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.061>

- Lund, H., Østergaard, P. A., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., Mortensen, B. O. G., Mathiesen, B. V., Bojesen, C., Duic, N., Zhang, X., & Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy*, 164, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>
- Lund, H., Østergaard, P. A., Nielsen, T. B., Werner, S., Thorsen, J. E., Gudmundsson, O., Arabkoohsar, A., & Mathiesen, B. V. (2021). Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*, 227, 120520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120520>
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). *Energy*, 68, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2022, 17 mei). *Hybride warmtepomp de nieuwe standaard vanaf 2026*. Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/05/17/hybride-warmtepomp-de-nieuwe-standaard-vanaf-2026>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, 14 april). *Klimaatbeleid*. Klimaatverandering | Rijksoverheid.nl. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>
- Onder- en bovengrondse Afvalcontainers en putten (Versie 2020). (2020) [Dataset]. Gemeente Amsterdam <https://api.data.amsterdam.nl/dcatd/datasets/j9-Ddad9JWYPrQ/purls/5>

- Østergaard, D., & Svendsen, S. (2017). Space heating with ultra-low-temperature district heating – a case study of four single-family houses from the 1980s. *Energy Procedia*, 116, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.070>
- Phase to Phase. (c. 2020). *Spanningsniveaus*. Phase To Phase. [https://Phase to Phase. \(z.d.\)](https://Phase to Phase. (z.d.)).
- Netten voor distributie van elektriciteit, hoofdstuk 2.
- https://phasetophase.nl/boek/pics_boek/2_netten/2.2.png
- Rezaie, B., & Rosen, M. A. (2012). District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. *Applied Energy*, 93, 2–10.
- <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.020>
- SDG Nederland. (2022, 26 januari). *De 17 SDG's*. Geraadpleegd op 6 juni 2022, van <https://www.sdgnerland.nl/de-17-sdgs/>
- Tim Ruijs (2021). *1. Hoog temperatuurwarmtenet*.
- United Nations. (z.d.). *The Paris Agreement*. United Nations - Climate Change. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- United Nations. (2019). *SDG Poster 2019* [Illustratie]. United Nations.
- <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/08/E-SDG-2019-posters.zip>
- Van Dale. (2022). *Infrastructuur*. Geraadpleegd op 6 juni 2022, van <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/infrastructuur>
- Von Rhein, J., Henze, G. P., Long, N., & Fu, Y. (2019). Development of a topology analysis tool for fifth-generation district heating and cooling networks. *Energy Conversion and Management*, 196, 705–716. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.066>

Warmtenetten voor beginners. (2022, 7 april). Stichting Warmtenetwerk. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://warmtenetwerk.nl/beginners/>

Werkgroep Handboek Groen. (2020, 23 oktober). Puccini Handboek Groen - Standaard voor het Amsterdamse Straatbeeld. [openresearch.amsterdam](https://openresearch.amsterdam.nl/page/55757/puccini-handboek-groen---standaard-voor-het-amsterdamse-sstraatbeeld). Geraadpleegd op 19 juli 2022, van <https://openresearch.amsterdam.nl/page/55757/puccini-handboek-groen---standaard-voor-het-amsterdamse-sstraatbeeld>

Wikipedia-bijdragers. (2022, 5 december). Almere. Wikipedia.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Almere>

Zhu, C., Xie, X., & Jiang, Y. (2016). A multi-section vertical absorption heat exchanger for district heating systems. *International Journal of Refrigeration*, 71, 69–84.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.08.010>

Bijlagen

Bijlage I

1 | Algemeen Onderdeel

1. Wie bent u?
2. Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?
3. Wat is uw functie?

2 | Validiteit van de literatuur

1. Welke kabels, leidingen en buizen liggen er in een gemiddelde straat in {gemeente/overheidsinstelling}?
2. Waar wordt rekening mee gehouden bij het plaatsen van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond in {gemeente/overheidsinstelling}?

3 | Praktijk

1. Hoe wordt er nu vastgesteld over voldoende ruimte aanwezig is in de ondergrond?
2. Wat gebeurt er al er voldoende ruimte is?
3. Wat gebeurt er als er onvoldoende ruimte is?

4 | Berekening

1. Is er een berekening bij {gemeente/overheidsinstelling} die gebruikt wordt om vast te stellen hoeveel ruimte er aanwezig is in de ondergrond?

Bijlage II

Wie bent u?	GAm
Wat is uw functie?	Specialist Ondergrondse Infrastructuur bij de Gemeente Amsterdam
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Ik ben 7 jaar actief in deze functie.
Hoe lang bent u al in deze functie?	Ik zit al 10 jaar in het werkveld van kabels en leidingen
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	Vanaf de gevel van een woning is de indeling telecom, gas, water, elektriciteit, riool en warmte/koude. De verdere verdeling is transport en distributie. Transportkabels en leidingen liggen voornamelijk in het weg-deel en de distributie hoofdzakelijk in het trottoir, hier kan per situatie van afgeweken worden, maar deze indeling wordt eigenlijk zoveel als mogelijk is gebruikt.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	Eigenlijk spelen er drie factoren een belangrijke rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond: (1) de onderlinge afstanden tussen kabels, leidingen en buizen, (2) bomen en boomwortels en (3) ondergrondse containers.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	De volgorde hoe het ligt vanaf de gevel is, zoals eerder benoemd, telecom, gas, water, elektriciteit, riool en warmte/koude. In het trottoir is veel distributie te vinden en juist weinig transport. In de weg ligt voornamelijk het riool en warmte en koude leidingen.
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Zo min mogelijk eigenlijk, maar als het echt niet anders kan dan wel. Maar over het algemeen niet.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	Van deze doorgaande indeling wordt zo min mogelijk afgeweken, dit om te voorkomen dat er graafschade op zal treden bij het plaatsen van andere/nieuwe kabels en leidingen. Wel kan het voorkomen dat een situatie vraagt om een andere indeling van de ondergrond.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Sinds kort wordt het wat meer gedaan, maar eigenlijk is het voornamelijk ervaring met situaties daar in het gebied of vergelijkbare situaties in andere gebieden. Veel wordt er niet berekend, er wordt voornamelijk gekeken of het "gewoon" past.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Dan wordt er een vergunning afgegeven om de kabel, leiding of buis te leggen in de ondergrond, mits natuurlijk de afstand tot de andere kabels, leidingen en buizen gehandhaafd blijft.

Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Als het blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is, dan wordt er overleg gepleegd met de andere beheerders van ondergrondse infrastructuur om te kijken hoe een nieuwe kabel, leiding of buis toch in te kunnen passen.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Nee eigenlijk wordt er geen berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Het is erg lastig om goed te bepalen of er voldoende ruimte is aan de hand van tekeningen of een GIS. Kabels, leidingen en buizen zijn niet altijd goed ingemeten of op de juiste plaats ingetekend, waardoor het in de praktijk er volledig anders uit kan zien dan op papier. Vaak wordt er door een ervaren specialist naar gekeken om dit te kunnen bepalen zonder meetwerk.

Bijlage III

Wie bent u?	IBA
Wat is uw functie?	Technisch projectmanager
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Ik ben al 8 jaar actief in mijn huidige functie.
Hoe lang bent u al in deze functie?	Sinds 2008 ben ik actief in dit werkveld, dus 14 jaar.
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	Er wordt onderscheid gemaakt in transport en distributie, verder is de vanaf de gevel van een woning naar het midden van een straat: telecom, gas, water, elektriciteit, riool en warmte/koude.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	Een aantal factoren waar wij rekening mee houden bij het plaatsen van kabels, leidingen of buizen bij de Gemeente Amsterdam zijn de huidige en toekomstige bomen. Bomen hebben veel ruimte nodig en kabels, leidingen en buizen willen we zoveel mogelijk uit de weg van de bomen leggen in verband met de wortelgroei. Daarnaast houden we rekening met de ondergrondse containers, deze nemen een stuk van de ondergrondse ruimte in en daar moeten de kabels, leidingen en buizen omheen gelegd worden. Waterberging en wadi's hebben een bepaalde vraag naar de ondergrondse ruimte, hier houden we rekening mee, maar de kabels, leidingen en buizen zouden wel in deze ruimte kunnen liggen. In mindere mate houden we ook rekening met mogelijke restanten van oude funderingen en grote beheerbuizen waar kabels, leidingen en buizen doorheen gelegd kunnen worden.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	Telecom, gas, water, elektriciteit, riool en warmte/koude. Waar de distributie van telecom, gas, water, elektriciteit in het trottoir liggen, net als de huisaansluiting van het riool. De koude-/warmteleidingen liggen in de weg, samen met het transportrioel.
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Nee eigenlijk wordt er niet van deze doorgaande indeling afgeweken.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	Eigenlijk wordt er zo min mogelijk afgeweken. Maar als het wel gedaan wordt is het zwaar scenario afhankelijk en onvoorspelbaar. Sommige scenario's vragen wel om een andere indeling, maar we proberen het altijd zo dicht mogelijk bij onze indeling te krijgen. Er wordt namelijk het liefst zo min

	mogelijk afgeweken van die indeling om duidelijkheid te creëren voor onszelf en de andere beheerders.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Het gebeurt sinds kort wat meer, maar is afhankelijk van de situatie van de straat. Vooral in grotere gebieden gebeurt dit steeds meer. Maar meestal wordt er weinig mee gedaan, vaak is het onduidelijk wat ermee gebeurt en of de situatie wel klopt.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Soms worden de nieuwe kabels en leidingen geplaatst, maar vaak is het een explorerend onderzoek, waar in de toekomst mogelijk rekening mee gehouden kan worden. Als je de opgave weet, dan gebeurt er wat mee.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Eigenlijk wordt er met onvoldoende ruimte bedoeld dat de nieuwe leiding niet past met de huidige regelgeving. Maar als dit gebeurt, dan moeten deze op een andere plek gelegd worden en moet er gesproken worden met andere beheerders of dit voor hen een probleem is dat het daar komt te liggen.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Zoals eerder gezegd gebeurt het wel wat vaker ondertussen, maar is dit nog steeds niet een vast gegeven dat dit gedaan wordt.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Het is momenteel nog heel erg handwerk en is lastiger met een vaste berekening te berekenen, omdat het zo zeer situatieafhankelijk is.

Bijlage IV

Wie bent u?	GR
Wat is uw functie?	Adviseur ondergrondse infra
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Sinds 2000 ben ik werkzaam bij het Ingenieursbureau van Rotterdam
Hoe lang bent u al in deze functie?	De afgelopen vijf jaar ben ik werkzaam geweest als adviseur
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	De categorieën die wij hanteren voor kabels en leidingen zijn elektra, water, riool en warmte en telecom/data. Hier maken we verder onderscheid in tussen de transportkabels, -leidingen en -buizen en distributiekabels, -leidingen en -buizen.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	De factoren waar we rekening mee houden zijn: waar liggen de huidige warmteleidingen en waar liggen de hoogspanningskabels van de trams. Deze zijn belangrijk om uit de buurt te blijven. Daarnaast houden wij rekening met bomen, want deze zijn heilig binnen de Gemeente Rotterdam. De breedte van de kroon van de boom houden wij als afstand voor het plaatsen van de kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Ook houden wij rekening met ondergrondse containers.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	Vlak bij de gevel van gebouwen hebben wij: data/telecom, water, gas en elektra. In de rijbaan hebben wij riool, stadsverwarming en hoogspanning. De "ongevaarlijke" kabels, leidingen en buizen leggen wij in het trottoir en de gevaarlijke kabels, leidingen en buizen, zoals warmte, riool en elektra, leggen wij in de rijbaan.
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	De indeling in de ondergrond is bij de Gemeente Rotterdam heilig.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	Hier wordt dan ook niet van afgeweken, wel kan het zijn dat door de jaren heen kabels, leidingen en buizen anders liggen door andere inzichten op dit gebied. Het bombardement op Rotterdam gaf de Gemeente aanleiding om met een schone lei te beginnen in de stad en zo kon alles direct netjes geordend worden. Het beleid is dan ook dat we hier niet van gaan afwijken.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Nee, momenteel worden er geen berekeningen gemaakt om de overige of beschikbare ruimte in de ondergrond vast te stellen.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Dan worden de kabels, leidingen en buizen natuurlijk gelegd. Wel houden we alvast rekening met de toekomst, ook hier moet alvast duidelijkheid voor zijn.

Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Er zijn een aantal dingen we kunnen doen om het alsnog te laten passen. Het eerste is het verleggen van de bestaande indeling, kortom we leggen alles dichterbij elkaar. Het tweede wat we proberen is om aan de hand van de telecomwet de telecom en datakabels meerlaags te stapelen, hierdoor creëren we meer ruimte in de ondergrond voor andere kabels en leidingen.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Nee er wordt geen berekening gemaakt om dit te bepalen.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Er is geen specifieke reden waarom dit niet gedaan wordt. Vaak wordt het bepaald aan de hand van de opgedane ervaring van de ingenieur.

Bijlage V

Wie bent u?	GG
Wat is uw functie?	Senior Specialist Energie
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Vanaf 1990 ben ik werkzaam in het gebied van kabels, leidingen en ondergrond.
Hoe lang bent u al in deze functie?	Vanaf 2016 ben ik in mijn huidige functie getreden.
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	Er is een grove scheiding tussen telecom en anders. Telecom valt onder de telecomwet, hierbij moeten telecomproviders hun kabels verleggen als dit verlangd wordt door gemeentes of andere beheerders van de ondergrondse infra. Anders zijn de medium voerende leidingen zoals gas, water, elektra en riolering. Sinds kort hebben we de ook de leidingen warmte en koude als categorieën ingevoerd. Daarnaast hebben we nog riolering. Ook hanteren we binnen de gemeente Groningen de "verticale" leidingen, dat zijn de WKO-leidingen (WKO staat voor warmte-koude opslag).
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	Er zijn een aantal factoren waarmee we rekening houden bij de aanleg van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. We houden rekening met de huidige infrastructuur, we kijken naar wat de kabel, leiding of buis transporteert. Dit bepaalt waar de kabel, leiding of buis komt te liggen in de straat, riolering en warmte en koude komen onder de weg te liggen, de rest komt in het trottoir. Daarnaast houden we rekening met de bomen, deze willen we namelijk zo min mogelijk aantasten.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	Gemeente maakt geen onderscheid tussen transport en distributie. De verdere indeling is water, gas, elektra, telecom, riolering en warmte/koude. De leidingen en buizen voor warmte en koude liggen in het wegdeel naast de riolering. De rest plaatsen we over het algemeen in het trottoir.
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Nee, Groningen heeft verschillende ontworpen dwarsprofielen van de ondergrond die gebruikt worden om de ondergrond in te delen. Dus afwijkingen zijn er wel van gebied tot gebied, maar de indeling is altijd volgens een bepaald profiel van de Gemeente.
Zo ja, waarom?	Ja er wordt vanaf geweken, maar dit zijn geen onverwachte afwijkingen. Elk van deze profielen is per situatie toepasbaar en kunnen ook voor alle situaties toegepast worden.
Of waarom niet?	

Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Nee, hebben we hebben nog nooit een berekening gemaakt om de ondergrondse beschikbare ruimte berekenen, maar we merken wel dat het actueler begint te worden. Dit wordt echter nog amper tot niet toegepast binnen de Gemeente Groningen.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Dan gaat het project door en wordt er rekening gehouden met potentiële toekomstige ruimtevragers.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Dan wordt er gekeken naar de te maken concessies. Hierbij wordt er gekeken naar de betrokken technische aspecten, zoals afstand en diameter van de kabels, buis of leiding. Daarnaast wordt er gekeken naar de bijkomende beleidsaspecten, hier wordt er dan gekeken of dit beleidstechnisch wel mag en hoe dit ingekaderd of afgedwongen kan worden door de Gemeente. Ook wordt er sterk gekeken naar wat heeft prioriteit om te leggen en wat niet. Verzwaring van de infrastructuur heeft vaak meer prioriteit dan het plaatsen van nieuwe infrastructuur.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Er wordt nu niet echt een berekening gemaakt. Dat is afhankelijk van wat er moet gebeuren, wij noemen dat de business case.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Zoals ik eerder heb aangegeven is dat het business case afhankelijk is. We kunnen niet een gestandaardiseerde formule voor alles gebruiken, ook al zou dat het wel makkelijker kunnen maken. We hebben voornamelijk te maken met hand-oog werk, aan de hand van wat we zien kunnen we een redelijke inschatting maken in de mogelijkheden in het gebied.

Bijlage VI

Wie bent u?	GZ
Wat is uw functie?	Ik ben een Coördinator ondergrondse infrastructuur van de Gemeente Zaanstad.
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Ik ben al bijna 30 jaar werkzaam in dit werkveld.
Hoe lang bent u al in deze functie?	In het begin begon ik alleen met één toezichthouder. Door de jaren heen veranderde de functie en ik werk nu met 2 coördinatoren, 2 vergunningsverleners, 2 toezichthouders. In de 30 jaar is de functie weinig veranderd, maar is er steeds meer bijgekomen.
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	De categorieën die wij hanteren bij de Gemeente Zaanstad zijn hetzelfde als alle andere gemeentes in Noord-Holland, hier zit geen verschil in. De categorieën zijn dan telecom, gas, water, telecom, riolering en warmte/koude.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	De factoren waar we tegenwoordig rekening mee houden bij het plaatsen zijn onder andere de beschikbare ruimte, wat makkelijker is voor het onderhoud van de kabels en leidingen, de aanwezige ondergrondse vuilcontainers, bomen, waar de bestaande infrastructuur ligt en sinds kort de nieuwe 5G-telecommasten, waar meer en dikkere kabels voor benodigd zijn.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	De doorgaande indeling die wij tegenkomen binnen de Gemeente Zaanstad is vanaf de gevel van een gebouw tot het hart van de straat: water, gas, elektra, telecom, transport elektra, warmte en riolering. De riolering en warmte worden in het wegdeel geplaatst en de rest in het trottoir. Als er delen niet in het trottoir passen, worden de onderdelen die het dicht bij de weg liggen in het wegdeel geplaatst.
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Nee, er wordt eigenlijk niet afgeweken van deze doorgaande indeling.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	Het beleid vanuit de Gemeente Zaanstad is dat er niet afgeweken wordt van deze doorgaande indeling. Dit beleid hebben we ingesteld om duidelijk voor onszelf te hebben en duidelijkheid te scheppen voor de netbeheerders, zodat ze een goed idee hebben waar een kabel, leiding of buis van een andere beheerder te vinden is.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Er geen berekening gemaakt om dit vast te stellen. Aan de hand van de huidige situatie wordt er gekeken wat er benodigd is in die specifieke situatie. Als er bijvoorbeeld 1,5 meter nodig is voor een

	warmteleiding, dan wordt er gekeken of deze ruimte aanwezig is.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Een kabel, leiding of buis wordt gelegd aan de hand van een samenspel van verschillende factoren. Er wordt gekeken naar de noodzaak en de ruimte. Vaak kiezen we voor verzwaring, maar als er een nieuwe kabel moet komen dan wordt deze natuurlijk gewoon gelegd als dit beleidstechnisch past.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Als er onvoldoende ruimte blijkt te zijn wordt er eerst gevraagd aan de telecombeheerders of zij plaats kunnen maken of dat ze het kunnen verleggen, dit in verband met de telecommunicatiewet wat telecombeheerders als KPN en Ziggo verplicht om hun kabels te verleggen. Daarna wordt er overlegd gepleegd tussen de verschillende andere beheerders om te kijken waar de mogelijkheden liggen voor de nieuwe kabel, leiding of buis in de ondergrond. Dit is vaak de beste en enige oplossing.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Nee er wordt geen berekening gemaakt of een gestandaardiseerde formule gebruikt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te berekenen.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Er is geen specifieke formule om de beschikbare ruimte in de ondergrond te berekenen. Er wordt gekeken naar de ondergrond aan de hand van een model de KLIC. Samen met de KLIC wordt er bepaald aan de hand van praktische kennis of de nieuwe kabel of leiding gaat passen in de ondergrond. Een nadeel van de KLIC is dat deze achterloopt: soms is een kabel, leiding of buis wel fysiek aanwezig en niet in de KLIC ingetekend en soms is er een kabel, leiding of buis verwijderd en is deze nog steeds op de KLIC ingetekend. Een ander nadeel wat we veel tegenkomen van de KLIC is dat er twee meter speling

	mag zijn op de plaats waar het volgens de KLIC ligt. Binnen de Gemeente Zaanstad vinden we het belangrijker dat iets praktisch gecontroleerd wordt aan de hand van proefsleuven dan dat er uitgegaan wordt van een model. Maar er wordt dus geen berekening gemaakt aan de hand van de bestaande situatie, het is veel praktische kennis en een kleine berekening of de wettelijke afstanden wel toegepast kunnen worden.
--	--

Bijlage VII

Wie bent u?	GAI1
Wat is uw functie?	Technicus Kabels en Leidingen
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	Ongeveer 5,5 jaar ben ik actief in het werkveld van kabels en leidingen
Hoe lang bent u al in deze functie?	Ik werk nu 1,5 jaar voor de Gemeente Almere in deze functie.
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	Binnen de Gemeente Almere hanteren wij water, gas, telecom, stadsverwarming, riolering, elektra (met hierin laag- en midden spanning) en hoogspanning, welke wij specifiek hebben beschreven.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	We houden met veel factoren rekening bij de plaatsing van kabels en leidingen, maar de grootste obstakels zijn toch wel bomen en afvalcontainers door hun ruimteclaim op de ondergrond.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Van deze indeling wordt er zelden tot nooit afgeweken.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	We kijken hier niet vanaf omdat we duidelijk willen scheppen voor zowel onszelf, als gemeente zijnde, als voor de beheerders.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Nee er wordt geen berekening gemaakt.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	In principe is er altijd ruimte in de wegen binnen de gemeente (Almere). Doordat de gemeente altijd de structuur van de kabels, leidingen en buizen heeft bepaald, kunnen we met een vrij grote zekerheid zeggen dat er altijd ruimte in de ondergrond aanwezig is.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in	Als er in een ongunstig geval geen ruimte is, proberen we met de beheerders om tafel te gaan zitten en hier goede en duidelijke afspraken over te maken.

de ondergrond aanwezig is?	
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Nee we berekenen, zoals eerder gezegd, eigenlijk niet of er ruimte aanwezig is in de ondergrond.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Doordat we altijd voldoende ruimte hebben en goede afspraken hebben met alle betrokken partijen, vinden wij het niet echt nodig om dit te berekenen.

Bijlage VIII

Wie bent u?	GAI2
Wat is uw functie?	Technicus Kabels en Leidingen
Hoe lang bent u al actief in dit werkveld?	15 jaar ben ik actief in dit werkveld
Hoe lang bent u al in deze functie?	Van deze 15 jaar werk ik nu 10 jaar lang bij de Gemeente Almere in deze functie.
In de literatuur van verschillende gemeentes en instellingen blijkt er een aantal categorieën voor kabels, leidingen en buizen te zijn. Welke categorieën hanteert u hiervoor?	Water, gas hoge- en lagedruk, telecom, stadsverwarming, riolering, elektra (laag- (60 cm diep gelegd) en midden spanning (100 cm diep gelegd) en de 150kV-kabel, de hoogspanningskabels, hebben wij in de gemeente Almere specifiek beschreven.
Welke factoren spelen een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond? {Een voorbeeld kan zijn: bomen}	Eigenlijk spelen alle bovengrondse factoren een rol bij de plaatsing van kabels, leidingen en buizen in de ondergrond. Elk object wat bovengronds staat heeft een bepaalde claim op de ondergrondse ruimte. Maar in het specifiek houden wij vooral rekening met bomen en ondergrondse vuilcontainers, voor bomen hebben wij een apart schema en voor vuilcontainers hanteren wij $\pm 1,5$ meter ruimtebeslag in de breedte van de weg. In het centrum van Almere moeten wij ook nog rekening houden met het ondergronds afvalstelsel, waar de afvalbakken uit de binnenstad wordt leeggezogen en naar een centraal punt gebracht wordt.
Wat is de doorgaande indeling die u tegenkomt in de grond?	
Wordt er van deze "doorgaande indeling" regelmatig afgeweken?	Nee er wordt zelden tot nooit van deze indeling afgeweken.
Zo ja, waarom?	
Of waarom niet?	Alleen onder hele specifieke omstandigheden of in uiterste situaties wordt ervan afgeweken, maar zelfs dan wordt het zoveel mogelijk niet gedaan. We hebben binnen de gemeente een aantal varianten voor indelingen, waar de diepte waar kabels, leidingen en buizen dan liggen variabel op zijn.
Wordt er een berekening gemaakt om de overige ruimte in de ondergrond vast te stellen?	Nee er wordt geen berekening gemaakt. Voorafgaand aan een project maken wij een plan, van het verkavelingspatroon en de hoofdstructuur, waar (bijna) alle factoren in verwerkt zitten en waar kabels, leidingen en buizen op een goede afstand van elkaar gescheiden worden.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er voldoende	In de gemeente Almere hebben we eigenlijk altijd ruimte. Dus als er een nieuwe kabel, leidingen of buis de grond in moet kan

ruimte in de ondergrond aanwezig is?	dit eigenlijk bijna altijd gedaan worden. Soms moeten er afspraken gemaakt worden tussen de verschillende beheerders hierover, maar eigenlijk kan er altijd een nieuwe kabel, leiding of buis geplaatst worden.
Wat gebeurt er als er blijkt dat er onvoldoende ruimte in de ondergrond aanwezig is?	Als het niet past worden er onderlinge afspraken gemaakt, net als wanneer het wel past. Dit is echter niet vaak nodig en, zoals eerder gezegd, past het eigenlijk altijd wel.
Wordt er nu een berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond te meten?	Nee er wordt geen berekening gemaakt om de beschikbare ruimte in de ondergrond vast te stellen.
Zo ja, wat is deze berekening dan?	
Welke onderdelen worden meegenomen in de berekening?	
Is deze berekening een uniforme werkwijze? Of is deze specifiek voor de {INSTELLING}?	
Staat het al lang vast hoe deze berekening gemaakt wordt?	
Zijn er (technologische ontwikkelingen) waar de berekening rekening mee moet (gaan) houden?	
Zo niet, waarom niet?	Dit doen we niet, om een aantal verschillende redenen: ten eerste is de situatie op het spreekwoordelijke papier altijd anders dan in de praktijk. Ten tweede is de uitwerking in de praktijk altijd belangrijker dan de planning vooraf. Ten derde is het intekenen van tracés meer goed kijken en logisch nadenken dan het mathematisch berekenen. Als je heel goed kijkt naar de onderlinge afstanden en straatbreedtes zal de theorie in de praktijk eigenlijk nooit passen. De profielen zijn opgesteld in een wereld waarin alles past en de “overige” ruimtevragers geen obstakel vormen voor de kabel, leidingen en buizen tracés. Een berekening zal veel te ingewikkeld worden met alle ruimtevragers van boven- en ondergronds, afstanden, diameters van kabels, etc. Aan elk object zal dan een waarde

	meegegeven moeten worden met een bepaalde afstand. Maar om dit in een GIS of in een code te zetten zal een uiterst ingewikkeld proces worden.
--	---

Bijlage IX

```
# importeren van de benodigde python modules
import dbf
from statistics import mean
import time

start = time.time()

# Aangeven welke dbf-file geïmporteerd moet worden en dat deze in read_write moet worden ingelezen
table = dbf.Table('NEW_Eind_Wegvakken.dbf').open(mode=dbf.READ_WRITE)

# Vaststellen hoeveel ruimte er benodigd is. Afhankelijk van maatvoering, wordt bepaald hoe en of het getal
# vermenigvuldigd wordt
inputRequired = float(input("Hoeveel ruimte is er maximaal nodig? ")), str(
    input("m, dm, cm of mm "))
if inputRequired[1] == "m":
    required = inputRequired[0] * 1000
elif inputRequired[1] == "dm":
    required = inputRequired[0] * 100
elif inputRequired[1] == "cm":
    required = inputRequired[0] * 10
else:
    required = inputRequired[0]

# Default values (terugvalwaardes) aanmaken als niets ingevoerd wordt
# Wordt berekend aan de hand van de genoemde matrix
# Afstandswaarde tussen zelfde klb is verwijderd
defAf1 = mean([700, 600, 700, 1000, 1000, 1000]) # telecom
defAf2 = mean([700, 700, 700, 1000, 1000, 1000]) # gas
defAf3 = mean([700, 600, 700, 1000, 1000, 1000]) # elektra
defAf4 = mean([1000, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000]) # koude
defAf5 = mean([1000, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000]) # warmte
defAf6 = mean([700, 700, 700, 1000, 1000, 1000]) # drinkwater
defAf7 = mean([1000, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000]) # riool
# Gebruiker kan zelf waardes ingeven
af1 = int(input("Afstand van telecom? ") or defAf1)
af2 = int(input("Afstand van gas? ") or defAf2)
af3 = int(input("Afstand van elektra? ") or defAf3)
af4 = int(input("Afstand van koude? ") or defAf4)
af5 = int(input("Afstand van warmte? ") or defAf5)
af6 = int(input("Afstand van drinkwater? ") or defAf6)
af7 = int(input("Afstand van riolering? ") or defAf7)

# Default value voor diameter kabels, leidingen en buizen
standardValue = 150

# Bekijkt of er in de DBF file geen kolommen aanwezig zijn met dezelfde namen
if any("USED" in x for x in table.structure()):
    pass
    # print("Is aanwezig")
else:
```

```

    table.add_fields('Used N(10,2)')
    # print("Wordt aangemaakt")
if any("EXCESS" in x for x in table.structure()):
    pass
    # print("Is aanwezig")
else:
    table.add_fields('Excess N(10,2)')
    # print("Wordt aangemaakt")
if any("AVOID" in x for x in table.structure()):
    pass
    # print("Is aanwezig")
else:
    table.add_fields('Avoid C(10)')
    # print("Wordt aangemaakt")

# Iteratie over alle aangegeven kolommen
# Calculeren van de formules

for record in dbf.Process(table):
    if record[2] is None:
        continue
    else:
        street = record[1] * 1000
        # Werkbare lijsten opzetten
        inputListKLB = [
            ["telecom", record[2], record[3]],
            ["gas", record[4], record[5]],
            ["elektra", record[6], record[7]],
            ["koude", record[8], record[9]],
            ["warmte", record[10], record[11]],
            ["drinkwater", record[12], record[13]],
            ["riool", record[14], record[15]],
        ]

        calculationList = []

        for item in inputListKLB:
            if item[1] != 1:
                continue
            else:
                if item[2] != 0:
                    calculationList.append(item[2])
                else:
                    calculationList.append(standardValue)

        inputListDistance = [af1, af2, af3, af4, af5, af6, af7]

# Compare function aanmaken

```

```

def compare(item1, item2):
    if item1 > item2:
        return True
    else:
        return False

# Welke afstand is het grootst?
for i in range(len(inputListDistance) - 1):
    if compare(inputListDistance[i], inputListDistance[i + 1]):
        calculationList.append(inputListDistance[i])
    else:
        calculationList.append(inputListDistance[i + 1])

# Zijn er bomen aanwezig?
# Zo ja, return 2 voor 2 meter en 1 voor 1 meter
def compareTree(inputListTree):
    if inputListTree[0] == 1 and inputListTree[1] == 1 and inputListTree[2] == 1:
        return 2
    if inputListTree[0] == 1 or inputListTree[1] == 1:
        return 2
    if inputListTree[0] == 0 and inputListTree[1] == 0 and inputListTree[2] == 1:
        return 1
    return 0

inputListTree = [record[16], record[17], record[18]]
treeResult = compareTree(inputListTree)
# 2 meter voor aanwezigheid van boomcategorie 1 en 2, 1 meter voor boomcategorie 3.
# * 1000 om om te zetten naar millimeter
calculationList.append(treeResult*1000)

# Afvalcontainers aanwezig?
container = record[19]

if container == 1:
    calculationList.append(1.5)
else:
    pass

# Eerder aangemaakte kolommen invullen met de waardes
# Hoeveel ruimte is er in gebruik?
used = sum(calculationList)
record[-3] = used
# Hoeveel ruimte is er nog over?
excess = street - used
record[-2] = excess
# Avoid straat voor transport of niet?
if excess < required:
    record[-1] = 'Transport'
else:
    record[-1] = ''

```

```
else: # Als de for loop is afgerond, voer de volgende codes uit
    # Exporteren de dbf file naar CSV voor simpele check
    dbf.export(table)
    # Afsluiten van de tabel om op te slaan
    table.close()
    # Hoe lang heeft het geduurd om deze code door te lopen?
    end = time.time()
    print(end - start, "seconden")
```

Bijlage X

Comsof Heat Designer 22.12.1824

File Settings License Help

Rules & Material

- Rules
- Common
- Demand
- Distribution
- Transport
- Return on Investment

Rules - Common

Notes

Description of the Rules

Costs

Pipe costs

Relative cost per nominal diameter per meter

Route type	Relative Cost
Standard route (€ / (mm.m))	€8.00
Service connection route (€ / (mm.m))	€8.00

Add another SUBTYPE

Import SUBTYPES

Dimensioning Method

Based on peak power and simultaneity

Season profiles

Name	Days active per year	Energy fraction	Distribution supply temperature	Distribution return temperature	Transport supply tempera
Winter	90	50.0	90.0	50.0	120.0
Mid season	180	30.0	90.0	50.0	120.0
Summer	90	20.0	90.0	50.0	120.0

Engineering parameters

Ground thermal conductivity (W / (m.K))

1.6

Wet ground thermal conductivity (W / (m.K))

2.2

Ground temperature (°C)

10.0

Ground-to-air transition insulance (m².K / W)

0.0685

Comsof Heat Designer 22.12.1824

File Settings License Help

Rules & Material

- Rules
- Common
- Demand
- Distribution
- Transport
- Return on Investment

Name	Days active per year	Energy fraction	Distribution supply temperature	Distribution return temperature	Transport supply tempera
Winter	90	50.0	90.0	50.0	120.0
Mid season	180	30.0	90.0	50.0	120.0
Summer	90	20.0	90.0	50.0	120.0

Engineering parameters

Ground thermal conductivity (W / (m.K))

1.6

Wet ground thermal conductivity (W / (m.K))

2.2

Ground temperature (°C)

10.0

Ground-to-air transition insulance (m².K / W)

0.0685

Ground water depth (m)

1.0

Total area height difference (m)

0.0

Equipment

Equipment Type	Main Pipe	Branch Pipe	Main Pipe	New Cost	
				Material	Labour
T-Joint				€0.00	€0.00

Equipment Type	Incoming Pipe	Outgoing Pipe		New Cost	
				Material	Labour
Reduction				€0.00	€0.00

Equipment Type	Incoming Pipe	Outgoing Pipe		New Cost	
				Material	Labour
Y-Joint				€0.00	€0.00

Equipment Type	Pipe			New Cost	
				Material	Labour
Pipe Joint				€0.00	€1.00

Comsof Heat Designer 22.1.2.1824
File Settings License Help

Rules & Material

Rules
Common
Demand
Distribution
Transport
Return on Investment

Rules - Demand

Activation costs

Consumer substation

No identifier	Max power (kW)	Material	Cost	Labour
50		€0.00	€0.00	
∞		€0.00	€0.00	

Extra activation costs

No identifier	Activation Type	Min # living units	Material	Cost	Labour
	Activation Type	Home			

Identifier
Import Identifiers

Tariff

Identifier	Tariff (€ / kWh)	Connection fee (€ / Building)	Monthly fee (€ / Home)
<default>	€0.04	€0.00	€0.00

Import Identifiers

Comsof Heat Designer 22.1.2.1824
File Settings License Help

Rules & Material

Rules
Common
Demand
Distribution
Transport
Return on Investment

Rules - Distribution

Design parameters

Temperature

Supply temperature (°C) 90.0
Return temperature (°C) 50.0

Design constraint

☒ Design by flow velocity
☐ Design by pressure gradient
☒ Design by pressure number
Pressure number
Pressure margin (bar) 0.5

Pressure

Min. pressure difference at consumer substation (bar) 0.5
Min. pressure at end of return pipe (bar) 2.0
Extra pressure loss (%) 10.0

Simultaneity

Heating Demand selection Hot water demand and space heating demand with priority switching
Space Heating Simultaneity $x \cdot (1 - x) / n$
Lower threshold simultaneity factor (parameter x) 0.62
Hot Water Simultaneity $1 / \sqrt{n}$

Strategy

Clustering strategy
How should the Distribution point location be determined? No preference (optimize location)
Maximum distance substation to demand point (m) 500.000

Substation

Total cluster size (excluding losses) 2.0 MW
☐ Use peak source 0.5 MW

Comsof Heat Designer 22.12.1824

FileSettingsLicenseHelp

Rules & Material

Rules

Common

Demand

Distribution

Transport

Return on Investment

Substation

Total cluster size (excluding losses)

2.0

MW

Use peak source

0.5

MW

Substation size

2

MW

Maximum yearly production (MWh / y)

10000

MWh / y

Pipe definitions

Nominal diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes	
DN20	26.9 mm	2.6 mm	110 mm	3 mm	0.15 mm	1 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN25	33.7 mm	2.6 mm	110 mm	3 mm	0.15 mm	1 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN32	42.4 mm	2.6 mm	125 mm	3 mm	0.15 mm	1.3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN40	48.3 mm	2.6 mm	125 mm	3 mm	0.15 mm	1.5 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN50	60.3 mm	2.9 mm	140 mm	3 mm	0.15 mm	1.7 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN65	76.1 mm	2.9 mm	160 mm	3 mm	0.15 mm	1.9 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN80	88.9 mm	3.2 mm	180 mm	3 mm	0.15 mm	2.2 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN100	114.3 mm	3.6 mm	225 mm	3.2 mm	0.15 mm	2.4 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN125	139.7 mm	3.6 mm	250 mm	3.4 mm	0.15 mm	2.6 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN150	168.3 mm	4 mm	280 mm	3.6 mm	0.15 mm	2.8 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN200	219.1 mm	4.5 mm	355 mm	4.1 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN250	273 mm	5 mm	450 mm	4.8 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN300	323.9 mm	5.6 mm	500 mm	5.2 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C

Add another pipe definition

Import pipe definitions

Count number of pipe joints needed

Service connection pipe definitions

Use dedicated Service Connections Pipe Definitions

Nominal diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes
------------------	-------------------------------	------------------------	-------------------------------	------------------------	-----------	--------------------	------------------------	--------------------	------------------------

Add another pipe definition

Import pipe definitions

Count number of pipe joints needed

Comsof Heat Designer 22.12.1824

FileSettingsLicenseHelp

Rules & Material

Rules

Common

Demand

Distribution

Transport

Return on Investment

DN200	219.1 mm	4.5 mm	355 mm	4.1 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN250	273 mm	5 mm	450 mm	4.8 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C
DN300	323.9 mm	5.6 mm	500 mm	5.2 mm	0.15 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	150 mm	C

Add another pipe definition

Import pipe definitions

Count number of pipe joints needed

Service connection pipe definitions

Use dedicated Service Connections Pipe Definitions

Nominal diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes
------------------	-------------------------------	------------------------	-------------------------------	------------------------	-----------	--------------------	------------------------	--------------------	------------------------

Add another pipe definition

Import pipe definitions

Count number of pipe joints needed

Equipment

Expansion loops

Place expansion loops

Maximum distance between loops:

100.0

meter

Cost of a loop as a multiple of the pipe cost:

8.0

Equipment costs

Equipment Type	New Cost		Existing Cost	
	Material	Labour	Material	Labour
Peak heat source (€ / MW)	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00

Equipment Type	Lower Bound (MW)	Upper Bound (MW)	New Cost		Existing Cost	
			Material	Labour	Material	Labour
Substation	0	∞	€50,000.00	€4,000.00	€25,000.00	€4,000.00

Engineering parameters

Use fixed fluid density

Fluid specific heat (kJ / (kg.K))

4.186

Comsof Heat Designer 22.12.1824

File Settings License Help

Rules & Material

Rules

- Common
- Demand
- Distribution
- Transport
- Return on Investment

Rules - Transport

Design parameters

Temperature

Supply temperature (°C) 120.0

Return temperature (°C) 70.0

Design constraint

☒ Design by flow velocity

☐ Design by pressure gradient

☒ Design by pressure number

Pressure number PN16

Pressure margin (bar) 0.5

Pressure

Min. pressure difference at consumer substation (bar) 0.5

Min. pressure at end of return pipe (bar) 2.0

Extra pressure loss (%) 10.0

Simultaneity

Space Heating Simultaneity $x = (1 - x) / n$

Lower threshold simultaneity factor (parameter x) 0.9

Strategy

Single source strategy

How should the Transport point location be determined? Reuse 'heatSource' points from input

Heat source

Pipe definitions

Nominal diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes
DN20	26.9 mm	2.6 mm	90 mm	3 mm	0.045 mm	1 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN25	33.7 mm	2.6 mm	90 mm	3 mm	0.045 mm	1 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN32	42.4 mm	2.6 mm	110 mm	3 mm	0.045 mm	1.3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN40	48.3 mm	2.6 mm	110 mm	3 mm	0.045 mm	1.5 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN50	60.3 mm	2.9 mm	125 mm	3 mm	0.045 mm	1.7 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN65	76.1 mm	2.9 mm	140 mm	3 mm	0.045 mm	1.9 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN80	88.9 mm	3.2 mm	160 mm	3 mm	0.045 mm	2.2 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN100	114.3 mm	3.6 mm	200 mm	3.2 mm	0.045 mm	2.4 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN125	139.7 mm	3.6 mm	225 mm	3.5 mm	0.045 mm	2.6 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN150	168.3 mm	4 mm	250 mm	3.6 mm	0.045 mm	2.8 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN200	219.1 mm	4.5 mm	315 mm	4.5 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN250	273 mm	5 mm	400 mm	5.3 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN300	323.9 mm	5.6 mm	450 mm	5.6 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN350	355.6 mm	5.6 mm	500 mm	6.3 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN400	406.4 mm	6.3 mm	560 mm	7 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN450	457.2 mm	6.3 mm	630 mm	7.6 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN500	508 mm	6.3 mm	710 mm	8.7 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN600	610 mm	7.1 mm	800 mm	9 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN700	711 mm	8 mm	900 mm	10.1 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN800	813 mm	8.8 mm	1,000 mm	11.2 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN900	914 mm	10 mm	1,100 mm	12 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm
DN1000	1,016 mm	11 mm	1,200 mm	12.8 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm

✚ Add another pipe definition ⓘ Import pipe definitions

Count number of pipe joints needed

Service connection pipe definitions

☐ Use dedicated Service Connections Pipe Definitions

Nominal diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes
------------------	-------------------------------	------------------------	-------------------------------	------------------------	-----------	--------------------	------------------------	--------------------	------------------------

PRINSPIPE Weijers Waalwijk -

Comsof Heat Designer 22.1.2.1824

FileSettingsLicenseHelp

Rules & Material

Rules

Common

Demand

Distribution

Transport

Return on Investment

DN500	508 mm	6.3 mm	710 mm	8.7 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C
DN600	610 mm	7.1 mm	800 mm	9 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C
DN700	711 mm	8 mm	900 mm	10.1 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C
DN800	813 mm	8.8 mm	1,000 mm	11.2 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C
DN900	914 mm	10 mm	1,100 mm	12 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C
DN1000	1,016 mm	11 mm	1,200 mm	12.8 mm	0.045 mm	3 m / s	1.5 bar / km	0.8 m	100 mm	C

☐ Count number of pipe joints needed

Add another pipe definition

Import pipe definitions

PRINSPIPE Weijers Waalwijk -

Service connection pipe definitions

☐ Use dedicated Service Connections Pipe Definitions

Service connection diameter	Service pipe outside diameter	Service pipe thickness	Outer casing outside diameter	Outer casing thickness	Roughness	Max. flow velocity	Max. pressure gradient	Installation depth	Distance between pipes
-----------------------------	-------------------------------	------------------------	-------------------------------	------------------------	-----------	--------------------	------------------------	--------------------	------------------------

☐ Count number of pipe joints needed

Add another pipe definition

Import pipe definitions

Equipment

Expansion loops

☒ Place expansion loops

Maximum distance between loops: 100.0 meter

Cost of a loop as a multiple of the pipe cost: 8.0

Equipment costs

Equipment Type	New Cost		Existing Cost	
	Material	Labour	Material	Labour
Heat source (€)	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00

Import

Engineering parameters

☐ Use fixed fluid density

Fluid specific heat (kJ / (kg.K))

4.186

Comsof Heat Designer 22.1.2.1824

FileSettingsLicenseHelp

Rules & Material

Rules

Common

Demand

Distribution

Transport

Return on Investment

Rules - Return on Investment

Return on investment

Network rollout strategy

Spread demand points over years

Network deployment time (years)

10

Network lifetime to consider (years)

35

Initial year of calculations

2021

Discount rate (%)

8.0

Cost of heat production € / MWh

0.0

Expected development of heat demand per year (%)

0.0

Expected heat tariff increase per year (no inflation) (%)

0.0

Cost of electricity € / kWh

0.025

Expected electricity price development (no inflation) (%)

0.0

Subsidy of project deployment cost (%)

15.0

Subsidy per produced MWh-heat € / MWh

6.0

Duration of subsidy per MWh-heat (years)

10

Fixed operation and maintenance cost (% of assets)

0.75

Variable operation and maintenance cost € / MWh

0.5

Pump efficiency (%)

50.0

Generate separate workspaces for each Phase?

☐