

15-8-2019

# Amsterdamse kademuren in tijden van klimaatverandering

Een voorstel tot het combineren van opgaven



Door: Bas van Roenburg

hompe en  
taselaar

 Hogeschool van Amsterdam  
Amsterdam University of Applied Sciences

# Amsterdamse kademuren in tijden van klimaatverandering

## Een voorstel tot combineren van opgaven

<b>Opdrachtgever/ Afstudeerbedrijf:</b>	Hompe en Taselaar Advies- en ingenieursbureau voor ruimte, milieu en infrastructuur Van Marwijk Kooystraat 1 – 1114 AG Amsterdam- Duivendrecht
<b>Auteur:</b>	Bas van Roenburg
<b>Studentnummer:</b>	500710405
<b>Opleiding:</b>	Built Environment, Civiele Techniek, specialisatie Water
<b>Onderwijsinstelling:</b>	Hogeschool van Amsterdam, Amstelcampus, Weesperzijde 190, 1097 DZ Amsterdam
<b>Afstudeerperiode:</b>	04 februari 2019 t/m 15 augustus 2019
<b>Versie:</b>	Onderzoeksrapport definitief
<b>Bedrijfsbegeleider (H&amp;T)</b>	Ing. H.J. Lammers
<b>Afstudeerdocent (HvA)</b>	A.F. Kooij
<b>Tweede controleur (HvA)</b>	J. Falek

## Voorwoord

In het tweede semester van het vierde studiejaar aan de Hogeschool van Amsterdam opleiding Built Environment specialisatie water, wordt een afstudeeronderzoek uitgevoerd wat leidt tot een afstudeerscriptie. Het afstudeeronderzoek heeft van 04 februari 2019 tot 15 augustus 2019 plaatsgevonden. Het afstudeeronderzoek “Amsterdamse kademuren in tijden van klimaatverandering” is uitgevoerd door student Bas van Roemburg bij het advies- en ingenieursbureau ‘Hompe en Taselaar’.

Allereerst wil ik het gehele bedrijf Hompe en Taselaar bedanken dat zij mij de kans hebben gegeven om mijn afstudeeronderzoek uit te voeren. Het onderzoek had niet tot stand kunnen komen zonder de hulp van verschillende mensen die hun kennis en ervaringen wilden delen waarmee ik mijn project tot een mooi resultaat kon brengen. Tijdens de gehele afstudeerperiode heb ik mij op mijn gemak gevoeld en kon ik vrijuit denken, vragen stellen en mijn eigen draai geven aan de onderwerpen die besproken worden in het project. De sfeer binnen het bedrijf is naar mijn mening altijd goed geweest, een grapje en een dolletje waar het kon en anderzijds doelgericht en gepassioneerd werken.

Binnen Hompe en Taselaar wil ik vooral mijn begeleider Harm Jan Lammers bedanken voor de tijd en moeite die hij in mij heeft gestoken tijdens mijn project. Zonder zijn scherpe en kritische opmerkingen waren de thema's niet zo goed doordacht, uitgewerkt en onderbouwd als zonder zijn opmerkingen. Verder wil ik de directeur van het bedrijf, Frans Taselaar bedanken dat hij mij meevroeg naar vergaderingen in het werkveld om daar ervaring op te doen en voor de feedback aan het einde van mijn afstudeerperiode op mijn definitieve afstudeerrapport. Ook wil ik Richard van Ravesteijn bedanken dat ik mee mocht werken aan een oplossing voor een probleem bij een project in uitvoeringsfase en voor de feedback op mijn ontwerptekeningen.

Vanuit de Hogeschool van Amsterdam ben ik begeleid door de heer A.F. Kooij. Ik wil hem bedanken voor de energie die hij in mij heeft gestoken. Het is voor mij lastig geweest om binnen dit afstudeerproces de hoofdzaken van de bijzaken te onderscheiden en daarmee heeft de heer Kooij mij goed geholpen. Uiteraard wil ik hem bedanken voor de tips en feedback gedurende de afstudeerperiode.

Ik heb tijdens mijn afstudeerproject met veel plezier gewerkt en heb hierbij veel geleerd wat ik in mijn toekomst zeker zal gaan gebruiken.

Bas van Roemburg  
Nigtevecht, 15 augustus 2019

## Samenvatting

### Aanleiding en vraagstelling

De stad Amsterdam heeft te maken met het probleem dat van de 600 km aan kademuren er ongeveer 200 km toe is aan vervanging. Een aantal kademuren staan zelfs op instorten. Dit probleem moet opgelost worden om grotere problemen te voorkomen. Niet alleen de kademuren vormen een probleem in de stad. De wereldwijde klimaatverandering en de toenemende drukte hebben een negatieve invloed op Amsterdam. Door klimaatverandering wordt het steeds warmer en krijgt de stad te maken met extremere weersomstandigheden. De toenemende drukte in de binnenstad heeft als gevolg dat er een minder goede belevingswaarde heerst in het centrum wat slecht is voor de reputatie van Amsterdam.

Om deze negatieve invloeden te veranderen in positieve invloeden is een verandering nodig in de manier van leven in het centrum. Daarom heeft de gemeente Amsterdam een aantal doelstellingen gesteld die moeten leiden naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad. De veranderingen die het oude centrum moet ondergaan om dit doel te bereiken heeft zijn impact op de indeling van de onder- en bovengrondse infrastructuur. Als casus is gekozen voor de Keizersgracht in Amsterdam. De moeilijkheidsgraad van deze casus is de krappe ruimte en de historische en monumentale status van de Keizersgracht.

In dit afstudeerproject wordt een aanbeveling gedaan voor een nieuw ontwerp van de kademuur langs de Keizersgracht met daarin meegenomen de herinrichting van de boven- en ondergrondse infrastructuur gedimensioneerd op de toekomstige stad Amsterdam na de transitie naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad.

De hoofdvraag die beantwoordt moet worden luidt als volgt: Hoe moet het integraal ontwerp van de te vervangen kademuur langs de Keizersgracht in Amsterdam eruit zien, zodat de transitie naar een schonere en verduurzamende stad gerealiseerd kan worden binnen de aanwezige ruimte?

Het onderzoeksrapport bestaat uit een onderzoeksfase en een ontwerpfase. In de onderzoeksfase worden thema's onderzocht die belangrijk zijn om de hoofdvraag te beantwoorden. In de ontwerpfase wordt per thema de resultaten van het onderzoek omgezet in een ontwerp passend bij de Keizersgracht. Tezamen vormen de ontwerpen van de thema's een integraal ontwerp die de oplossing voor de hoofdvraag biedt.

De belangrijkste thema's in dit project samen met de vernieuwing van de kademuur zijn:

- De energietransitie
- Het weer
- Emissievrij
- Leefbaarheid
- Modernisering

### **Onderzoeksfase**

De resultaten van het onderzoek naar het toekomstige uiterlijk van de kademuur en de impact wat de toekomstige veranderingen binnen de thema's naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad hebben op de Keizersgracht is als volgt.

Nieuwe kademuur:

- Zelfde uiterlijk wegens UNESCO werelderfgoed, maar met verbeterde constructie
- Betonnen funderingsplaat, betonnen funderingspalen, betonnen kern van de kadewand met opgemetselde schil

Energietransitie:

- Toepassen van een open monobron WKO-systeem of stadswarmte, afhankelijk van isoleren panden.

Het weer:

- Van gemengd naar gescheiden rioolstelsel door toevoeging hemelwaterafvoer

Emissievrij:

- Ongeacht de toenemende vraag naar elektriciteit hoeft het huidige netwerk niet uitgebreid te worden.

Leefbaarheid:

- Herinrichting van parkeervakken zorgt voor minder auto's, rust op straat en een betere beleving van de Keizersgracht.
- Verbetering van de groeimogelijkheden van bomen door aanleggen van boombakken, voor een prettigere beleving van de Keizersgracht.

Modernisering:

- Huidige hoeveelheid kabels van het telecomnetwerk is in de nieuwe situatie verdubbeld.

### **Ontwerpfase**

De ontwerpen die gemaakt zijn voor de onderwerpen uit de thema's van de onderzoeksfase dienen samen in een integraal ontwerp voor de Keizersgracht de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden. De invulling van het thema energietransitie zorgt voor twee varianten van het definitieve ontwerp. De ontwerpen van de thema's het weer, emissievrij, leefbaarheid en modernisering zijn in beide varianten hetzelfde ingevuld.

Definitieve integrale ontwerpen nieuwe kademuur Keizersgracht met inpassing van kabels en leidingen na de transitie van Amsterdam:

- Integraal ontwerp 1: Open monobron WKO-systeem in combinatie met oppervlaktewatersysteem
- Integraal ontwerp 2: Stadswarmtenetwerk

De definitieve ontwerpen zijn in uitgeprinte versie te zien aan het einde van dit rapport in de bijlage.

### **Conclusie afstudeeronderzoek:**

De twee integrale ontwerpvarianten geven beide antwoord op de hoofdvraag van het afstudeeronderzoek. Maar mijn aanbeveling is het toepassen van een open monobron WKO systeem in combinatie met een oppervlaktewatersysteem. De reden voor deze keuze is dat dit systeem meer toevoegt aan het streven naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad dan stadswarmte.

## Inhoudsopgave

Voorwoord .....	2
Samenvatting.....	3
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>6</b>
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Leeswijzer .....	8
<b>2 Opzet van het afstudeerproject .....</b>	<b>8</b>
2.1 Onderzoeksfase .....	9
2.2 Ontwerpfase .....	11
<b>3 Onderzoeksfase .....</b>	<b>12</b>
3.1 Onderzoeksvragen.....	12
3.2 Uitwerking deelvragen onderzoeksfase .....	13
3.2.1 Deelvraag 1: Problemen langs de Amsterdamse grachten .....	14
3.2.2 Deelvraag 2: Toekomstbeeld van de gemeente Amsterdam .....	17
3.2.3 Deelvraag 3: Hoe ziet de kademuur eruit langs de Keizersgracht? .....	21
3.2.4 Deelvraag 4: Welke ondergrondse systemen bevinden zich langs de gracht? .....	23
3.2.5 Deelvraag 5: Hoe ziet de groenvoorziening eruit langs de Keizersgracht? .....	42
3.2.6 Deelvraag 6: Toekomstig klimaat in Amsterdam .....	46
3.2.7 Deelvraag 7: De huidige hemelwaterafvoer.....	48
3.2.8 Deelvraag 8: Duurzame energiesystemen.....	50
3.3 Conclusie onderzoeksfase .....	71
<b>4 Ontwerpfase.....</b>	<b>73</b>
4.1 Programma van eisen.....	74
4.2 Detail ontwerpen thema's.....	76
4.2.1 Conclusie ontwerpen van de thema's .....	87
4.3 Integrale ontwerpen.....	89
<b>5 Conclusie afstudeeronderzoek .....</b>	<b>93</b>
<b>6 Bibliografie.....</b>	<b>95</b>
<b>7 Lijst met figuren.....</b>	<b>98</b>
<b>8 Lijst met tabellen .....</b>	<b>100</b>
<b>9 Bijlage .....</b>	<b>101</b>
9.1 Definitieve ontwerptekening .....	101
9.2 Bodemonderzoek Keizersgracht.....	103

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De stad Amsterdam is een oude havenstad die al een aantal eeuwen oud is waar veel handel gedreven werd met binnen en buitenland. Dat is te zien aan ongeveer 600 km aan kademuren die de stad rijk is. De kademuren staan, mede door slecht onderhoud en zwaar verkeer op instorten (Gemeente Amsterdam, 2018). De kademuren langs de grachten zijn kenmerkend voor de oude binnenstad en mogen niet vergaan en zullen na vervanging hetzelfde uiterlijk moeten hebben als voorheen (Amsterdam.nl, 2010) (UNESCO, sd). Door het kenmerkende uiterlijk van de stad is Amsterdam een toeristische trekpleister voor mensen over de hele wereld. Om Amsterdam een mooie stad te laten blijven moet er veel onderhoud gepleegd worden aan de binnenstad. De kenmerkende kademuren moeten gerepareerd en vele zelfs vervangen worden. In de nabije toekomst zal ongeveer 200 km aan kademuren vervangen moeten worden. De vervanging van de kademuren gaat veel tijd en geld kosten en zal veel hinder kunnen opleveren in de stad.

Niet alleen de kademuren zijn toe aan vervanging. De gemeente Amsterdam heeft veel meer veranderingen in gedachten voor Amsterdam en zijn grachtengordel. De veranderingsplannen die de gemeente heeft voor Amsterdam kunnen aansluiten bij de vervanging van de kademuren. Als er bij het vervangen van de kademuren rekening gehouden wordt met de toekomstige aanpassingen langs de grachten, kunnen de ontwerpen samen één integraal ontwerp vormen waarin de verschillende onderdelen elkaar kunnen gebruiken om de grachtengordel te restaureren en toekomstbestendig te maken.

Wereldwijd begint het onderwerp klimaat een steeds belangrijker agendapunt te worden. Klimaatverandering is over de hele wereld merkbaar en heeft voor veel plekken op aarde een negatieve invloed. Het wordt warmer op aarde en dat brengt problemen met zich mee. De oorzaak van de klimaatverandering is volgens een grote groep mensen de uitstoot van broeikasgassen, een andere groep mensen denkt dat dit vooral een natuurlijke aangelegenheid is en dat de mens weinig invloed heeft op die verandering. Het merendeel van de landen gelooft dat de uitstoot van broeikasgassen de grootste bijdrage levert aan de opwarming van de aarde en is van mening dat dit probleem mondiaal opgelost moet worden. Het terugdringen van de CO<sub>2</sub> uitstoot door duurzamer te leven is de belangrijkste stap tegen de opwarming van de aarde. Zo hebben 174 landen het klimaatakkoord van Parijs ondertekend en zijn zich ervan bewust dat de uitstoot van broeikasgassen naar beneden moet (UNFCCC, 2018).

Nederland is een van de landen die zich ervan bewust is dat de uitstoot van broeikasgassen naar beneden moet. De Nederlandse overheid ziet dit onderwerp dan ook als belangrijk en zet vol in op duurzame vernieuwingen van het huidige leven. De doelstelling die de overheid heeft gesteld is onder andere dat er in 2050 80%-95% CO<sub>2</sub> uitstoot minder moet zijn (Rijksoverheid, 2017). Om dit te kunnen bereiken moet er veel meer duurzame energiebronnen gebouwd en ontwikkeld worden om aan de steeds meer groeiende vraag naar energie te kunnen voldoen. Op 1 januari 2019 was het aandeel duurzaam opgewekte energie 7,3% van het totaal (Veldhuizen, 2019).

Op kleinere schaal heeft de gemeente Amsterdam ook haar doelstellingen voor de hoofdstad van ons land. Een van die doelen is het aardgasvrij maken van de hele stad in 2040 (Energiekaart net, 2017). De uitstoot van broeikasgassen minimaliseren is een belangrijke reden waarom de stad van het gas of wil. Ook het verkeer in het centrum wil de stad verminderen door regels op te stellen waardoor men minder geneigd is om de stad in te komen met emissie auto's. Elektrisch rijden moet de

toekomst worden. De gemeente treft maatregelen om hun doelen te kunnen verwezenlijken maar stuit daarbij op een aantal dingen die het duurzaam en groen levensdoel in de weg kunnen gaan zitten.

Eén van de knelpunten waarmee de gemeente Amsterdam te kampen heeft is het centrum van de stad. Niet alleen zijn groepen mensen tegen de, in hun ogen, te hoog gegrepen doelen, maar ook de infrastructuur en gebouwen kunnen een struikelblok vormen. Het centrum is nooit gemaakt om al die toekomstige infrastructuur in de ondergrond kwijt te kunnen. Het zal een uitdaging worden om de nieuwe kabels en leidingen in de grond te verwerken (Gemeente Amsterdam, 2019).

Het doel van de gemeente om in 2040 aardgasvrij te zijn zal betekenen dat er een nieuwe warmtevoorziening moet komen in het centrum. De nieuwe warmtevoorziening moet een duurzaam systeem worden om aan de broeikasgas uitstootvrije toekomst te kunnen voldoen. Het gebruik van stadswarmte en aardwarmte voor de opslag van water in de ondergrond is een mogelijke oplossing voor de toekomstige warmtevraag. De installaties nemen ruimte in beslag en ruimte is nou net een knelpunt langs de grachten. Hoe moeten al die nieuwe kabels en leidingen samen het ontwerp van de kademuren in de ondergrond verwerkt worden om aan onze toenemende eisen te voldoen?

Door de klimaatverandering wordt het ook in Nederland warmer. De klimaatverandering neemt meer met zich mee dan alleen warmte. We zien de laatste jaren dat de weersomstandigheden steeds extremer worden (Omroep west nieuws, 2018). Dat is te zien in de korte maar heftige regenbuien, langdurige droogte en stormen. De heftige regenbuien kunnen in het centrum van Amsterdam niet altijd goed verwerkt worden omdat de rioleringen niet gedimensioneerd zijn op deze hoeveelheden neerslag. Het regenwater stroomt dan de grachten in en neemt veel afval met zich mee waardoor de waterkwaliteit van de grachten verslechtert (van Zoelen, 2018). Het goed afvoeren van hemelwater richting het oppervlaktewater zonder dat er verontreinigen meespoelen is een goede stap in de richting van het schoon en leefbaar houden van de stad Amsterdam.

Zoals hierboven beschreven staan er vele veranderingen gepland binnen de gemeente Amsterdam. De kademuren moeten vervangen worden en de gemeente heeft als doel gesteld een schonere en duurzame leefomgeving te creëren waar iedereen zich op zijn gemak voelt en daarmee bij te kunnen dragen aan een schoner klimaat.

## 1.2 Probleemstelling

De kademuren in Amsterdam bezwijken, het klimaat verandert, grotere trek van mensen naar de stad, de technologie ontwikkelt zich razend snel, het leven versnelt. De gemeente Amsterdam moet de instortende kademuren vervangen en zal tegelijkertijd moeten inspelen op de toekomst door andere vraagstukken binnen de stad aan te pakken. Deze transitie naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad is belangrijk om als Amsterdam aantrekkelijke te blijven.

Het probleem voor de gemeente Amsterdam is dat het centrum veelal oud en druk is waardoor het uitvoeren van de opgave lastig kan worden. Hoe de vernieuwing van de kademuren en de andere vraagstukken toegepast kunnen worden is een uitdaging. Nieuwe kabels en leidingen zullen ingepast moeten worden in de ondergrond achter de kademuren waar al een wirwar van wortels, kabels en leidingen aanwezig is.

Dit afstudeeronderzoek analyseert dit vraagstuk en doet een concreet voorstel hoe dit aan te pakken.



### 1.3 Leeswijzer

In de leeswijzer wordt per hoofdstuk uit de inhoudsopgave kort beschreven wat er te lezen is.

In hoofdstuk 1 wordt de inleiding, aanleiding en de probleemstelling beschreven van dit afstudeerproject.

In hoofdstuk 2 wordt de opzet en de structuur van dit afstudeerproject beschreven en de belangrijkste thema's benoemd.

In hoofdstuk 3 wordt de onderzoeksfase beschreven aan de hand van het beantwoorden van de deelvragen.

In hoofdstuk 4 worden de oplossingen voor de problemen in de thema's weergegeven in een ontwerp waarna de ontwerpen in de definitieve integrale ontwerpen worden weergegeven.

In hoofdstuk 5 wordt de conclusie van het afstudeerproject geformuleerd en de aanbeveling gepresenteerd.

## 2 Opzet van het afstudeerproject

Nu beschreven is waar het afstudeerproject 'Kademuren in tijden van klimaatverandering' over zal gaan, is het van belang om een duidelijke structuur aan te brengen. In dit hoofdstuk wordt deze structuur beschreven.

De aanleiding voor het uitvoeren van dit onderzoek is, zoals in de inleiding beschreven staat, het instorten van de kademuren in Amsterdam. Daarbij komen de toekomstige veranderingen die de stad Amsterdam zal moeten ondergaan als gevolg van klimaatverandering. In dit afstudeerproject is een ontwerp gemaakt waarin het bezwijken van de kademuren en de toekomstige veranderingen in de stad gecombineerd zijn in een ontwerp-tekening om de probleemstelling op te lossen.

Het afstudeerproject is uitgevoerd in twee fasen: Een onderzoeksfase en een ontwerpfase.

### Onderzoeksfase

Het afstudeerproject begint met de onderzoeksfase. Aan het begin van de onderzoeksfase zijn de hoofdvraag en de deelvragen van de onderzoeksfase geformuleerd. Aan de hand van de deelvragen zijn de verschillende onderdelen onderzocht die belangrijk zijn voor dit onderzoek. De onderzoeksfase bestaat uit een inventarisatie van de Keizersgracht in Amsterdam. De verkregen kennis en informatie uit het onderzoek is gebruikt om de problemen binnen de thema's langs de Keizersgracht op te lossen. De mogelijke varianten zijn onderzocht en kunnen als oplossing dienen voor de andere vraagstukken langs de Keizersgracht. In de inventarisatie is de onder- en bovengrondse infrastructuur van de Keizersgracht blootgelegd. De keuze voor een variant volgt uit de gedachte welke oplossing het beste is voor het behalen van het hoofddoel. De varianten zijn getoetst aan een algemene programma van eisen. De beste oplossingen voor de verschillende vraagstukken worden in het volgende deel uitgewerkt in een ontwerp.

### Ontwerpfase thema's

In de ontwerpfase van dit onderzoeksrapport worden de beste oplossingen uit de onderzoeksfase per thema uitgewerkt in een ontwerp dat past in de boven- en ondergrondse situatie langs de Keizersgracht. De gekozen oplossingen worden ontworpen aan de hand van eisen die gelden voor het ontwerp. De ontwerpen worden per thema toegelicht in tekst en afbeeldingen. Als alle ontwerpen van de thema's gemaakt zijn en voldoen aan de eisen worden ze samengevoegd in een integrale ontwerp van de toekomstige en klimaatbestendige Keizersgracht. Dit integrale ontwerp is het

voorstel om als oplossing te dienen voor het combineren van de bezwijkende kademuren en de andere vraagstukken langs de Keizersgracht volgend uit de klimaatverandering.

## 2.1 Onderzoeksfase

Het doel van dit onderzoek is een oplossing te vinden waarin het vraagstuk van de bezwijkende kademuren aan de Keizersgracht in Amsterdam, samen met de andere vraagstukken, voortkomend uit de klimaatverandering en de toekomstige transitie van Amsterdam, op onder- en bovengronds niveau ingepast kunnen worden waardoor de nieuwe systemen van elkaar gebruik kunnen maken in het streven naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad.

De oplossing van dit onderzoek zal uitkomen in een integraal ontwerp van de kademuur waarin ruimte is voor de transitie van Amsterdam naar een schonere en duurzamere stad en waarin het kenmerkende uiterlijk van de grachtengordel wordt behouden. Voor dit onderzoek is de Keizersgracht als voorbeeldcasus gekozen.

Om een schone, gezonde en leefbare stad te worden zullen een aantal thema's aangepakt moeten worden. Die thema's hebben ieder hun eigen knelpunten dat zich voordoet bij het realiseren van oplossingen die het doel moeten dienen. In Figuur 1 is het schema te zien van de thema's met hun onderwerpen die uitgevoerd zijn in het onderzoeksrapport.

### **Thema: Energietransitie**

Om de uitstoot van broeikasgassen en het steeds warmer worden op aarde tegen te gaan wil de gemeente Amsterdam op een duurzame manier energie opwekken in de vorm van warmte. Het doel van de gemeente Amsterdam is om in 2040 geheel van het aardgas af te zijn. De overgang van de traditionele manier van energie opwekken naar een duurzame bron is niet zomaar gedaan. De duurzame alternatieven die beschikbaar zijn hebben ieder hun eigen leidingnetwerken in de ondergrond nodig. Dat betekent dat er nieuwe ondergrondse infrastructuur aangelegd moet worden om de stad te kunnen voorzien van energie. Het aanleggen van nieuwe ondergrondse infrastructuur in de oude binnenstad van Amsterdam kan een probleem gaan geven omdat er weinig ruimte beschikbaar is.

### **Thema: Het weer**

Door klimaatverandering zullen er in de toekomst steeds meer heftigere weersomstandigheden voorkomen. De intensiteit van regenbuien neemt toe en dat heeft gevolgen voor de afvoer van het hemelwater. De huidige rioleringen kunnen de piekafvoeren niet meer aan waardoor er water op straat blijft staan en op een verkeerde manier afgevoerd wordt. Langs de Keizersgracht in Amsterdam stroomt het hemelwater over straat rechtstreeks de gracht in wat veel afval met zich meeneemt. Dit gaat ten koste van de waterkwaliteit in de gracht (van Zoelen, 2018). Om dit op te lossen is een nieuw hemelwaterafvoer systeem nodig dat het water van de straat haalt. Een knelpunt hierbij is de drukte in de ondergrond van alle kabels en leidingen die al aanwezig zijn. De beschikbare ruimte in de ondergrond langs de grachten maakt het toevoegen van een hemelwaterriool moeilijker.

### **Thema: Emissievrij vervoer**

Het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen in de stad Amsterdam is een belangrijk doel van de gemeente. De luchtkwaliteit in Amsterdam is verslechterd door emissie voertuigen (Team luchtkwaliteit Gem. Amsterdam, 2019) en daarom wil de gemeente het aantal emissie voertuigen terugdringen om de uitstoot van CO<sub>2</sub> en fijnstof te verlagen. Het terugdringen van het aantal emissie

voertuigen kan door verschillende maatregelen te treffen. Zo heeft de gemeente een plan om in 2030 binnen de ring A10 emissie-loos te zijn. Dat betekent dat er alleen nog maar emissievrije voertuigen de stad in mogen. Het aantal elektrische auto's zal toenemen waardoor er meer laadpalen nodig zijn in de stad. De vraag naar extra elektriciteit betekent dat er ook extra elektriciteitskabels nodig zijn in de binnenstad. Door ruimtegebrek in de ondergrond kan dit lastig worden.

### **Thema: Leefbaarheid in de stad**

De stad Amsterdam is over de hele wereld bekend. Mede dankzij de kenmerkende grachtengordel komen mensen van heinde en verre naar Amsterdam. De drukte in de stad neemt daardoor toe, zowel door mensen als door voertuigen. Om de leefbaarheid in de stad te verbeteren denkt de gemeente daarbij aan het minderen van het aantal voertuigen om meer ruimte te geven aan fietsers en voetgangers. Ook het emissievrije OV krijgt hierdoor meer ruimte. Door het verminderen van voertuigen en toevoegen van groen verandert het uiterlijk van de stad. De leefbaarheid van de stad kan op deze manier volgens de gemeente vergroot worden. Langs de grachtengordel is het aanpassen van de openbare ruimte wat lastiger omdat het hier gaat om een monumentaal stadsdeel.

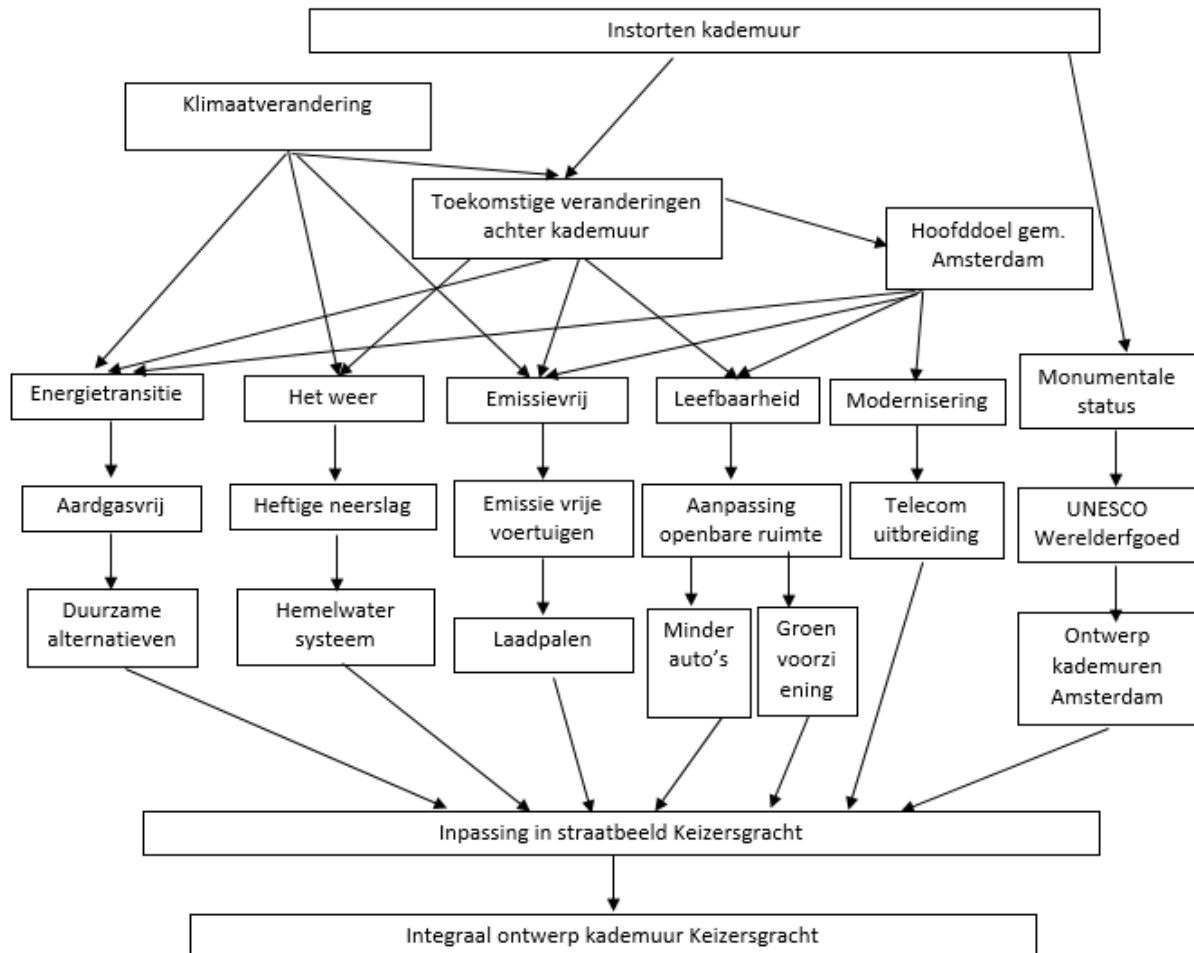
### **Thema: Modernisering**

De snelheid waarmee het leven moderniseert is moeilijk voor te stellen. Steeds meer van ons leven gaat online zoals werken en ontspanning. Om aan die vraag van steeds maar sneller en meer te kunnen voldoen moeten telecom bedrijven alsmaar nieuwe innovaties op de markt brengen om invulling te geven aan de wensen van de consument. Tegenwoordig is er 4G internet, maar in de nabije toekomst gaat dit over op 5G. Voordat 5G ontvangen kan worden zullen er nieuwe telecomkabels aangelegd moeten worden in de ondergrond. Niet alleen door sneller internet komen er meer kabels in de ondergrond, ook meer elektriciteit gebruik zorgt voor extra kabels. Dat betekent dat er in de nu al drukke ondergrond nieuwe kabels bijkomen waardoor de drukte nog groter wordt.

### **UNESCO werelderfgoed en monumentale status grachtengordel**

De grachtengordel van Amsterdam behoort tot de UNESCO werelderfgoedlijst en heeft daarmee een beschermde status wat betreft het uiterlijk van de grachtengordel (UNESCO, sd). Daarbij komt dat veel panden binnen de grachtengordel monumentale panden zijn.

Aangezien in dit project een verandering gaat optreden binnen de grachtengordel zijn veel aanpassingen niet of heel moeilijk voor elkaar te krijgen. In het vervolg van dit project wordt regelmatig verwezen naar de beschermde status van de grachtengordel.



Figuur 1: Structuur onderzoeksrapport Nieuwe kademuren Amsterdam

## 2.2 Ontwerpfase

In de ontwerpfase zijn de oplossingen voor vraagstukken van de thema's uit de onderzoeksfase uitgewerkt in ontwerpen. Allereerst worden de deelvragen behorend bij de ontwerpfase aangegeven. De deelvragen zijn per thema gerangschikt met daarin de vraag naar hoe het nieuwe ontwerp van de vraagstukken binnen de thema's eruit komt te zien. De laatste vraag is de hoofdvraag van dit onderzoek en is beantwoord in de vorm van een integrale ontwerptekening.

De ontwerpen in de ontwerpfase moeten voldoen aan het programma van eisen dat volgt uit de onderzoeksfase en de eisen die gelden voor de onderdelen in de ontwerpen. De ontwerpfase wordt onderverdeeld in detail ontwerpen van de vraagstukken binnen de thema's en in integrale ontwerpen waar de detail ontwerpen samenkomen in de definitieve tekening. De integrale ontwerpen worden weergegeven in doorsnedes en bovenaanzichten van de huidige indeling en nieuwe indelingen van de Keizersgracht. De integralen ontwerpen geven het antwoord op de hoofdvraag en wordt een aanbeveling gedaan voor welk integraal ontwerp een voorkeur bestaat.

## 3 Onderzoeksfase

### 3.1 Onderzoeksvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden wordt het onderwerp onderverdeeld in thema's die ieder hun eigen onderdelen bevatten met vragen. Deze deelvragen zijn hieronder aangegeven. De antwoorden op de deelvragen zijn nodig om ontwerpen te kunnen maken die problemen binnen de thema's op kunnen lossen.

#### **De Hoofdvraag:**

Hoe moet het integraal ontwerp van de te vervangen kademuur langs de Keizersgracht in Amsterdam eruit zien, zodat de transitie naar een schonere en verduurzamende stad gerealiseerd kan worden binnen de aanwezige ruimte?

#### **Deelvragen:**

Onderzoeksfase

- 1) Welke problemen worden ervaren op en langs de Amsterdamse Keizersgracht?
- 2) Wat is het toekomstbeeld van de gemeente Amsterdam als men kijkt naar vergroening en verduurzamen?
- 3) Hoe ziet de huidige kadeconstructie eruit langs de Keizersgracht?
- 4) Welke infrastructurele systemen bevinden zich nu langs de gracht? Denkend aan riolering, elektra, telecom en warmtevoorziening?
- 5) Hoe ziet de groenvoorziening eruit langs de Keizersgracht?
- 6) Hoe ziet het toekomstige klimaat eruit waarop de kademuur en infrastructuur gedimensioneerd moet worden, kijkend naar extremere neerslag?
- 7) Hoe wordt de huidige hemelwaterafvoer langs de Keizersgracht geregeld?
- 8) Welke duurzame energiesystemen zijn er mogelijk langs de Keizersgracht?

### 3.2 Uitwerking deelvragen onderzoeksfase

In dit hoofdstuk wordt de structuur van het onderzoeksfase van het afstudeerproject beschreven. In de onderzoeksfase wordt gekeken naar de Keizersgracht in Amsterdam. De inventarisatie van het gebied langs de Keizersgracht moet een beeld schetsen van de bestaande kademuur, het huidige straatbeeld en de onder- en bovengrondse infrastructuur. Aan de hand van de opgestelde deelvragen geldend voor de onderzoeksfase worden alle aspecten behandeld langs de Keizersgracht die belangrijk zijn voor de vernieuwing van de kademuuren en de inpassing van de nieuwe boven- en ondergrondse infrastructuur als gevolg van de klimaatverandering en de transitie van de stad.

Te weten komen hoe de infrastructuur eruit ziet langs de gracht is van belang voor de invulling van alle toekomstige veranderingen aan kademuur en infrastructuur. De gemeente Amsterdam heeft een aantal doelen gesteld voor de toekomst. Bij het uitvoeren van die plannen treden er veranderingen op in de huidige netwerken van kabels en leidingen in de ondergrond. Na het uitvoeren van de inventarisatie van het gebied en de doelstellingen van de gemeente bekend zijn, kan er bepaald worden welke knelpunten er zijn binnen de onderwerpen.

In de onderzoeksfase wordt als eerste een beeld geschetst van de grachtengordel en haar geschiedenis. Daarna wordt onderzocht welke problemen zich voordoen langs de grachten in Amsterdam zoals de instortende kademuuren. Daarna worden de huidige infrastructurele netwerken zoals kabels en leidingen achter de kademuur uitgelicht en bekeken. Denk daarbij aan elektriciteits- en telecomkabels, riolering, drinkwaterleiding, gasleiding en het straatbeeld. Ook wordt gekeken naar hoe de klimaatverandering eruit komt te zien en welke duurzame oplossingen er zijn om de klimaatverandering tegen te gaan.

De toekomstige varianten worden met elkaar vergeleken waar vervolgens een conclusie uit komt welke varianten het beste toegepast kan worden in het eindontwerp van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht. De onderwerpen binnen de thema's en de keuzes voor de beste oplossingen voor de vraagstukken worden in de onderzoeksfase beschreven.

### 3.2.1 Deelvraag 1: Problemen langs de Amsterdamse grachten

Deelvraag 1: Welke problemen worden ervaren langs de Amsterdamse Keizersgracht?

#### Geschiedenis Keizersgracht

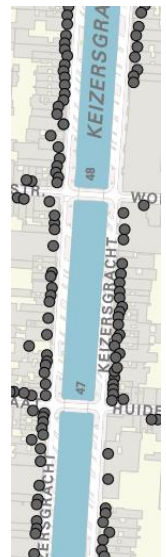
De Herengracht, Keizersgracht en de Prinsengracht zijn de meest iconische grachten van de stad Amsterdam en vormen samen de grachtengordel. De kademuren werden vroeger gebruikt als aanlegplaats voor schepen om goederen in en uit te laden. De oude grachtenpanden werden gebruikt als pakhuizen voor de opslag van goederen die afkomstig waren van de handel met binnen en buitenland. Tegenwoordig zijn de pakhuizen omgebouwd tot herenhuizen, kantoren, musea en restaurants waar veel mensen op af komen.



Figuur 2: Kaart van Amsterdam na aanvang van de Vierde Uitleg rond 1662

Toen de Keizersgracht in de 17<sup>e</sup> eeuw gegraven werd als stadsuitbreidingen voor de groeiende bevolking en zijn groeiende economie (Canal district, sd), kon men moeilijk voorspellen dat in de 20<sup>e</sup> en 21<sup>e</sup> eeuw zoveel mensen, verkeer en infrastructuur naar en in de grachtengordel zouden komen. De kademuren kregen veel zwaardere belastingen te verwerken als ooit te voren en dat heeft gevolgen voor de gesteldheid van de kademuren.

Omdat de grachtengordel zo uniek is om zijn kenmerkende bouwkunst van grachtenpanden en kademuren is de grachtengordel uitgeroepen tot internationaal cultureel erfgoed. De grachtengordel staat daarmee op de UNESCO werelderfgoedlijst (UNESCO, sd). Mede door de lijst en monumentale panden is Amsterdam internationaal bekend als toeristische trekpleister (Figuur 3). Op de werelderfgoedlijst staan heeft zijn voor- en nadelen. Een voordeel is dat het uiterlijk van de grachtengordel niet mag veranderen en daarmee zijn kenmerkende uiterlijk behoudt. Een nadeel is dat als er kademuren, panden en de openbare ruimte aangepast moeten worden om mee te gaan in de modernisering, er veel regels zijn over hoe die veranderingen uitgevoerd moeten worden.



Figuur 3:  
Monumentale  
panden  
Keizersgracht

#### Instorten van de kademuren

Veel kademuren in Amsterdam zijn er zeer slecht aan toe. De kans dat ze instorten is aanwezig en dit wil de gemeente voorkomen. De redenen voor de zwakke gesteldheid van de kademuren zijn naast achterstallig onderhoud ook trillingen en belastingen van het verkeer. De kademuren zijn jaren oud en zijn niet gebouwd op het vele en zware verkeer dat zich langs de grachten begeeft. De trillingen die zwaar verkeer veroorzaken zorgen voor kleine barstjes in de kademuur. Die kleine barstjes worden door de jaren heen steeds groter en in de winter gaat het nog een stapje sneller door het bevriezen van water in de barstjes. Op het moment dat er water door de barstjes kan stromen, treedt er uitspoeling van zand en grond vanaf achter de kademuur op. Door het verdwijnen van grond achter de kademuur verzakt het straatwerk en komt er meer kademuur vrij te liggen. Hierdoor versnelt het proces van de groter wordende barstjes waardoor de stabiliteit van de muur afneemt tot het punt dat de muur het begeeft. De aanwezigheid van bomen achter de kademuur is in de straat een mooi gezicht, nadeel van bomen achter de kademuur is dat de wortels de kademuur schade kunnen toebrengen. Boomwortels drukken het straatwerk omhoog waardoor uitspoeling van de ondergrond optreedt en de straat nog verder verzakt (Het Parool, 2018).

### Drukke in de stad

De stad Amsterdam wordt steeds populairder in de wereld vanwege haar 17<sup>e</sup>-eeuwse grachten en grachtenpanden. Door de populariteit wordt het steeds drukker in de stad, zowel door toeristen, dagjesmensen als forenzen. Het groeiende aantal mensen maakt dat de stad veel drukker wordt. Het drukke gevoel wordt niet altijd als positief ervaren. Dat gevoel is op straat, in het verkeer en in het openbaar vervoer aanwezig. Met de auto naar het werk gaan is dat niet meer zo aantrekkelijk. Er zijn zoveel voertuigen op de weg dat het op vele plekken in de stad vastloopt. Om die drukte met de auto te vermijden gaat men vaker met het openbaar vervoer. Omdat de meeste mensen rond dezelfde tijden werken ontstaat er in de spitsuren extreme drukte in het openbaar vervoer. Het openbaar vervoer kan de stroom van mensen op de piekmomenten niet meer aan.

Vanwege de kenmerkende 17<sup>e</sup>-eeuwse grachten is Amsterdam over de hele wereld bekend. Toeristen maken maar al te graag rondvaarten en toertochten over de grachten. Het groeiende aantal toeristen in Amsterdam is goed voor de economie, maar brengt een nog grotere groep mensen in beweging in een al volle stad.

Met de toename van toeristen groeit ook het aantal mensen dat op straat loopt. Om toeristen een prettig gevoel te geven langs de grachten werd gedacht om bankjes neer te zetten waar mensen op kunnen zitten en genieten van de omgeving. Het probleem wat bewoners aankaarten is dat het meer nadelen dan voordelen heeft om bankjes te plaatsten langs de grachten. De bankjes worden 's nachts gebruikt door toeristen en jongeren als hangplek. Daarbij wordt vaak gebloed en gedronken wat resulteert in geluidsoverlast en afval op straat.



Figuur 4: Parkeerdrukke Amsterdamse gracht

### Parkeerprobleem

De toename van mensen zorgt mede voor een toename van het verkeer. Het aantal mensen in de binnenstad neemt met zich mee een toename van auto's, fietsen en scooters. De natuurlijke wens van een mens is om zo dicht mogelijk bij je bestemming te komen om je vervoersmiddel te parkeren. Dat is langs de grachten niet altijd het geval. Bewoners klagen over het tekort aan parkeerplekken en moeten soms wel 15 tot 30 min rondrijden voordat er een plekje vrijkomt voor hun auto (Bewoners Herengracht, 2019). Bewoners moeten vaak jaren wachten voordat zij in aanmerking komen voor een parkeervergunning. Voordat er een vergunning vrijkomt, moet eerst iemand een vergunning opgegeven hebben.

Bij de keuze voor een nieuwe indeling van de straat kiest het grootste deel van de bewoners voor meer parkeerplekken. De hoeveelheid fietsen en scooters op de grachten groeit ook nog altijd. Langs de grachten zijn een aantal fiets en scooter parkeerplaatsen maar die staan vaak vol waardoor de andere fietsen en scooters tegen de bomen en zelfs tegen gevels van huizen gezet worden. Bewoners klagen hierover bij de gemeente, maar oplossingen worden niet zo snel gevonden.



### **Ondergrondse infrastructuur**

De verdichting van de stad is vooral bovengronds merkbaar, maar ondergronds begint de ruimte schaars te worden. De groeiende stad, economie en welvaart moeten ook voldaan kunnen worden in hun behoeften. Tegenwoordig is elektriciteit en internet een van de belangrijkste levensbehoeften en de vraag naar meer elektriciteit en sneller internet blijft toenemen. Deze benodigdheden komen niet zomaar binnen in een kantoor of woning. De kabels en leidingen die hiervoor nodig zijn worden allemaal in de ondergrond verwerkt en daar dreigt een ruimtetekort te ontstaan. Om de paar jaar komen er nieuwe telecombedrijven bij die hun kabels in de grond willen hebben. Internet verandert van 4G naar 5G en zal een nieuwe netwerk nodig hebben om naar de bestemmingen te komen. Het lastige van de uitbreiding van deze netwerken is dat de kabels de grond in moeten en dus moet de straat open gegraven worden. Het open graven van de straat zorgt voor veel verkeershinder en zal door velen niet in dank afgenomen worden. Het komt soms voor dat als het ene telecom bedrijf zijn kabel in de grond heeft liggen, het andere telecom bedrijf een paar maanden later hetzelfde doet en weer de straat open moet graven.

Het klimaat verandert de laatste jaren sneller dan men had gedacht en dat is te zien in de heftigere regenbuien en langere droogte. De heftigere regenbuien zorgen voor een hoge piekafvoer in het rioolstelsel waardoor het water moeilijk weg kan stromen. Het meeste water wat valt op de straten langs de grachten stroomt het oppervlaktewater in. Dat er regenwater in het oppervlaktewater terecht komt, is niet zo erg. Wat je niet wilt hebben is dat het door olie en brandstof vervuilde regenwater van straat het oppervlaktewater instroomt. Dit komt de waterkwaliteit van de gracht niet ten goede.

### 3.2.2 Deelvraag 2: Toekomstbeeld van de gemeente Amsterdam

Deelvraag 2: Wat is het toekomstbeeld van de gemeente Amsterdam om een schonere, duurzamere en leefbaardere stad te zijn?

Veranderingen toepassen in je omgeving heeft vaak als oorzaak dat het huidige beeld van je omgeving niet meer voldoet aan de eisen die je hebt gesteld. Dit is op ieder niveau in de samenleving terug te zien. Bouw je je huis uit als huiseigenaar omdat het te klein is geworden door gezinsuitbreiding; moet een gebouw uitgebreid worden omdat het bedrijf aan het groeien is. Dit zijn voorbeelden van plaatselijke veranderingen om de nieuw verkregen eisen te kunnen vervullen. Dit denkbeeld is ook in grotere schaal aanwezig namelijk voor gemeenten, provincies en overheden. Moeten er meer woonwijken komen om de groeiende bevolking huisvesting te kunnen garanderen, moet de infrastructuur uitgebreid worden om de groei van reizende mensen aan te kunnen. Stuk voor stuk veranderingen die de huidige constatering moeten gaan opvangen waardoor er geen problemen ontstaan.

Op het moment dat zo'n constatering gedaan wordt is het van belang dat het opgelost moet gaan worden. Maar op welke manier ga je het probleem oplossen? Ga je het probleem oplossen of denk je verder dan het probleem en ga je een voorspelling doen van de toekomst waardoor je het volgende probleem voor kan zijn. Dat laatste is een van de moeilijkste dingen om rekening mee te houden voor het bedenken en plannen van projecten. Kan dit ontwerp de in de toekomst verwachte problemen aan? In het verleden zijn de woningen gebouwd om de verwachte bevolkingsgroei woonruimte te bieden, kademuuren en grachten aangelegd om per schip richting de pakhuizen te komen om goederen te verhandelen. Bij de indeling van de straten langs de grachten is in de 17<sup>e</sup> eeuw nooit nagedacht over dat er in de toekomst auto's zouden rijden. Gelukkig maar dat er genoeg ruimte gecreëerd werd zodat paard en wagen veel ruimte hadden waardoor wij nu auto's kunnen laten rijden langs de grachten.

De stad Amsterdam groeit vandaag de dag nog steeds door. Om de groei als stad aan te kunnen is het belangrijk dat er bij verbouwingen rekening gehouden wordt met wat er komen gaat. Eén van de belangrijkste onderwerpen binnen het voorspellen van de toekomst is het veranderende klimaat. Zoals in hoofdstuk 3.2.6 beschreven wordt is het klimaat een belangrijke factor in de manier waarop we verbouwingen uitvoeren. Projecten moeten zo duurzaam mogelijk zijn, weerbestendig, zo milieu vriendelijk en groen mogelijk. Maar wat is het toekomstbeeld van de gemeente Amsterdam wat duurzaamheid en vergroening betreft?

In de structuurvisie van de gemeente Amsterdam zijn al een aantal ideeën opgenomen over verduurzamen en vergroening voor het toekomstige Amsterdam (Structuurvisie Gemeente Amsterdam, 2010).

#### **Centrumgebied Amsterdam autoluwer maken**

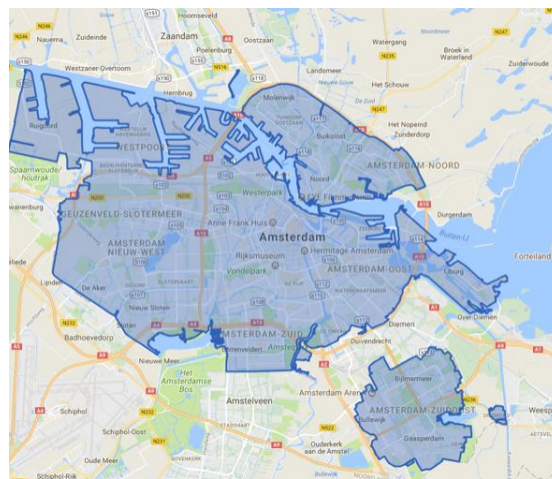
De gemeente Amsterdam ziet het probleem van de drukte in de stad steeds verder toenemen. Het toenemen van de hoeveelheid auto's is daar een onderdeel van. In de stad wordt steeds meer geklaagd over de drukte en over het tekort aan parkeerplaatsen in het centrumgebied. Het oplossen van het drukte en parkeerprobleem in het centrumgebied is een moeilijke zaak omdat de bouwers van het centrum 400 jaar geleden niet wisten dat er überhaupt auto's zouden bestaan in de toekomst. Er is weinig ruimte beschikbaar voor de (ver)plaatsing van zoveel auto's dat de gemeente ernaar streeft om het autogebruik in het centrumgebied te ontmoedigen. Het ontmoedigen van het autogebruik in het centrum kan door middel van het duurder maken van de parkeertarieven. Hiermee is de gemeente al een tijdje bezig waarbij de kosten voor een uurtje parkeren langs de

Keizersgracht meer dan vijf euro per uur bedraagt. Hierdoor kiest men minder snel voor autogebruik omdat het te duur wordt. Een andere manier om autogebruik te ontmoedigen is het afsluiten van straten met elektronische palen waardoor alleen bewoners met hun auto naar hun huis kunnen komen. Buiten de stad wordt extra ruimte vrijgegeven voor parkeervelden voor mensen die van buiten de stad komen. Vanaf de parkeerplaatsen kan men met het openbaar vervoer naar de stad.

Sinds 9 oktober 2008 heeft de gemeente Amsterdam een milieuzone voor vrachtauto's ingesteld. Deze zone beslaat een gebied binnen de ring van de A10 met als uitzondering Amsterdam-Noord en een aantal bedrijventerreinen. Sinds januari 2017 (Figuur 6) geldt de milieuzone ook voor dieselbestelauto's van voor het jaar 2000 (Milieuzones Amsterdam, 2018). De uitstoot van deze vervoersmiddelen is van zodanige hoeveelheid dat de uitlaatgassen teveel in de stad blijven hangen en de luchtkwaliteit van het centrum afneemt. Niet alleen vrachtwagens en bestelbusjes zijn verboden, want sinds 1 januari 2018 zijn brom- en snorfietsen, dieseltaxi's en dieselautobussen (touringcars) van voor een bepaalde jaargang ook onderdeel van de voertuigen die geweerd worden uit de milieuzone (Figuur 5). Het weren van milieubelastende voertuigen zal bijdragen aan het autoluwer maken van de stad. Door de afname van het aantal voertuigen is er meer ruimte voor het openbaarvervoer. De doorstroming zal verbeteren waardoor er minder vertragingen zullen ontstaan.



Figuur 6: Milieuzone voor vrachtwagens en dieselbestelauto's 2017.



Figuur 5: Milieuzone brom-snor scooters van voor 2010

### Emissievrije stad Amsterdam 2030.

Begin mei 2019 is een rapport verschenen waarin de gemeente Amsterdam haar doelstelling voor de uitstoot van broeikasgassen door voertuigen heeft gepresenteerd. In dit rapport staat vermeld dat de gemeente in het jaar 2030 emissievrij wilt zijn (Team luchtkwaliteit Gem. Amsterdam, 2019). Dit geldt voor alle voertuigen binnen de ring A10. In een aantal tussenstappen moeten auto's, bestelbusjes, bussen, taxi's, touringcars en scooters emissievrij zijn. Het emissievrij worden van de stad moet de luchtkwaliteit verbeteren en de leefbaarheid van de stad vergroten.

### **Meer aandacht voor water en groen in de openbare ruimte**

De gemeente Amsterdam wil graag duurzamere stad van Amsterdam maken (Structuurvisie Gemeente Amsterdam, 2010). Daarom steekt de gemeente veel tijd en energie in het onder de aandacht brengen van de bevolking dat we zo duurzaam mogelijk moeten gaan wonen, bouwen en leven. De indeling van de openbare ruimte is daarbij belangrijk. Het toevoegen van groen in het straatbeeld zal voor veel mensen een positieve bijdrage leveren aan de leef kwaliteit. Bij het toevoegen van groen denkt men vaak gelijk aan bomen, maar bomen zijn langs een kademuur niet altijd even handig. De wortels drukken de kademuur en het straatwerk kapot wat grotere gevolgen heeft voor de veiligheid en afstroming van water. Daarbij komt dat meer bomen, langs bijvoorbeeld de Keizersgracht, het zicht op de kenmerkende grachtenpanden verslechtert. Ondanks de negatieve effecten die bomen hebben langs de gracht zijn de positieve effecten groter. De bomen zuiveren de lucht en maken het straatbeeld volgens velen levendiger. De bomen mogen niet verdwijnen uit het straatbeeld en zullen op een nieuwe manier ingepast moeten worden waardoor de negatieve effecten zoveel mogelijk verdwijnen.

Waterberging is met het veranderende klimaat een goede manier om ervoor te zorgen dat piekafvoeren in rioleringen niet te extreem worden. Het bergen van water zorgt er ook voor dat het oppervlaktewaterpeil niet te snel stijgt waardoor overstromingen minder snel zullen optreden. Waterberging kan op vele manieren uitgevoerd worden. Zo kan je waterpleinen aanleggen die bij zware regenbuien vol gaan staan van al het regenwater dat er in de directe omgeving valt. Het aanleggen van waterpleinen langs de Keizersgracht is daarentegen niet mogelijk door ruimtegebrek.

### **City deal Amsterdam**

De gemeente Amsterdam heeft in samenwerking met andere partijen besloten om Amsterdam in 2050 qua warmtevoorziening aardgasloos te maken in de zogenoemde "City Deal Amsterdam". Onder de betrokken partijen vallen: Gemeente Amsterdam, NUON/Vattenfall/WPW, AFWC, ASW, HA, Alliander DGO, Liander en Ymere. Aardgas verbranding is de grootste vorm van warmtevoorziening in Nederland en daarmee ook een grote CO<sub>2</sub> uitstoter. Om de CO<sub>2</sub> uitstoot te verminderen hebben de betrokken partijen een aantal warmtedoelenstellingen gezet tot het jaar 2050 (Energiekaart net, 2017).

- In 2040 Amsterdam aardgasvrij\*
- De partijen zien de noodzaak om tot een betaalbare en duurzame warmtevoorziening te komen zonder fossiel gas te verbruiken in 2050.
- Nieuwe woonwijken worden niet op het gasnet aangesloten maar op een duurzaam warmtenetwerk.
- In 2020 moeten 102.000 woningen aangesloten zijn op stadswarmte.
- In 2030 moeten alle gemeentegebouwen op duurzame warmte draaien.

\*: Amsterdam wil in 2040 aardgasvrij zijn. Dat wil zeggen dat op kleine schaal huizen en bedrijven die op gas gestookte fornuizen, cv-ketels en kachels hebben van het aardgas af moeten zijn. Dit geldt nog niet voor grote warmte installaties die stadswarmte leveren, die doelstelling staat in 2050 om aardgas vrij te zijn.

De gemeente Amsterdam is met de betrokken partijen druk bezig om een duurzamere stad te krijgen met zo minimaal mogelijke CO<sub>2</sub> uitstoot. Het vervangen van het aardgas warmtenetwerk betekent dat er nieuwe warmte netwerken nodig zijn om aan de warmtevraag te kunnen voldoen van een steeds groter wordende stad. De nieuwe warmtebronnen die men wil gaan gebruiken om gebouwen te verwarmen zullen vooral bestaan uit aardwarmte en industriële restwarmte. Op kleinere schaal kan oppervlaktewaterwarmte of bodemwarmte gebruikt worden.

### **Energietransitie: Warmte winnen uit duurzame bronnen.**

Met de toename van de temperatuur op aarde door de uitstoot van broeikasgassen is het terugdringen van die uitstoot van groot belang. De Europese Unie heeft doelstellingen bekend gemaakt waar de landen binnen Europa naar toe moeten werken wat uitstoot van broeikasgassen betreft. Nederlandse overheid is volop bezig om aan deze doelstellingen te voldoen maar dat kost tijd en veel geld. Eén van de veranderingen om de uitstoot te beperken is het minder gebruik maken van aardgas om gebouwen mee te verwarmen. Zoals eerder beschreven werd, is de gemeente Amsterdam druk bezig met de energietransitie van de stad Amsterdam om de doelstellingen van een aardgasvrije stad te kunnen halen. Het gebruik van stadswarmte, warmtepompen en warmte-koude opslag is een goed voorbeeld van duurzaam en circulair verwarmen en koelen van gebouwen.

Warmte-koudeopslag systemen, waar een warmtepomp onderdeel van uitmaakt, pomp in de zomer het koude grondwater omhoog om het gebouw te koelen. Nadat het koude water zijn kou heeft afgestaan wordt het warmere water op een andere plek weer de bodem in gepomp. In de winter wordt het warme water opgepompt om het gebouw te verwarmen. Het afgekoelde water wordt op de plek waar het koude water vandaan komt weer in de grond gepomp. Het heen en weer pompen van het koude en warme water is een duurzame manier om een gebouw te verwarmen en te koelen.

### **Meer infiltratiemogelijkheden voor regenwater**

In Amsterdam is het hoogte van het grondwaterpeil van groot belang. De oude stad is gebouwd op houten palen. Door het hoge grondwaterpeil, blijven de palen onderwater staan en kunnen ze niet rotten. Als het grondwaterpeil daalt, komen de palen deels droog te staan en gaan ze rotten door de aanwezigheid van zuurstof. Op het moment dat palen gaan rotten zullen delen van de oude stad gaan verzakken en krijgen we gevaarlijke situaties van instortende gebouwen. Belangrijk is dat het grondwaterpeil hoog genoeg blijft om rotting tegen te gaan. In de structuurvisie van de gemeente Amsterdam staat aangegeven dat meer hemelwater moet infiltreren in de ondergrond (Structuurvisie Gemeente Amsterdam, 2010). Door het infiltreren van water in de ondergrond wordt het grondwaterniveau op peil gehouden.

### 3.2.3 Deelvraag 3: Hoe ziet de kademuur eruit langs de Keizersgracht?

#### Huidige kademuur Amsterdam

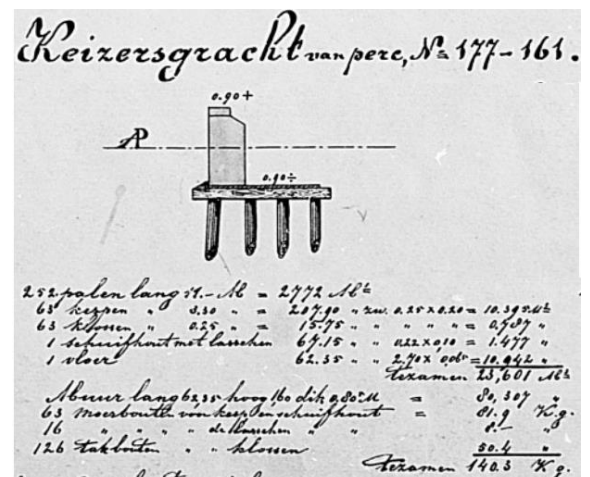
De bouw van grachtengordel in Amsterdam begon al in de 17<sup>e</sup> eeuw en is vanaf toen verder uitgebreid. Omdat de grachten gebruikt werden als één van de belangrijkste infrastructuur om de verhandelde goederen uit binnen- en buitenland te kunnen vervoeren waren kademuren nodig om de schepen aan te meren voor de grachtenpanden. De kademuren langs de grachten waren in het oorspronkelijke bouwplan voorzien van bomen en hadden vooral een functioneel doel. In een aantal schilderijen van de grachtengordel zoals te zien is in Figuur 7 zijn geen bomen zichtbaar. Dit was alleen maar omdat de bomen de panden niet zichtbaar maakte (Kaljee, 2019). Vanaf de kademuur tot aan de gevel was niets anders dan verhard oppervlak waardoor mensen en goederen schoon bleven. Een ander voordeel van een verhard oppervlak is dat vervoersmiddelen als paard en wagen zich eenvoudig konden verplaatsen.

Om een beeld te kunnen krijgen van de kademuren langs de gracht is het van belang dat er gekeken wordt naar de opbouw en constructie van een kademuur in Amsterdam. De allereerste kademuren werden gemaakt van houten planken en panelen. Ook de fundering van de kademuur was van hout gemaakt. De bomen langs de grachten hadden als doel om met hun wortels in de houten planken en funderingen vast te groeien om stabiliteit te geven aan de constructie. De muur zelf is een gemetselde constructie. In Figuur 8 is de constructie te zien van kademuur langs de Keizersgracht nadat de houten schotten zijn vervangen voor de eerste stenen kademuur. Van de houten kademuren zijn geen tekeningen meer te vinden.

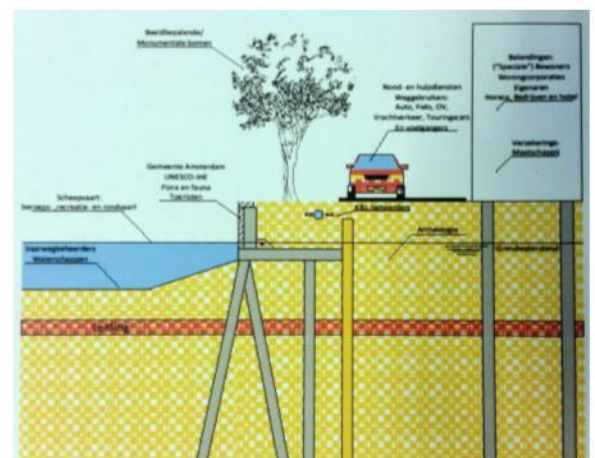
De standaard opbouw van een kademuur in Amsterdam van tegenwoordig is weergegeven in Figuur 9. Het uiterlijk van een Amsterdamse gracht in de grachtengordel is vanaf het water gezien een verticale opgemetselde kademuur. De bovenkant van de kademuur ligt op hetzelfde maaiveld niveau als de parkeervakken die zich tussen de bomenrij bevinden. Vervolgens lopen de parkeervakken gelijkvloers over in een iets bol liggende straat. Tussen de straat en de gevel bevindt zich een voetpad. De straat en het voetpad zijn door middel van Amsterdammertjes van elkaar gescheiden.



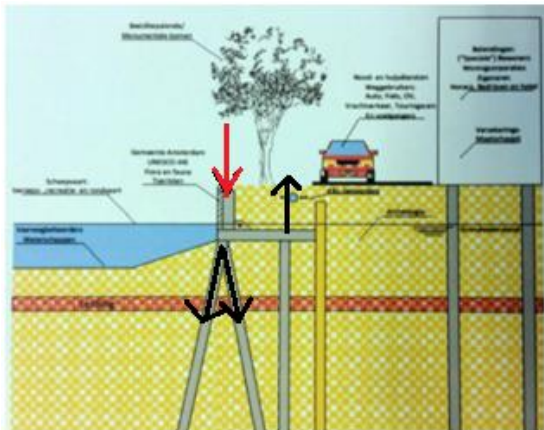
Figuur 7: De Gouden Bocht (1685) van Gerrit Adriaensz (Bron: Geschiedenis beleven.nl)



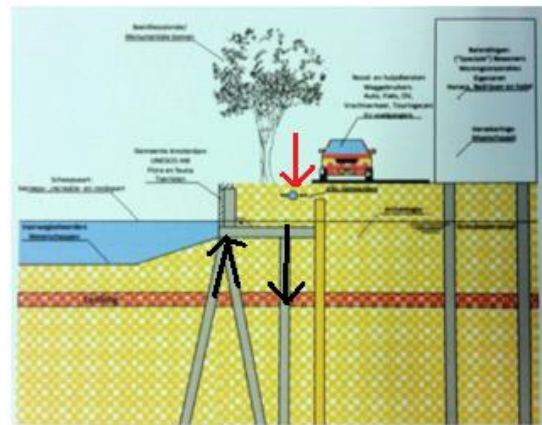
Figuur 8: Deels houten kademuurconstructie Keizersgracht (Bron: stadsarchief Amsterdam)



Figuur 9: Standaard opbouw kademuur Amsterdam (bron: RHDHV)



Figuur 11: Krachten op constructie bij belasting op kademuur



Figuur 10: Krachten op constructie bij belasting maaiveld

Wat men niet ziet is de constructie ondergronds die ervoor zorgt dat de kademuur niet instort. Het zichtbare deel net boven het waterpeil is een opgemetselde muur met als basis een betonnen wand. De verticale opgemetselde kademuur rust op een horizontale plaat. De horizontale plaat rust op drie funderingspalen waarvan er twee direct onder de kademuur schuin staan in de ondergrond en eentje staat verticaal onder het andere eind van de plaat. De plaatsing van de funderingspalen heeft als doel het opnemen van krachten die werken op de gehele constructie. Bij een belasting direct bovenop de kademuur zullen de krachten opgevangen worden door de drie palen. De twee diagonale palen onder de kademuur zullen een drukkracht ervaren en de paal onder het einde van de plaat zal een lichte trekkracht ervaren zoals te zien is in Figuur 11. Een belasting op het maaiveld boven de horizontale plaat (tussen de boom en de auto) wordt de kracht voor een groot deel opgevangen door de ondergrond. De krachten die doordringen tot aan de plaat worden door de verticale paal als drukkrachten opgenomen. De kracht die op de twee diagonale palen rust, ligt aan de plek waar de krachten op de plaat aangrijpen. Grijpt de kracht aan tussen de drie palen, dan rust er op de twee diagonale palen ook een drukkracht. Grijpt de kracht zich rechts van de verticale paal aan, dan ervaren de twee diagonale palen een trekkracht, zoals te zien is in Figuur 10.

### Toekomstige kademuurconstructie

De toekomstige kademuur langs de grachtengordel zal wat het uiterlijk betreft hetzelfde zijn als voorheen, maar wat je niet ziet is dat er een aantal veranderingen zijn toegepast. De houten fundering wordt vervangen door een betonnen constructie. De funderingspalen onder de constructie worden tot een dragende zandlaag aangebracht. Uit het bodemonderzoek blijkt dat de eerste draagkrachtige zandlaag langs de Keizersgracht op ongeveer 14 meter diepte ligt (Zie 9.2 in bijlage). De kademuur zal bestaan uit een betonnen kern met als schil de gemetselde stenen. In de kademuur moet er op een aantal plekken rekening gehouden worden met doorgangen voor hemelafvoeren van straat en andere systemen. Deze doorgangen zullen bestaan uit een kunststof buis die door de kern en de schil komt en onder het laagste waterpeil afvoert in de gracht.

### **Programma van eisen toekomstige kademuur**

- Hoogte van de kademuur op locatie zelfde hoogte als verwijderde kademuur
- Grondkerende wand met gemetselde stenen als schil
- Betonnen funderingspalen tot eerste draagkrachtige zandlaag. ( $\pm 14$  m o.m.v.)
- Doorgangen voor hemelwaterafvoer
- Openingen door kademuur onder waterpeil
- Zelfde uiterlijk als oude kademuur (UNESCO)
- Redding ladders toepassen aan kademuur

### 3.2.4 Deelvraag 4: Welke ondergrondse systemen bevinden zich langs de gracht?

De Amsterdamse grachtengordel staat bekend om zijn kenmerkende grachten met hun panden. Bij de Keizersgracht is dat niet anders dan de andere. Maar wat de bewoners en toeristen niet zien zijn de onzichtbare netwerken van elektra, telecom, waterleidingen en rioleringen. Deze systemen zijn ieder verwerkt in de grond onder de straat. Bij het uitvoeren van een locatie bezoek zijn op straat meerdere infrastructurele systemen waargenomen. De verscheidene systemen (voor zover dat mogelijk was) zijn bekeken en gefotografeerd. De systemen die langs de Keizersgracht vanaf de straat aantreffen werden, bestonden uit een gemengd rioolstelsel, drinkwaterleidingen en gasleidingen. Verder was tijdens het locatiebezoek een graafmachine aan het graven in de stoep langs de Keizersgracht. Door het gat in te kijken waren er veel kabels en leidingen te zien. Er lagen meerdere pvc-buizen over elkaar heen waarvan er maar één gelabeld was. Voor de rest was het onduidelijk waar wat voor diende (Figuur 12).



Figuur 12: Kabels en Leidingen in stoep Keizersgracht (Bron: Eigen foto)

Om een beter beeld te krijgen van wat zich in de ondergrond bevindt is er een oriëntatieverzoek ingediend bij het kadaster van een gedeelte van de Keizersgracht (Het Kadaster, 2019). In de verkregen documenten staan alle bedrijven en organisaties die hun kabels en leidingen in de grond hebben liggen langs de Keizersgracht (Figuur 13). Zo zijn er meerdere bedrijven die hun datakabels hebben liggen. Waternet is het bedrijf dat haar riolering en drinkwaterleidingen in de grond heeft liggen. De netbeheerder die verantwoordelijk is voor de elektriciteit en het gas is Liander. Wat uit het Oriëntatieverzoek duidelijk naar voren komt is het aantal telecommunicatie kabels in de ondergrond aanwezig zijn. In en rond de Keizersgracht zijn er 12 telecom bedrijven zoals Ziggo, tele2 en KPN die hun datatransportkabels in de ondergrond hebben liggen. Vaak liggen die kabels op hetzelfde tracé.

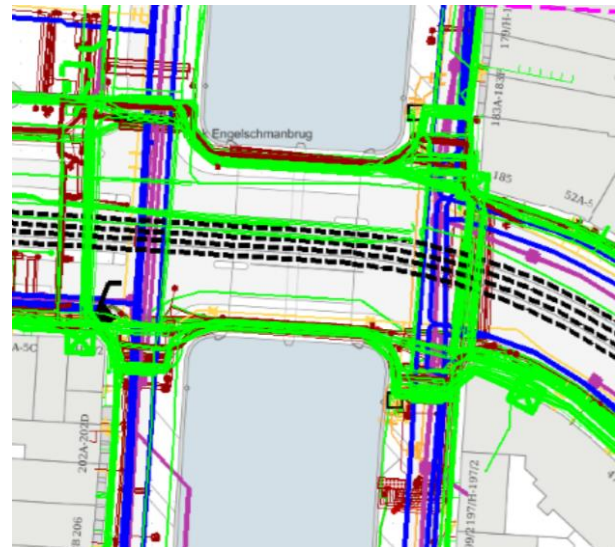
Liander gas hoge druk	waternet riool vrijval	EuNetworks BV datatransport	Interoute pa EI datatransport
Liander middenspanning	waternet water	Eurofiber datatransport	KPN datatransport
Liander datatransport	waternet overig	gvb datatransport	Tele2 Nederland datatransport
Liander gas lage druk	Alliander Telec datatransport	gvb laagspanning	VerizonNederian datatransport
Liander laagspanning	BT Nederland datatransport	gvb overig	Ziggo BV datatransport
waternet riool onder over- o	colt datatransport	divv-kunstwerke laagspanning	

Figuur 13: Aanwezige bedrijven met kabels en leidingen langs de Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)



Omdat al die bedrijven hun kabels en leidingen in de ondergrond hebben liggen is het erg vol. In Figuur 14 is te zien hoe vol de ondergrond is op de Keizersgracht als we alles laten zien in één tekening. In de toekomst zal dit netwerk zich verder uitbreiden en om extra kabels aan te brengen moet gegraven worden. Het is van groot belang dat er geen kabels en leidingen geraakt worden tijdens graafwerkzaamheden.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de belangrijkste kabels en leidingen langs de Keizersgracht verder onderzocht. Afbeeldingen die in dit hoofdstuk staan laten onderdelen zien van de totale tekeningen die in de bijlage te vinden zijn.



Figuur 14: Alle kabels en leidingen langs de Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)

## Huidig rioolstelsel

Sinds het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw is de stad Amsterdam begonnen met het aanleggen van het riool. Door het aanleggen van het rioolstelsel werd het vuile water uit de huizen en werkplaatsen niet langer meer in het oppervlaktewater geloosd. Hierdoor verbeterde de waterkwaliteit van het oppervlaktewater in de grachten en werd de leefbaarheid van de stad prettiger door de afname van de stank.

Het rioolstelsel van Amsterdam groeit met de stadsuitbreidingen mee. Door innovaties zijn er door de jaren heen steeds nieuwe typen rioolstelsels ontworpen die ieder vaak een verbetering vormt ten opzichte van het vorige type. Dat er nieuwe typen rioolstelsel ontworpen worden betekent niet dat die overal in de grond aanwezig zijn. Veel oude woonwijken en stadsdelen hebben nog steeds de oudste stelsels en de grond liggen. Het oude vervangen door het nieuwe zal dan het beste zijn maar de meeste rioleringen bevinden zich onder het straatoppervlak. Om het vervangen van het oude stelsel te laten plaatsvinden, zal de weg afgesloten en de straat opgegraven moeten worden. Dit heeft veel hinder tot gevolg voor het verkeer en omwonenden maar ook de hoge kosten zijn een struikelblok. Maar door het steeds drukker worden in de stad en het veranderende klimaat merken we op dat het oude stelsel soms de piekafvoeren niet aankan en daardoor de straat overstroomt.

In de oudere delen van de stad Amsterdam bevindt zich nog steeds een gemengd rioolstelsel. Dit betekent dat zowel de hemelwaterafvoer (hwa) als de droogweerafvoer (dwa) in dezelfde rioolbuis in de straat terecht komt. Met het dwa wordt het water afkomstig uit huizen en gebouwen zoals douche, toilet, was, water bedoeld. Het is, al het water dat bij droog weer in het riool komt. In de grachtengordel van Amsterdam ligt nog zo'n verouderd gemengd rioolstelsel. Het gemengde rioolstelsel voert het huiswater en hemelwater af richting de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi). Tegenwoordig proberen veel mensen zo duurzaam mogelijk te leven en wordt er getracht het relatief schone hwa niet te laten mengen met het sterk vervuilde dwa.

Het scheiden van deze twee afvoeren is tegenwoordig verwerkt in een gescheiden rioolstelsel. Voor het dwa en hwa wordt een eigen rioolstelsel onder de straat aangelegd. Door het scheiden van de afvoerstromen kan het relatief schone hemelwater afgevoerd worden naar een locatie waar het water kan infiltreren in de bodem waardoor het grondwater wordt aangevuld. Ook kan het overtollige hemelwater vast gehouden worden in plaats van het oppervlaktewater instromen als er meer water valt in korte tijd dan er geïnfiltreerd kan worden.



Figuur 16: Putdeksel gemengd rioolstelsel in straat Keizersgracht (bron: Eigen foto)



Figuur 15: Putdeksel gemengd rioolstelsel Keizersgracht uitvergroot (bron: Eigen foto)

Vaak is aan de ligging van de putdeksels van straatkolken te zien of er een gemengd rioelstelsel of een gescheiden stelsel onder de grond ligt. De netbeheerder, waternet, heeft gezegd dat er op de Keizersgracht een gemengd stelsel ligt. dat is te zien dat om de tiental meters een putdeksel in de straat ligt (Figuur 15).

Bij het aanvragen van het oriëntatieverzoek bij het kadaster van een gedeelte van de Keizersgracht is op de tekening te zien dat er een gemengd rioelstelsel aanwezig is in de ondergrond. Het rioelnetwerk wordt in Amsterdam beheerd door Waternet. In het Oriëntatieverzoek wordt onderscheid gemaakt tussen een vrij-verval rioelleiding en een rioelleiding die onder over- onderdruk staat. In Figuur 18 is een gedeelte van het vrij verval rioelstelsel weergegeven aan de Keizersgracht. Op de paarse lijnen zijn bolletjes aangegeven, dit zijn inspectieputten die op straat te herkennen zijn aan de grote stalen deksels zoals Figuur 15. De getallen die af te lezen zijn in Figuur 18 geven de hoogte ligging aan van de leidingen in mNAP. In Figuur 18 zijn ook de diameters van de riolering te zien. Aan de rechterkant (oosten & binnenbocht) van de Keizersgracht is te zien dat daar een enkele riolbuis loopt met een diameter variërend van 500 mm tot 600mm. Aan de linkerkant (west) van de gracht zijn twee leidingen te zien waarvan er eentje in het water ligt. De leiding die onder de straat ligt heeft een diameter van 300mm en is in verhouding tot de leiding aan de rechterkant van de gracht ligt een stuk kleiner.



Figuur 18: Rioleringsstelsel Keizersgracht (bron: Oriëntatieverzoek kadaster)

De leiding die in de waterkant ligt is een verzamelleiding en is aangelegd in 1989 omdat de leiding onder de straat te klein werd. Door de verzamelleiding kunnen grotere hoeveelheden vuil water afgevoerd worden. De leiding heeft daarom ook een diameter van 800mm. In de bijlage zijn meer foto's te zien van toen de leiding in de gracht werd aangelegd. Onder vrij verval stroomt het rioelwater uit het gebied via de grote afvoerleiding het gebied uit richting de RWZI. .

In de Bijlage zijn nog meer afbeeldingen te vinden van de aanleg van de riolering in de gracht uit 1980. (Figuur 17) (Figuur 77) (Figuur 78) (Figuur 79)



Figuur 17: Aanleg verzamelriool in de waterkant van de gracht

### **Toekomstig rioolstelsel**

Uit het onderzoek is gebleken dat er langs de Keizersgracht een gemengd rioolstelsel van rond het jaar 1970 aanwezig is (van Mansom, 2019). In dit gemengde riool komt het vuil water uit de huizen en een deel van het regenwater samen waarna het gezamenlijk richting het RWZI stroomt. In het nieuwe en toekomst bestendige rioolstelsel worden de waterstromen gescheiden. Alleen het vuilwater zal nog richting het RWZI stromen en het regenwater zal naar het oppervlaktewater afstromen of infiltreren in de ondergrond.

Als we kijken naar de droogweerafvoer (dwa) kunnen we constateren dat de grachtengordel niet groter zal worden. Er komen geen nieuwe panden bij of grote veranderingen omdat de grachtengordel een UNESCO werelderfgoed gebied is (UNESCO, sd). Omdat de grachtengordel zich niet veel verder kan uitbreiden is een vergroting van het dwa riool niet eens nodig.

In het hemelwaterafvoer systeem zullen de straatkolken in de goten via één buis verbonden worden. Onder iedere goot ligt een verzamelbuis die op een aantal plekken het water afvoert richting het oppervlaktewater. De afvoerbuis zal door de kademuur heen geboord of aangelegd moeten worden onder het laagste waterpeil zodat de uitstroom opening niet zichtbaar is. Omdat er na 2030 alleen maar emissievrije voertuigen in het centrum mogen komen is de kans op vervuilde brandstof en oliën op straat sterk gedaald. Hierdoor is het hemelwater schoon genoeg om via het hemelwaterafvoer systeem het oppervlaktewater in de stromen. Omdat er geen of nauwelijks brandstoffen en oliën het oppervlaktewater instromen, zal de kwaliteit van het grachtenwater niet verslechteren.

### **Programma van eisen toekomstig rioolstelsel**

- Huidig rioolstelsel blijft liggen en wordt gebruikt voor droog weer afvoer
- Hemelwater krijgt zijn eigen ondergrondse afvoer naar het oppervlaktewater
- Verzamelriool in waterkant moet blijven bestaan.

## Huidig gas netwerk

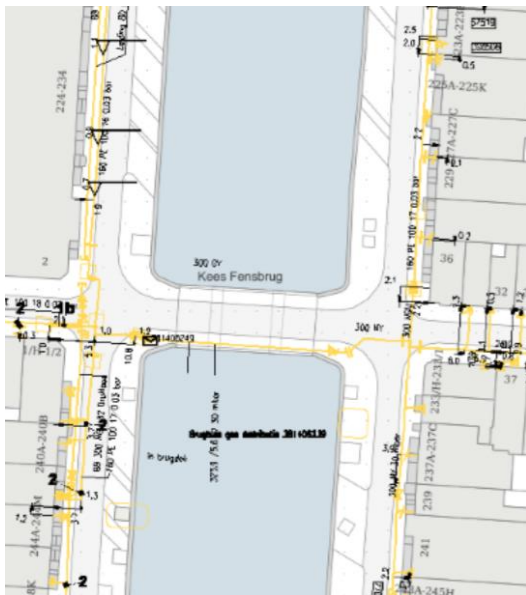
In de ondergrond van de Keizersgracht ligt een gasleiding die de huizen voorziet van warmte en vuur voor het koken. Tijdens het locatiebezoek is het opgevallen dat er heel wat gas afsluiters aanwezig zijn. In de straat zijn stalen gas dekseltjes zichtbaar tussen de klinkers. (Figuur 19). Onder deze dekseltjes bevinden zich afsluiters die het mogelijk maken om panden af te sluiten van het gasnet.

Uit het oriëntatieverzoek bij het kadaster blijkt dat er 2 systemen aanwezig zijn in de straat, een hoge druk en lage druk gasnetwerk. De netbeheerder is hier Liander.

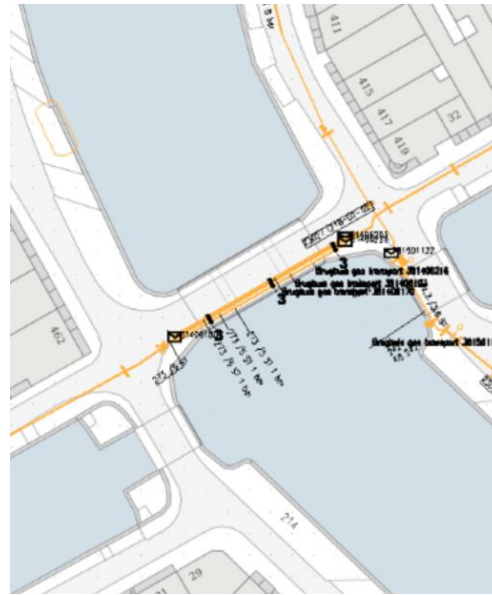


Figuur 19: Gas afsluiting (bron: Eigen foto)

Het lage druk netwerk (Figuur 21) bevindt zich in elk rak<sup>1</sup> onder elke straat langs de Keizersgracht. Om precies te zijn onder de stoep. Aan het lage druk netwerk worden de huisaansluitingen aangesloten. De CV-ketel en het fornuis zijn vervolgens weer aangesloten op de huisaansluiting. In het lage gasdruk systeem varieert de druk van 0,1 MPa tot 10 kPa (1 bar tot 0,1 bar) (Taselaar, 2009).



Figuur 21: Liander gas lage druk (Bron: Oriëntatieverzoek bij kadaster)



Figuur 20: Liander gas hoge druk (bron: Oriëntatieverzoek bij kadaster)

Zoals eerder genoemd bevindt er zich ook een hoge druk gasleiding langs de Keizergracht. Het hoge druksysteem vervoert het gas over langere afstanden. Het hoge druksysteem is via afsluiters verbonden met het lage druksysteem. Langs de Keizergracht ligt de leiding aan de oneven huisnummer kant, dat is de binnenbocht van de gracht (Figuur 20). Het hoge druk systeem bevindt zich daarentegen vooral onder de straten die Keizersgracht kruisen. In het hoge druk systeem varieert de druk van 0,4MPa tot 0,8 MPa (4 bar tot 8 bar) (Taselaar, 2009).

<sup>1</sup> Rak: Afbakening van een gedeelte van een rivier of vaarweg. In dit geval het deel van de Keizersgracht tussen twee bruggen.

### Toekomstig gas netwerk

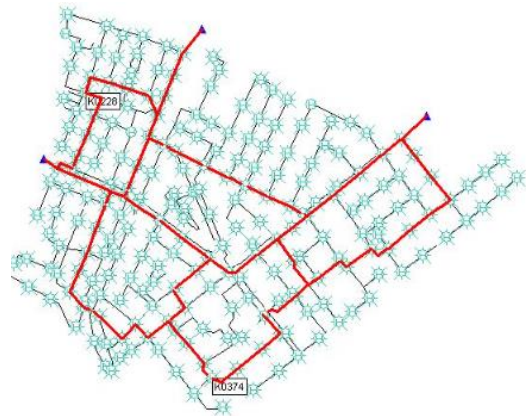
Door de doelstelling van de gemeente Amsterdam om van het aardgas af te gaan in 2040 is er geen nieuw gasnet nodig. Maar wat te doen met de oude gasleiding? In de basis wordt gezegd dat als een kabel of leiding overbodig of niet gebruikt wordt, de kabel of leiding verwijderd wordt. Dit wordt gedaan om de hoeveelheid kabels en leidingen in de ondergrond niet onnodig te laten groeien. Het verwijderen van de oude gasleiding is niet zo simpel als het lijkt.

Het aanleggen van duurzame energiesystemen in de stad kan niet in één keer gerealiseerd worden. Dat gebeurt in meerdere fases en waar je begint is belangrijk voor het gebied rondom. Je kunt niet zomaar ergens een stuk gasleiding weghalen want dan bestaat de kans dat er naar een deel van de straat geen gas meer kan.

De locatie waar begonnen wordt met het verwijderen van het gasnet zal meer afhangen van de staat van de kademuren dan waar in het gasnet je de leiding afsluit. Als er een kademuur vervangen moet worden omdat deze prioriteit heeft en gelijk een duurzaam energiesysteem wordt aangelegd, hoeft de gasleiding niet persé meteen verwijderd te worden. Alleen de panden die op het duurzame systeem overgaan hoeven afgesloten te worden. Hierdoor kunnen de panden verderop in de straat nog gebruik maken van het gas totdat zij aan de beurt zijn met het overgaan op de duurzame systemen.

### Huidig drinkwater netwerk

De stad Amsterdam wordt door het bedrijf Waternet voorzien van drinkwater. Het drinkwater is een gesloten systeem van verschillende diameter leidingen. Het drinkwater wordt vanuit de drinkwaterfabriek via grote transportleidingen richting de stad vervoerd. Naarmate het water verder in de stad komt takt de grote waterleiding af in steeds kleinere diameters tot aan de huizen. Het drinkwaterstelsel is niet letterlijk een vertakt stelsel. Anders dan bij de riolering is het drinkwaterstelsel een vermaasd stelsel (Figuur 22). Dat houdt in dat het water constant rond gepomp kan worden door de grotere leidingen. Dat betekent dat het water via twee of meer wegen naar je huis toe kan komen. In het geval van beschadigingen aan een leiding kan het getroffen gedeelte afgesloten worden met behulp van afsluiters en kan het water via de andere weg naar de locatie komen. Daarbij komt dat in een gemaasd stelsel er nooit stilstaand water optreedt. Hierdoor blijft de kwaliteit van het drinkwater hoog.



Figuur 22: Voorbeeld vermaasd Drinkwaterstelsel

Bij het uitvoeren van een locatiebezoek is opgevallen dat er op sommige plekken veel afsluiters aanwezig zijn langs de Keizersgracht. Zo zijn er drie afsluiters te vinden over een afstand van twee meter Figuur 24. Drie afsluiters zo dicht bij elkaar kan duiden op een pand waar veel water gebruikt wordt of waar drie verschillende woningen of bedrijven in een pand zitten met iedere een eigen aansluiting en afsluiter. De afsluiters zijn te herkennen aan de stalen dekseltjes met de letter W of water erop geschreven, zie Figuur 23.



Figuur 24: Drie drinkwater afsluiters naast elkaar (bron: Eigen foto)



Figuur 23: Drinkwater afsluiters Keizersgracht (bron: Eigen foto)



In Figuur 25 is een gedeelte van het drinkwaterstelsel langs de Keizersgracht te zien uit het oriëntatieverzoek van het kadaster. In deze tekening zijn drie blauwe lijnen ingetekend in dezelfde straat, elke lijn stelt een drinkwaterleiding voor. Bij het verifiëren van de tekening bij netbeheerder Waternet volgde een gedetailleerdere tekening waarop maar één drinkwaterleiding zichtbaar was. De tekening in Figuur 26 geeft een beter overzicht van hoe de drinkwaterleiding loopt langs de gracht. De huisaansluitingen zijn bij dit figuur ook aangegeven en genummerd.



Figuur 25: Drinkwaternet fout (Bron :Oriëntatieverzoek kadaster)



Figuur 26: Drinkwaternet Keizersgracht gedetailleerd (Bron: Waternet)

### **Toekomstig drinkwater netwerk**

Het drinkwaternet zal in de toekomst niet veel verder uitgebreid hoeven te worden. De grachtengordel zal niet groter worden omdat het onderdeel is van het UNESCO werelderfgoed. In de bestaande panden zullen niet meer mensen gaan wonen dan nu, waardoor het drinkwatergebruik niet of nauwelijks zal toenemen. De ligging van een drinkwaterleiding in straat zal minimaal 800mm o.mv. moeten bedragen (NEN 7171-1). Vaak wordt er niet dieper dan 1000mm aangelegd (Meerkerk & Beuken, 2017). De minimale dekking is nodig om alle invloeden van de buitentemperatuur als vorst en hitte te kunnen ontlopen. De gemiddelde diameter van drinkwaterleiding in de straat is

### **Programma van eisen toekomstig drinkwaternet**

- Drinkwaterleiding aanleggen tussen de 800mm en 1000mm onder maaiveld.
- Diameter van de waterleiding in straat 22 mm
- Drinkwaterleiding ondieper aanleggen als droogweerafvoer.



## Huidig elektriciteit netwerk

Elektriciteit is tegenwoordig één van de belangrijkste levensbehoeften. Zonder elektriciteit kan de wereld van nu niet goed meer functioneren. We gebruiken stroom voor alles: werk, ontspanning, levensmiddelen bewaren, communicatie, vervoer en huizen verwarmen. Die laatste twee zullen in de toekomst een nog groter deel uitmaken van ons leven. Omdat Nederland van het (Gronings)aardgas af wil zal er meer vraag ontstaan naar elektriciteit. Elektrisch koken, rijden en huizen verwarmen met warmtepompen vragen meer stroom. Door de extra vraag bestaat de kans dat het elektriciteitsnet uitgebreid moeten worden en dat betekent meer kabels in de grond aanleggen.

Niet alleen de panden langs de Keizergracht hebben elektriciteit nodig. Straatlantarens, laadpalen maar ook parkeerautomaten. De ondergrond is een wirwar van elektra kabels die allemaal een eigen functie hebben. Uit het oriëntatieverzoek komt naar voren dat er onderscheid gemaakt wordt tussen twee verschillende typen elektrische spanning: namelijk laagspanning en middenspanning. Het laagspanningsnet is het meest aanwezig in de ondergrond. Het laagspanningsnet voorziet de panden en lantaarnpalen van elektriciteit en heeft een spanning van max 400 V waarvan de gebouwen over het algemeen 230 V gebruiken (Taselaar, 2009). Het middenspanningsnet dient als aanvoer van elektriciteit naar het laagspanningsnet. Middenspanning ( 25-1kV) is minder aanwezig in de ondergrond langs de Keizersgracht dan laagspanning. De overgang van middenspanning naar laagspanning gebeurt in transformatorhuizen(Figuur 27, Figuur 32).



Figuur 27: Transformatorhuis (Bron:GoogleMaps)



## Middenspanning

In Figuur 28 is het middenspanningsnet langs een gedeelte van de Keizersgracht weergegeven. Het valt op dat de middenspanning kabels vooral onder de wegen liggen die de Keizersgracht kruisen. Het netwerk is overzichtelijker dan het laagspanningsnet. Ook is te zien dat de kabels niet langs de gehele gracht gaan. Vanaf de bruggen lopen de kabels voor een deel langs de Keizersgracht tot een transformatorhuisje. Op de plaatsen waar de middenspanning en laagspanning samenkomen, staat het transformatorhuisje dat het voltage vermindert tot het laag genoeg is om de panden en voorzieningen langs de gracht te voorzien van stroom. Figuur 27.

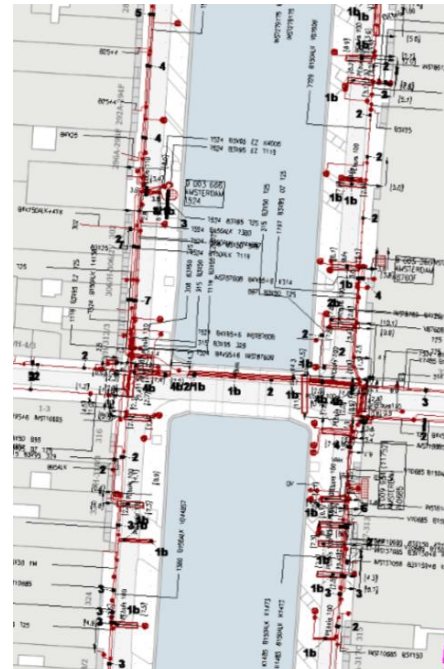
Figuur 28: Liander middenspanningnet (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)

## Laagspanning

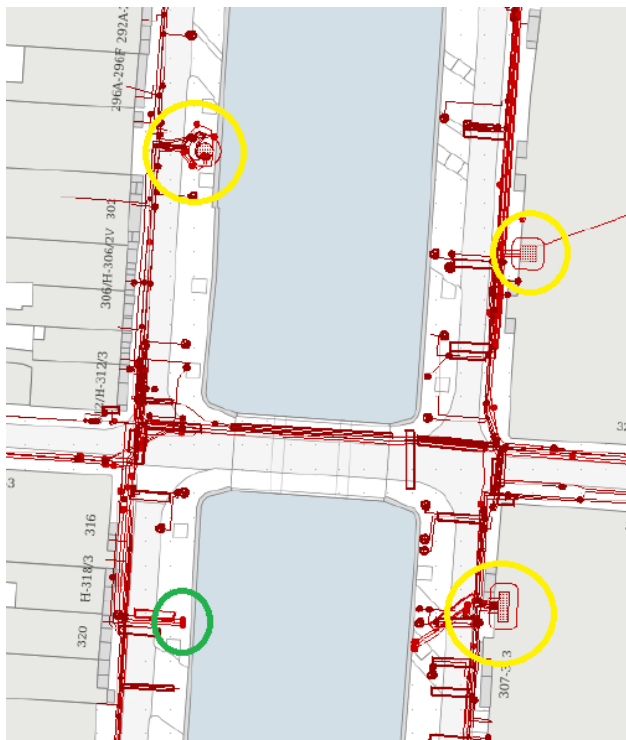
Het laagspanningsnet is, zoals te zien in Figuur 29 van het oriëntatieverzoek, een stuk uitgebreider en complexer. Elk huis, straatlantaarn en andere elektrische apparaten moeten aangesloten worden op dit laagspanningsnet. De tekening ontvangen van Liander via het oriëntatieverzoek bij het kadaster bevat veel tekst en aanduidingen voor huisaansluitingen, lantaarnpalen etc.

Als de tekeningen van de midden en laagspanning over elkaar heen leggen kunnen we zien waar de transformatorhuisjes, verdeelkasten en zelf laadpalen staan (Figuur 30). In Figuur 30 zijn drie gele cirkels aangegeven die transformatorhuisjes en verdeelkasten aangeven. Dat komt overeen met de buitenwereld.

In Figuur 30 is ook een groene cirkel aangegeven, deze cirkel is een laadpaal voor elektrische voertuigen. Het donkere rode net is het laagspanning netwerk en het lichtere rood is het middenspanning netwerk. Dat betekent dat de laadpaal in Figuur 31 is aangesloten op het middenspanningsnet. Tijdens het locatieverzoek viel het op dat de laadpalen niet midden op een rak stonden, maar altijd vlak naast de bruggen. De reden hiervoor is dat het middenspanningsnet vaak over de bruggen loopt en niet altijd langs de gracht.



Figuur 29: Liander laagspanningsnet (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)



Figuur 30: Midden & laagspanningsnet met aangegeven transformatorhuisjes en laadpaal (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)



Figuur 31: Laadpaal Keizersgracht (bron: Eigen foto)



Figuur 32: Transformatorkast (Bron: GoogleMaps)

### Toekomstig elektriciteit netwerk

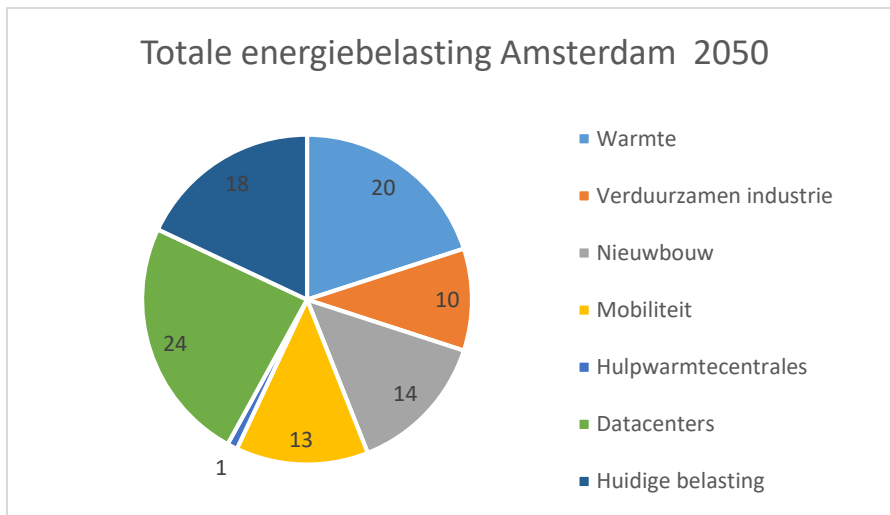
Sinds 1990 neemt het verbruik van elektriciteit elk jaar toe. Maar sinds het jaar 2012 valt op dat het verbruik nagenoeg constant is geworden. Er worden dan wel meer apparaten gebruikt die stroom nodig hebben. Maar door de steeds zuinigere apparatuur blijft het totale verbruik op een constant niveau.

In de toekomst wil de gemeente Amsterdam aardgasvrij zijn. Een bijkomstigheid daarvan is dat er meer elektriciteit gebruikt gaat worden om de duurzame installaties zoals WKO-installaties te laten werken. Bij deze systemen komen er warmtepompen aan te pas die elektriciteit nodig hebben om de temperatuur van het water naar het gewenste niveau te brengen. Niet alleen de verwarming van het huis gaat van het gas af, maar ook het koken moet van het gas af. De keramische of inductie kookplaten hebben ook elektriciteit nodig. Voor het opwekken van elektriciteit in eigen huis kan je zonnepanelen aanleggen waarmee je op duurzame manier je eigen elektriciteit kan opwekken.

Niet alleen in huis stijgt de vraag naar elektriciteit, maar buitenshuis gaat de vraag naar elektriciteit nog meer stijgen in de toekomst. De gemeente Amsterdam heeft aangegeven dat de doelstelling om het vervoer in de stad emissievrij te krijgen in het jaar 2030 een belangrijke stap is in het verschonen van de luchtkwaliteit en het autoluwer maken van de stad (Team luchtkwaliteit Gem. Amsterdam, 2019). Om de doelstelling te kunnen halen zullen alle voertuigen emissievrij moeten rijden en zelfs varen. Ook de beroepsvaart, toeristenvaart en pleziervaart zullen in 2030 emissievrij moeten zijn. Door het verbieden van CO<sub>2</sub> uitstotende voertuigen zullen er alleen maar andere typen voertuigen toegelaten worden in de stad. De meest voor de hand liggende type zijn elektrische voertuigen. Deze moeten allemaal opgeladen kunnen worden in de stad en daarvoor zijn er veel meer laadpunten nodig. Ook langs de kademuuren in de grachtengordel zullen meer laadpalen nodig zijn voor scooters, auto's en misschien ook boten. Deze extra laadpunten verbruiken veel elektriciteit en om die daarvan te kunnen voorzien zijn extra elektriciteitskabels nodig door de gehele stad.

Langs de Keizersgracht ligt een middenspanningskabel die in de transformatorhuisjes wordt omgezet naar laagspanning die vervolgens naar de panden gaan. Omdat er in de toekomst meer elektriciteit wordt gebruikt, is het van belang dat waar mogelijk de panden zelf elektriciteit moeten gaan opwekken. Verwacht wordt dat in 2050 2,5 tot 5 keer zoveel elektriciteit gebruikt wordt dan in 2018 (laagspanning). De laadpalen nemen de elektriciteit ook af van het laagspanningsnet. De gemeente Amsterdam verwacht dat het aantal laadpunten zal moeten groeien van ongeveer 3000 laadpalen in 2018 naar 23.000 laadpalen in 2026 (Team luchtkwaliteit Gem. Amsterdam, 2019).

De extra vraag naar elektriciteit betekent nog niet dat het elektriciteitsnet overal uitgebreid moet worden. Wanneer de stad Amsterdam volledig emissievrij is, zal de elektriciteitsvraag 2,5 tot 5 keer zo groot zijn. De verhoudingen van het totaal verwachte energieverbruik in 2050 zijn in Figuur 33 weergegeven. In de figuur staan de thema's met de percentages waaraan men verwacht het meeste elektriciteit aan kwijt te zijn in 2050. Van het totale energieverbruik in 2050 is 18% het totale huidige verbruik in 2018. De diagram laat ook zien dat de totale energieverbruik in de stad Amsterdam in 2050 ongeveer vijf keer zoveel is als nu. De datacenters en de warmtevraag zullen de grootste gebruikers worden. Dat houdt in dat het huidige elektriciteitsnetwerk zal toenemen. Die extra kabels zorgen voor nog meer drukte in de ondergrond van oude binnenstad (Liander, 2019).



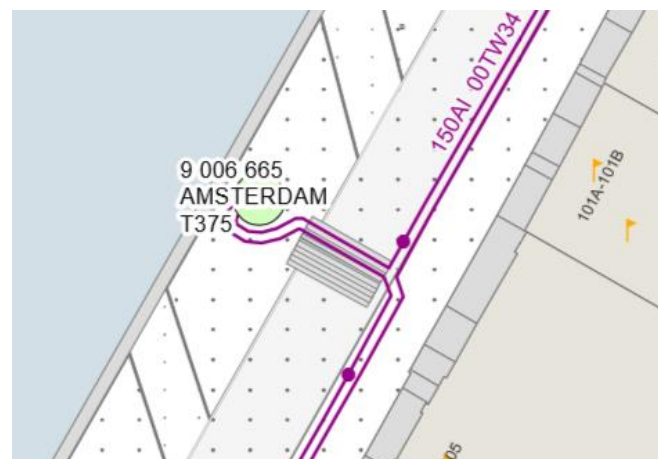
Figuur 33: Totaal verwachte energiebelasting Amsterdam 2050

### Elektriciteitsgebruik en netwerkaanpassing Keizersgracht na transitie

Langs de Keizersgracht zal de elektriciteitsvraag na afronden van de energietransitie en het doorvoeren van emissievrije voertuigen toenemen. De vraag is nu of dit netwerk ook uitgebreid moet gaan worden. Om een beeld te kunnen krijgen van het toekomstige elektriciteitsverbruik langs de Keizersgracht ben ik bij netbeheerder Liander langs geweest en hebben de heer Peter Bonhof en ik met een programma van Liander de toekomstige veranderingen in elektriciteit gebruik als gevolg van de energietransitie doorgerekend. Het programma maakt gebruik van kerngetallen voor het verbruik van verschillende duurzame toepassingen. Door het toevoegen van deze toepassingen aan het huidige netwerk komt naar voren wat voor impact deze toepassingen op het elektriciteitsnetwerk hebben met als doel het toetsen of het huidige netwerk de energietransitie aan kan en of er extra kabels aangelegd moeten worden langs de Keizersgracht. Hierbij is er gekeken naar de impact op het middenspanningsnet en het laagspanningsnet.

#### Middenspanning:

De energietransitie heeft invloed op het middenspanningsnet. De kans bestaat dat er een extra kabel in de ondergrond nodig is om een wijk van genoeg stroom te voorzien. Langs de Keizersgracht liggen op sommige trajecten twee middenspanningskabels, één kabel en soms geen kabels. In het geval dat een middenspanningskabel een woonwijk in de toekomst niet meer kan bedienen, wordt de wijk in tweeën gedeeld en komt er een nieuwe middenspanningskabel vanaf het onderstation naar de wijk toe. Hierdoor daalt het vermogen wat door de kabel mag stromen en kan die minder snel overbelast raken. Dat betekent dat niet de Keizersgracht meer open hoeft, maar alleen de straten waar de nieuwe aanvoer kabel komt te liggen. In het huidige middenspanningsnetwerk liggen 3x 150mm kabels (80 mm diameter). De 3x 150mm slaat op de 3 aluminium kernen in de kabel (Figuur 36). Als er een nieuwe kabel bijgelegd of vervangen moet worden, legt men een nieuwe 3x 240mm kabel aan vanaf het



Figuur 34: Middenspanningsnet Keizersgracht met travo. (Bron: Liander)

onderstation naar de transformatorhuisjes bij de grachten (Figuur 35) . Deze kabel kan meer vermogen aan en transporteren.



Figuur 36: Oudere middenspanningskabel 3x 150mm  
(Bron: eigen foto)



Figuur 35: Modernere middenspanningskabel 3x 240mm (Bron:  
Eigen foto)

Op het moment dat er een middenspanningskabel bij gelegd moet worden, houdt men ongeveer 10 cm ruimte tussen de kabels. Dit wordt gedaan omdat de kabels hun warmte af moeten kunnen geven aan de omgeving en zo min mogelijk elkaar beïnvloeden. Langs de Keizersgracht zijn bepaalde stukken waar twee middenspanningskabels aanwezig zijn in de straat. Mocht hier nog een kabel bij moeten zal dit naar drie kabels gaan. Omdat de kabels niet boven elkaar kunnen liggen in verband met bereikbaarheid van de onderste kabel, nemen de drie kabels samen rond de 60 cm breedte in de ondergrond in beslag. In het ontwerp voor de inpassing van de kabels en leidingen in de ondergrond achter de kademuur wordt gekozen voor de maximale drukte in de ondergrond. Als het ontwerp voldoet met drie middenspanningskabels dan voldoet het ook met één of twee kabels.

### Laagspanning:

Of het laagspanningsnet langs de Keizersgracht uitgebreid moet worden door de energietransitie is nog maar de vraag. Bij een bezoek aan de netbeheerder Liander heb ik met P. Bonhof een programma gebruikt waarin het toekomstige gebruik langs de Keizersgracht aangegeven kon worden waarbij te zien werd wat voor impact dit had op het vermogen van het laagspanningsnet. Het beheer van Liander is bij uitbreiding van het laagspanningsnet de oude kabel vervangen voor een dikkere kabel die meer vermogen aankan als een kabel ernaast aanleggen.

Het toekomstige stroomgebruik is en blijft een inschatting. Liander heeft nog niet gekeken naar wat de energietransitie voor impact heeft langs de Keizersgracht. Dit wordt de eerste keer dat er hiernaar gekeken wordt. De gegevens die in het programma zijn gebruikt zijn door Liander opgestelde kerngetallen die het toekomstige stroomgebruik per toevoeging aan het netwerk moet simuleren.

In het programma is een gedeelte van het laagspanningsnet tussen twee transformatoren langs de Keizersgracht gebruikt om het toekomstige gebruik door te rekenen. Vanuit de huidige gebruik en het daarbij komende vermogen over de kabel is elke keer een toekomstige energievragers toegevoegd om de impact op het netwerk te testen. Omdat het voltage in het net niet veranderd wordt er gekeken naar de toename in ampères. Het maximale toegestane ampère over de kabel is 250 A (Bonhof, 2019). In het vervolg van deze paragraaf voegen we vanuit de huidige situatie elektrisch koken, warmtepomp, laadpalen en zonnepanelen toe aan elke aansluiting op het netwerk. Hierbij kunnen we de impact per toevoeging zien op het net.

In de huidige situatie is geen stadswarmte of WKO aanwezig.

Ook wordt er op gas gekookt en gestookt en zonnepanelen zijn niet aanwezig. In deze situatie is er een stroomsterkte (ampère) van 70 Ampère over de kabel en is de 250 A nog lang niet bereikt.

De eerste toevoeging aan het net is het elektrisch koken en de verwachte toename van stroomgebruik door meer elektronische apparatuur in huis. Dit kan als hetzelfde verbruik zien bij het gebruik van stadswarmte. Als alle aansluitingen elektrisch gaan koken en meer stroom gaan gebruiken stijgt de stroomsterkte over de kabel met 22 A naar een hoogte van 92 A. De max van 250 A is nog niet bereikt en dus hoeft het netwerk niet aangepast te worden.

De tweede toevoeging aan het net is het gebruik van de warmtepomp. De stadswarmte uit de vorige alinea is hier niet meer aanwezig maar heeft weinig invloed op het stroomgebruik. Warmtepompen worden gebruikt bij het aanleggen van WKO-systemen en zullen een groot deel van het stroomgebruik voor hun rekening nemen. Door het toevoegen van warmtepompen aan het gekozen traject zal de stroomsterkte van 92 A stijgen naar 175 A. Dat is een toename van 83 A en ongeveer



Figuur 37: Laagspanningskabel (Bron: Eigen foto)



Figuur 38: Laagspanningsnet Keizersgracht (Bron: Liander)

90% van het vorige verbruik. Na toevoeging van warmtepompen zijn er nog geen nieuwe kabels nodig.

De volgende toevoeging aan het net is het gebruik van laadpalen. In het programma is er vanuit gegaan dat elke aansluiting een laadpaal kan aanvragen. Langs de Keizersgracht is niet genoeg parkeerruimte aanwezig voor evenveel auto's als woningen maar wordt er gekozen voor het maximale verbruik om safe te zitten. Niet alleen auto's kunnen gebruik maken van de laadpalen want in 2030 wil de gemeente ook scooters, motoren en boten moeten emissievrij zijn. Na toevoegen van de laadpalen neemt het stroomgebruik toe van 175 A naar 190 A. De 15 A die erbij komt is een groei van 8,6%. Voor het gebruik van snel-laders heeft Liander nog geen kerngetallen beschikbaar. Daar doen zij nu onderzoek naar.

De laatste toevoeging aan het net is het gebruik van zonnepanelen. Zonnepanelen zorgen ook voor een kleine toename aan stroomgebruik maar waar het bij zonnepanelen vooral om gaat is het terug leveren van de stroom. Zonnepanelen hebben over het algemeen geen accu's en kunnen dus geen stroom opslaan om 's nachts te gebruiken. Zonder accu verbruik je als zonnepaneelbezitter vaak niet jouw eigen opgewekt stroom. Overdag leveren de zonnepanelen stroom terug aan het net terwijl het 's nachts weer stroom vraagt aan het net. Daarom is het belangrijk om de toevoeging van zonnepanelen mee te nemen in het toekomstige verbruik. Zoals eerder gezegd verbruiken de zonnepanelen niet erg veel stroom. Na toevoeging aan het net stijgt het stroomgebruik van 190 A naar 191 A. Wat de teruggave betreft, kan overdag een stroomsterkte van 96 A terug geleverd worden. Met het gebruik van zonnepanelen kunnen de stroomkosten van de warmtepompen nu nog terugverdiend worden. In het huidige systeem krijg je dezelfde prijs voor je geleverde stroom als je betaald voor je verbruikte stroom. Dat is ongeveer € 0,23 per kwh (prijspeil 2019). Deze salderingsregeling geldt nog tot 1 januari 2023 en bouwt af tot de marktwaarde van ongeveer € 0,06 in 2031. (Milieu Centraal, 2019).

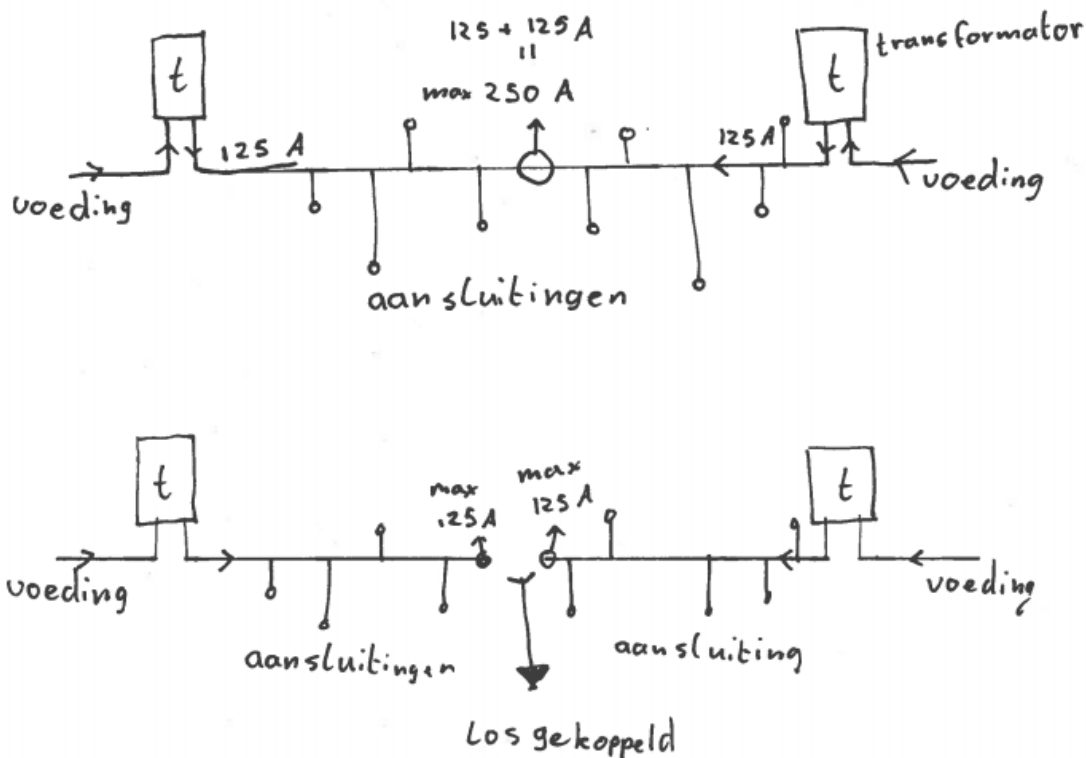
Tabel 1: Toekomstige stroomsterkte in laagspanningskabel na stadsontwikkeling.

	Stroomsterkte		Cumulatief	
Huidige situatie	70	A	70	A
Toekomstig huishouden / Stadswarmte*	22	A	92	A
Warmtepomp	83	A	175	A
Laadpalen	15	A	190	A
Zonnepanelen	1	A	191	A
Maximaal toelaatbaar over kabel			250	Ampère

\*Onder stadswarmte vallen elektrisch koken en de verwachte toename van stroomgebruik door huishoudelijk apparatuur. Stadswarmte zelf voegt weinig toe maar de andere horen wel bij de optelling van het stroomverbruik.

In Tabel 1 is een overzicht weergegeven van het elektriciteitsverbruik dat de toekomstige toevoegingen aan het energienet geven. Zoals het ernaar uitziet is de stroomvraag na de energietransitie 191 Ampère waar een maximum van 250 A geldt. Het laagspanningsnet kan in theorie de toekomstige veranderingen langs de Keizersgracht aan. Daarentegen is men bij Liander voorzichtiger en wil men bij een verbruik van 200 A al in gaan grijpen. Het ingrijpen kan op meerdere manieren maar de meest voor de hand liggende manier is een kabel doormidden halen en afdoppen. Op deze manier worden de kabels niet meer van twee kanten gevoed, maar van één kant. Hierdoor

halveert het aantal ampère naar 95,5 A en is de kans op overschrijding van de 250 A nog kleiner (Figuur 39). Daarbij komt dat de straat maar op een kleine locatie open gegraven hoeft te worden. Nadeel is weer dat bij een kortsluiting de stroom maar vanaf een kant kan komen en dat de aansluitingen achter de storing geen stroom meer hebben. Hier moet de netbeheerder snel optreden om de kortsluiting te verhelpen.



Figuur 39: Afkoppelen van netwerk om overschrijding van 250 A in de kabel te voorkomen.

#### Kortom:

Het laagspanningsnet langs de Keizersgracht kan de extra vraag naar elektriciteit door energietransitie aan met het huidige netwerk. Een reden voor de geschiktheid van het netwerk is dat er relatief weinig woningen en andere aansluitingen op een kabel zitten en relatief veel transformatorhuisjes aanwezig zijn waardoor de ampères in de kabels niet heel hoog worden. De marge tussen de 191 A en de grens van vervangen van 200 A in de kabel is niet heel groot maar of die marge aanvaardbaar is, is Liander nog aan het onderzoeken. Mocht het te klein worden zal er aan afdoppen gedacht worden of het aanleggen van een dikkere kabel in plaats van een extra kabel. In de ondergrond zullen dus geen extra kabels aangelegd worden waardoor er niet al teveel ruimte in de ondergrond ingenomen wordt door het elektriciteitsnetwerk.

#### Programma van eisen toekomstig elektriciteit netwerk

- Het huidige netwerk moet ingepast worden
- Elke parkeerplek moet voorzien zijn van een laadpaal
- Minimaal 100mm vrije grond om de kabel heen.
- Elektriciteitskabels niet in het grondwater aanleggen

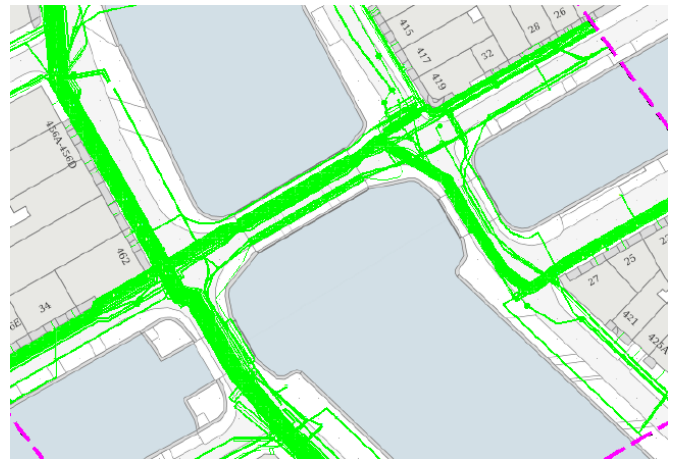


### Huidig telecommunicatie netwerk

Telecommunicatie wordt in Nederland steeds belangrijker. Door het toenemen van de welvaart groeit het aantal bedrijven en hebben mensen meer te besteden. Om de groei van het aantal mensen en bedrijven en hun vraag naar extra communicatie te kunnen bijbenen zal het telecommunicatie netwerk uitgebreid moeten worden. Het telecomnetwerk zal alsmaar blijven groeien, neem als voorbeeld het mobiele netwerk. Na 3G internet kwam 4G internet en tegenwoordig begint 5G internet te komen. Voor elke stap hoger zijn nieuwe kabels nodig in de ondergrond.

Tot nu toe gaat het alleen om een internet kabels maar het telecomnetwerk bestaat ook nog uit vaste telefoonverbindingen, glasvezelkabels, normale datatransportkabels etc. Wat het nog drukker maakt in de ondergrond is dat er meerdere bedrijven zijn die dezelfde diensten aanbieden en dus allemaal hun eigen kabels in de grond hebben liggen. Zo liggen de kabels van twaalf telecombedrijven rond de Keizersgracht in de ondergrond (Het Kadaster, 2019). Denk daarbij aan Ziggo, Tele2, KPN, en nog vele andere. Dat houdt dus in dat als een aantal telecombedrijven het 5G netwerk toe gaan voegen er meerdere bedrijven zijn die een extra kabel moeten gaan leggen.

Uit het oriëntatieverzoek bij het kadaster is het aantal kabels te zien dat in de grond ligt. Hierin is per bedrijf te zien waar de kabels liggen. Op het moment dat je van alle twaalf aanwezige bedrijven hun kabels in één tekening laat zien wordt de tekening één grote groene streep (Figuur 40). Dat betekent dat er zoveel kabels in de grond liggen dat ze samen net één grote kabel lijken, maar dat is niet zo. Het zijn allemaal verschillende kabels. Het is moeilijk om te bepalen hoeveel het er totaal zijn. Bij het uitvoeren van graafwerkzaamheden om een nieuwe kabel toe te voegen aan het netwerk is het van belang om uit te zoeken welke kabel van wie is en waar de kabels liggen.



Figuur 40: Datatransport kabels Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster)

### Toekomstig telecommunicatie netwerk

Het telecomnet is sterk vertegenwoordigd in de ondergrond langs de Keizersgracht. Uit het oriëntatieverzoek (Het Kadaster, 2019) volgt dat er 12 telecom bedrijven zijn die hun datakabels in de grond hebben liggen. Deze kabels liggen niet allemaal netjes langs elkaar en vormen een warboel aan kabels waarvan niemand precies weet waar en hoe diep ze liggen. Niet alle 12 telecombeheerders liggen langs elk gedeelte van de gracht. Daarentegen hebben sommige telecombeheerders meer dan één kabel liggen. Zo heeft Liander op het ene traject zeven datakabels liggen en verderop maar twee. Voor andere telecombeheerders is dit ook het geval.

De datatransportkabels die langs de grachten lopen bestaan niet alleen uit digitale internet kabels zoals 4G, maar ook uit vaste internetkabels, telefoonkabels, informatie versturende kabels van de GVB, Alliander informatie kabels etc. In de toekomst zal steeds meer data verstuurd worden omdat steeds meer in het werk en het leven digitaal wordt verstuurd. Het 4G van nu wordt 5G en daarna 6G enzovoort. Kijkend naar het verleden is te zien dat elke 10 a 12 jaar een nieuw mobiel netwerk op de particuliere markt komt (Techworld, 2019). Sinds 2012 is er 4G beschikbaar en verwacht wordt dat in

2022 5G op de markt komt voor particulieren. De trend volgend, zal er elke 11 jaar een nieuwe mobiele datakabel aan de ondergrond toegevoegd moeten worden door elke telecombeheerder. Op een gegeven moment is een datakabel overbodig omdat het netwerk verouderd is. Als er een nieuwe kabel komt die een vorige versie netwerk komt vervangen moet de oude verwijderd worden. Hierdoor blijft het aantal kabels gelijk.

Doordat de gemeente het aantal auto's in de binnenstad wil verminderen en daarmee meer ruimte kan creëren voor het openbaar vervoer zullen er meer datatransportkabels van het GVB moeten komen. Het aanleggen van duurzame warmte installaties vraagt ook om datakabels die de gegevens van de installaties versturen.

#### **Programma van eisen toekomstig telecommunicatie netwerk**

- Verzamelbuizen gebundeld per bedrijf
- Verzamelbuisjes schuin boven elkaar
- Buizen dicht tegen elkaar aangelegd.

### 3.2.5 Deelvraag 5: Hoe ziet de groenvoorziening eruit langs de Keizersgracht?

De gemeente Amsterdam wil graag een duurzame, circulaire en energie neutrale gemeente zijn. Bij deze doelen is het krijgen van een groene stad ook iets dat ze graag willen bereiken. Meer bomen en struiken zuiveren de lucht van CO<sub>2</sub> en geven daarmee zuurstof af. Het moeilijke aspect van bomen en struiken is dat ze genoeg ruimte en grond nodig hebben om te kunnen groeien en overleven. De ruimte die bomen nodig hebben is niet altijd beschikbaar waardoor er creatief gedacht moet worden om meer groen in een steeds krappere ruimte te krijgen.

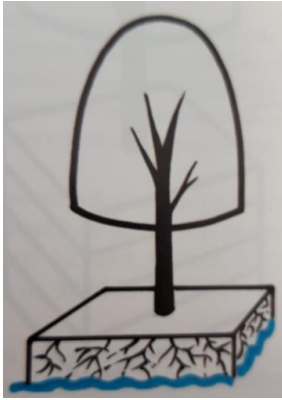
In de oorspronkelijke plannen in de 17<sup>e</sup> eeuw waren al bomen opgenomen voor de grachtengordel. De bomen waren nodig om met hun wortels de houten kademuren en de funderingen van stabiliteit te voorzien. De bomen hadden in de 17<sup>e</sup> eeuw meer kans om groter en ouder te worden als tegenwoordig. Dat komt door de negatieve effecten die brandstoffen, oliën en strooizout hebben op de wortels. Vroeger was dat er nog niet. De bomen werden om de 7,5 meter geplaatst en diende vooral als grondstof voor de vervanging van de bestaande houten kademuren/wanden en funderingen (Kaljee, 2019). De bomen werden gekapt zodat het hout gebruikt kon worden om de kademuren te vervangen. Pas in de 18<sup>e</sup> eeuw begon men in te zien dat de bomen ook bijdroegen aan het zuiveren van de lucht en kregen daardoor een grotere belevingswaarde.

In de 20<sup>e</sup> eeuw werd begonnen met het aanleggen van rioleringen en andere ondergrondse infrastructuur. De wortels van de grote bomen langs de gracht groeide onder de panden door en veroorzaakte schade. Daarbij kwam dat de wortels vaak plaats moesten maken voor de ondergrondse infrastructuur. Hierdoor nam het aantal grote bomen af en bleven alleen de kleinere bomen over.

#### **Huidige groenvoorziening langs de Keizersgracht**

Tegenwoordig is het beleid van de gemeente Amsterdam voor de bomen langs de grachtengordel dat de grootte en hoeveelheid bomen dat nu aanwezig is (2019), zo moet blijven. Ook de grootte van de bomen moet ongeveer gelijk blijven als nu. Als bomen vervangen moeten worden krijgen ze de mogelijkheid om te groeien tot een boom die hetzelfde formaat als de verwijderde boom.

Om de bomen goed te kunnen laten groeien is het van belang dat de boom wordt voorzien van zijn basisbehoeften, namelijk: Zon, water, CO<sub>2</sub> en goede grond waarin de boom kan groeien. Zon, CO<sub>2</sub> en water zijn langs de grachten voldoende aanwezig. Maar om aan genoeg goede grond te komen binnen de beperkte ruimte van de grachtengordel is lastiger. Als vuistregel wordt gezegd dat een boom ongeveer evenveel grond nodig heeft als dat de kruin van de boom groot is.



Figuur 42: Wortels groeien tot grondwater. (Bron: CROW)



Figuur 41: Benodigde volume voor wortels in verschillende vormen. (Bron: CROW)

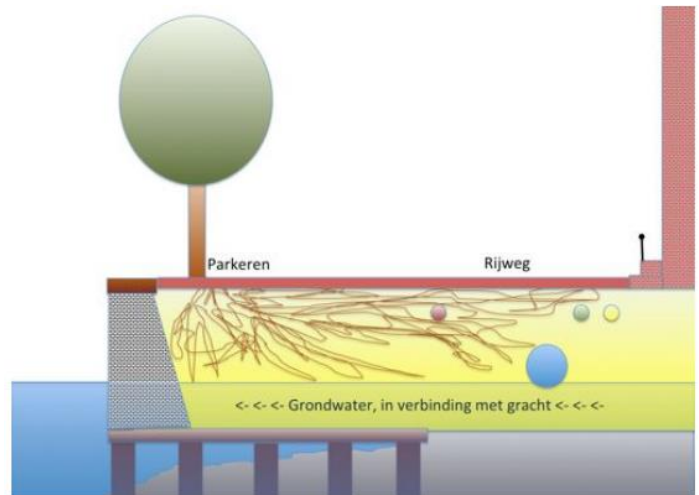


De wortels groeien over het algemeen de kant op waar vrije grond en water aanwezig zijn. Boomwortels groeien tot de grondwaterstand omdat ze niet in met water verzadigde grond willen groeien (Figuur 42) (CROW, 2012). De grondwaterstand langs de grachten staat gemiddeld rond de 1000mm o.m.v. De grootte van het wortelstelsel is qua oppervlakte afhankelijk van de oppervlakte van de kruin. De beschikbare ruimte in oppervlakte en hoogte van het grondwater bepalen de vorm van de boom (CROW, 2012). Wanneer een boom niet genoeg wortelruimte tot zijn beschikking heeft zal de boom ook niet groter groeien. In Figuur 41 is te zien dat twee even grote bomen met een zelfde wortelvolume maar dan in andere afmetingen. De vorm van de wortelgrond wordt bepaald aan de hand van het type bestrating en grond.

In de huidige situatie staan de bomen langs de Keizersgracht ongeveer 15 tot 18 meter uit elkaar en 1.5 meter uit de kademuur. De bomen van vroeger konden meer als 200 jaar oud worden, de bomen van tegenwoordig niet ouder dan 40 jaar. De reden waarom de bomen niet ouder meer kunnen worden is dat ze minder ruimte hebben voor hun wortels, vervuild raken door oliën en brandstoffen, strooizout en het drukke verkeer. De trillingen die het verkeer veroorzaakt werk negatief voor de wortels waardoor deze niet verder kunnen groeien (Kaljee, 2019). Door de negatieve effecten op de boom is de stabiliteit van de bomen niet heel groot. Door stormen vallen de bomen dan ook regelmatig om of breken af.

De bomen langs de Keizersgracht hebben vaak minder dan 1 m<sup>2</sup> open grond om de stam heen. De grond is zo vaak overreden dat het zo dicht is als beton. Water heeft hier geen mogelijkheid om te kunnen infiltreren. De bomen halen hun water uit het grondwater en uit het hemelwater dat tussen de voegen van de straat inlopen. Het is dus van belang dat er genoeg goede grond aanwezig is waar water kan infiltreren. Omdat de wortels het water halen uit dat wat er tussen de voegen infiltreert, duwen ze vaak de straatklinkers omhoog. Hierdoor komt de straat omhoog en kan het hemelwater niet meer goed over het maaiveld naar de putten stromen en blijft er water op straat staan.

De wortels van bomen groeien de kant op waar de minste weerstand is. Boomwortels zullen dus nooit uit zichzelf door een kabel of leiding heen groeien. De enige reden waarom de wortels in leidingen komen is als er al een beschadiging of kier tussen leidingen aanwezig zijn. Die ruimte wil de wortel gaan innemen en naar verloop van tijd groeit de wortel en drukt die de leiding stuk. In een goede leiding met goede koppelingen zal een wortel nooit gaan zitten. Dit geldt ook voor de kademuuren. De wortels groeien alleen maar tegen de kademuur aan als daar ruimte is door beschadigingen of andere oorzaken. In een goed afgewerkte kademuur zullen wortels nooit gaan groeien.



Figuur 43: Schematische weergave wortelgroei langs gracht. (Bron: Gemeente Amsterdam)

### Toekomstige groenvoorziening:

De zichtbare groenvoorziening langs de Keizersgracht zal alleen maar bestaan uit de bomen die er nu groeien. Het enige wat in het straatbeeld aan groen kan bijkomen zijn de plantenbakken die bewoners neer willen zetten voor hun huizen. Er zullen geen extra groenstroken of struiken geplaatst worden omdat het uiterlijk van de grachtengordel niet mag veranderen (UNESCO, sd). Omdat er in het straatbeeld geen grote veranderingen mogen komen, kan dat wel op plaatsen die vanaf straat niet zichtbaar zijn. Het toevoegen van groene retentiedaken heeft als gevolg dat de piekafvoer van hemelwater afnemen en dat de stad minder snel opwarmt.

In het vervolg van deze paragraaf worden de groenvoorzieningen besproken langs de Keizersgracht.

### **Bomen langs de Keizersgracht**

De bomen langs de Keizersgracht staan op ongeveer 1,5 meter uit de kademuur. De wortels groeien tot aan de kademuur en bij de grotere bomen tot aan de gevels. De wortels kunnen tussen de kabels en leidingen in gaan groeien onder de straat wat hinder oplevert voor graafwerkzaamheden. Omdat de kademuuren vervangen moeten worden en de bomen in de weg staan voor de werkzaamheden moet er een oplossing bedacht worden om verder te kunnen met vervangen. Voordat de werkzaamheden gestart kunnen worden, wordt bij elke boom een boom effect analyse gedaan om de condities van de boom te kunnen bepalen. Langs de Keizersgracht zullen van alle bomen langs de grachten 50% gekapt moeten worden, 40% (tijdelijk) verplaatst en blijft maar 10% van de bomen behouden (Kaljee, 2019). Van die 10% bestaat de kans dat 50% van de bomen de bouwwerkzaamheden niet overleeft en dat de bomen alsnog gekapt moeten worden.

Bij het vervangen van de kademuuren moet rekening gehouden worden in het ontwerp met de bomen. Om de bomen de benodigde 25 m<sup>3</sup> grond te geven zonder dat de wortels zich in en rond de kademuur en kabels en leidingen gaan groeien, wordt er een betonnen bak achter de kademuur in de grond aangebracht. In deze betonnen bak wordt vruchtbare grond gestort waarop de nieuwe bomen goed kunnen groeien. De betonnen bak voorkomt dat de wortels de verkeerde kant op groeien en dus geen kabels en leidingen kunnen beschadigen. De betonnen bak wordt tot net onder het grondwaterpeil aangelegd waardoor er via speciale openingen grondwater onderin de betonnen plantenbak kan gaan staan en de bomen dit water kunnen gebruiken. De betonnen bak wordt in het

verlengde van de kademuur aangelegd en zal de juiste afmetingen moeten krijgen om te voldoen aan eis van 25 m<sup>3</sup> grond per boom.

### Groene retentiedaken

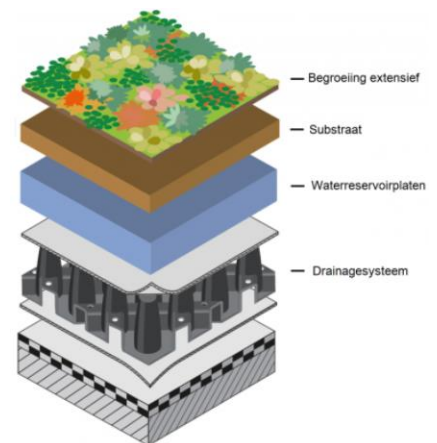
Hemelwater kan tegenwoordig opgevangen worden door groene daken. Deze retentiedaken zijn bedekt met een systeem van kunststof opvangbakken gevuld met grond en vaak bedekt met mos achtige planten. De regen die op het mos valt op opgenomen door de grond en blijft in de kunststofbakken staan. Valt er meer regen dan de opvangbakken kunnen bergen, zal het overige water via een afvoernetwerk onder de platen richting het riool stromen. Als de regenbui voorbij is zal het water door verdamping en fotosynthese in het groen verdwijnen waardoor er maar weinig water in het riool terecht komt. Het aanleggen van groene daken heeft als bijkomend voordeel dat het veel minder snel opwarmt dan een zwart dak. De warmte in de stad zal hierdoor niet verder toenemen. Een nadeel van groene daken is dat ze op daken kunnen liggen met een maximale hellingshoek van 0-5° (0-9%) (Rainproof Amsterdam, sd). Langs de Keizersgracht zijn redelijk wat gebouwen die voldoen aan de hellingshoek. Op deze daken kunnen retentiedaken worden aangelegd. De capaciteit die groene daken kunnen bergen verschilt per systeem, dikte van de grondlagen, begroeiing en de inhoud van de opvangbakken. Het gewicht dat het dak mag dragen is ook van belang voor welk systeem er wordt toegepast. De bergingscapaciteit varieert tussen de 30mm en 50mm neerslag (30L/m<sup>2</sup> tot 50 L/m<sup>2</sup>) (Figuur 45) (Bouwwereld, 2018). In hoofdstuk 3.2.6 over het toekomstige klimaat houdt men rekening met een extreme neerslag van 50 mm/uur (50L/m<sup>2</sup>). Dat betekent dat een retentie dak 50-100% van die neerslag kan bergen waardoor er geen hemelwater in het riool terecht komt.

Type daktuin (extensief)	Dikte substraat	Opbouw hoogte totaal	Waterretentie drainage	Waterretentie totaal
Sedum	60 mm	80 mm	10 liter/ m <sup>2</sup>	30 liter/ m <sup>2</sup>
Sedum plus	90 mm	110 mm	10 liter/ m <sup>2</sup>	40 liter/ m <sup>2</sup>
Bloemenweide, kruiden, gras	100 mm	130 mm	17 liter/ m <sup>2</sup>	50 liter/ m <sup>2</sup>

Figuur 45: Eigenschappen typen retentiedak



Figuur 44: Mogelijkheden groen dak Keizersgracht (Bron: GoogleMaps)



Figuur 46: Opbouw retentiedak

### Programma van eisen toekomstige groenvoorziening

- Hoeveelheid bomen moet gelijk blijven als dat het nu is (2019)
- 25 m<sup>3</sup> goede grond beschikbaar voor de wortels per boom
- Bomen worden geplaatst in ondergrondse bakken van 25 m<sup>3</sup>
- Onder de straatklinkers worden kratjes aangelegd
- Open grond om de boomstammen.
- Openingen in de ondergrondse bakken voor kabels en leidingen

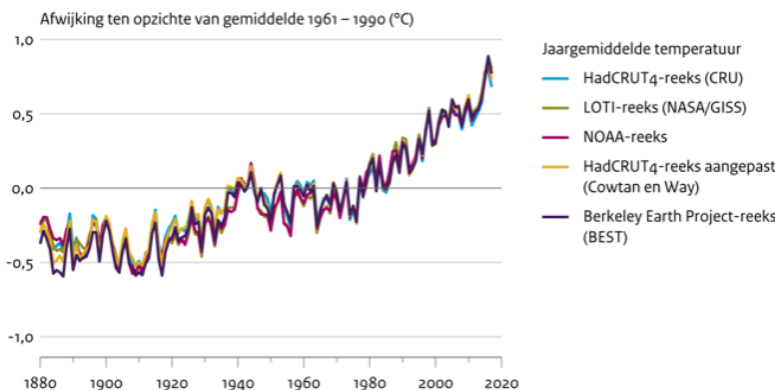
### 3.2.6 Deelvraag 6: Toekomstig klimaat in Amsterdam

De volledige deelvraag is: Hoe ziet het toekomstige klimaat eruit waarop de kademuur en infrastructuur gedimensioneerd moet worden, kijkend naar extremere neerslag?

Het klimaat is de afgelopen jaren een belangrijke onderwerp op de agenda's van landelijke en internationale vergaderingen. Het klimaat is aan het veranderen, maar waardoor die verandering wordt veroorzaakt is voor veel mensen nog maar een raadsel. De discussie gaat vooral over de rol van de mens. In hoe verre de mens verantwoordelijk is voor de verandering van het klimaat en in welke mate de natuurlijke schommeling in het klimaat verantwoordelijk is zoals we al duizenden jaren zien. De veranderingen in het klimaat zijn over de hele wereld anders waarneembaar. Voor dit onderzoek kijk ik naar de veranderingen in het Nederlandse klimaat, om daarmee de verwachte neerslag in de stad Amsterdam te bepalen.

Het voorspellen van klimaatveranderingen blijft lastig. Het is voor iedereen de vraag hoe sterk, snel en of de huidige veranderingen doorzetten. Het enige wat men kan zeggen over de toekomst is het doortrekken van de al waargenomen veranderingen in de afgelopen decennia. In de afgelopen 130 jaar is het wereldwijd gemiddeld met 1,0°C warmer geworden (Figuur 48). Deze stijging is in vergelijking met de voorgaande honderden jaren een stuk sneller gegaan. De afgelopen 30 jaar zijn waarschijnlijk de warmste geweest in 1400 jaar (KNMI, 2015).

Mondiale temperatuur

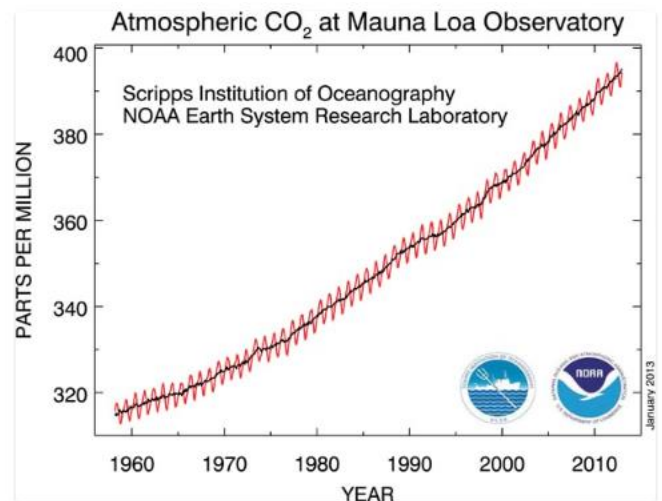


Bron: CRU; NASA/GISS; NOAA; Cowtan en Way; Berkeley Earth Project

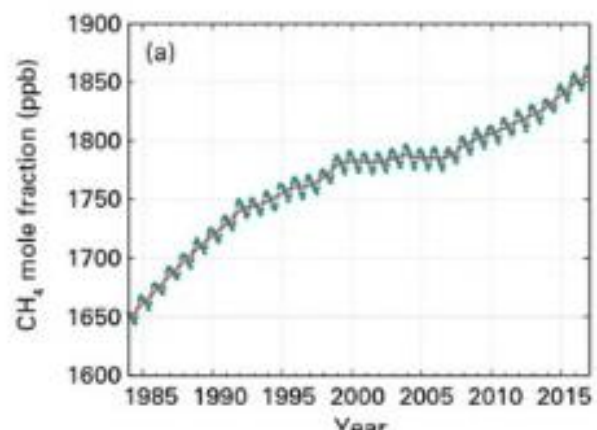
PBL/mrt18  
www.clo.nl/nlo22613

Figuur 48: Mondiale Temperatuur

Veel wetenschappers zijn er van overtuigd dat de toename van broeikasgassen in de atmosfeer bijdragen aan de snelle temperatuuroptocht. Sinds de opkomst van de industrie in de 18<sup>e</sup> eeuw is de concentratie CO<sub>2</sub> in de lucht gestegen (Homan, Carine; KNMI, 2017). Vanaf halverwege de 20<sup>e</sup> eeuw is de concentratie CO<sub>2</sub> nog sterker gaan stijgen (Figuur 47). Door de stijging van de mondiale temperatuur neemt de concentratie methaan (NH<sub>4</sub>) in de lucht ook toe (Figuur 49). Methaan is een broeikasgas dat 25 keer zo sterk



Figuur 47: CO2 concentratie stijging in atmosfeer

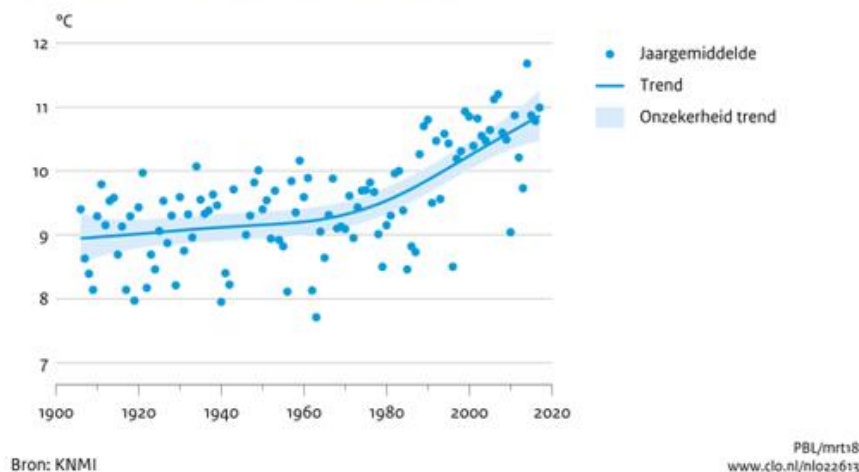


Figuur 49: Concentratie methaan (NH4)

is als CO<sub>2</sub> en zal dus extra bijdragen aan de totale toename aan broeikasgassen in de atmosfeer en stijging van de mondiale temperatuur.

De wereldwijde temperatuur is gemiddeld met 1,0°C gestegen, terwijl dat in Nederland nog hoger is. In Nederland is de temperatuur sinds 1906 met 1,9°C gestegen van 9°C tot 10,9°C (CLO,, 2018). Dat betekent dat Nederland gemiddeld bijna twee keer zo veel is opgewarmd dan de gemiddelde stijging van de temperatuur op aarde ( Figuur 50). Die temperatuurstijging heeft voor het Nederlandse weer een aantal gevolgen. Het gevolg van de hogere temperatuur is dat de lucht meer waterdamp op kan nemen waardoor er meer regen in dezelfde tijd valt. Ook zal de wind toenemen die vanaf zee meer waterdamp naar Nederland zal aanvoeren.

#### Jaartemperatuur op vijf KNMI-hoofdstations



Figuur 50: Gemiddelde jaar temperatuur Nederland

Door het opwarmen van de atmosfeer zal het niet alleen maar natter worden. De uitersten zullen groter zijn. Zo verwacht men in de toekomst extremere weersomstandigheden, drogere zomers, nattere winters en heftigere regenbuien. Zoals men verwachtte constateert men de laatste jaren dat het weer extremer wordt. We zien steeds vaker dat ergens in Nederland straten onderwater komen te staan omdat riolering de piekafvoeren niet aankan. Ook is de zomer van 2018 één van de warmste en droogste ooit geweest (Huirne, 2018).

Dat Nederland in de zomers droger gaat worden is een groot probleem voor de natuur, steden en landbouw. Maar voor dit onderzoek wordt vooral gekeken naar de extreme neerslag en hoe dat het beste afgevoerd kan worden. Om er achter te komen hoe het water goed afgevoerd moet worden is van belang om te weten hoeveel regen in de toekomst kan gaan vallen in Nederland. Er zal gekeken worden naar de stad Amsterdam. Straten, gebouwen, rioleringen en groenvoorziening moeten bestand zijn tegen de hevige regenval. In dit onderzoek wordt er niet direct gekeken naar de totale hoeveelheid of hoelang de regen valt maar naar een specifiek debiet dat er valt, namelijk hoeveel mm regen valt er per uur. Het aantal mm regen dat valt komt overeen met hetzelfde aantal liters water dat er per m<sup>2</sup> grondoppervlak valt. Bijvoorbeeld: Als er 20 mm water gevallen is, is dat 20 liter water op 1 m<sup>2</sup> gevallen. De hoeveelheid water die per uur valt is een maat die nodig is voor het dimensioneren van het HWA (hemelwaterafvoer).

In de structuurvisie van de gemeente Amsterdam voor het jaar 2040 is een maatgevende regenbui van 50 mm per m<sup>2</sup> (Structuurvisie Gemeente Amsterdam, 2010). Dat komt overeen met 50 liter water op een vierkante meter. De maatgevende bui wordt gebruikt bij de berekeningen over hoeveel hemelwater er afgevoerd moet gaan worden van de straten richting het oppervlaktewater.



### 3.2.7 Deelvraag 7: De huidige hemelwaterafvoer

De volledige deelvraag is: Hoe wordt de huidige hemelwaterafvoer langs de Keizersgracht geregeld?

Binnen de grachtengordel van Amsterdam kijkend naar de Herengracht, Keizersgracht en Prinsengracht is een duidelijke scheiding tussen verhard en onverhard oppervlak. De mix tussen verhard en onverhard is belangrijk voor het afvoeren van het hemelwater. Hoe meer onverhard oppervlak aanwezig is hoe meer water er in de grond kan infiltreren en minder water het riool in stroomt. Infiltratie is belangrijk voor de aanvulling van water aan het grondwater. Het grondwaterpeil is erg belangrijk voor een stad als Amsterdam omdat de oude stad op houten funderingspalen is gebouwd. Op het moment dat het waterpeil zakt en de houten palen droog komen te staan gaan ze rotten. Als deze funderingspalen gaan rotten zullen gebouwen gaan verzakken en uiteindelijk kunnen ze instorten. De kosten die ontstaan om de gebouwen te repareren kunnen hoog oplopen.

Vanaf de kademuur tot aan de gevel is het straatbeeld vooral verhard. Om de paar meter staat een boom langs de kademuur met een vierkante meter grond eromheen dat als onverhard wordt gezien. De parkeerplaatsen, straat en de stoep bestaan uit klinkers. Het water dat op deze klinkers terecht komt, stroomt zo goed als direct af naar lagergelegen grond waarna het in het riool of oppervlaktewater terecht komt.

Het straatbeeld van de Keizersgracht is zoals eerder beschreven opgebouwd uit de gracht, kademuur, diagonaal parkeervakken met daartussen bomen, straat, stoep en gevel (Figuur 51). De afscheiding tussen straat en stoep wordt gegeven door Amsterdammertjes. Tussen de rakken zijn geen stoepranden aanwezig als afscheiding tussen straat en stoep of tussen straat en parkeervakken. In een doorsnede van het straatbeeld is te zien dat de straat iets bol loopt. Het water dat valt, zal naar de zijkant afstromen. Langs de straat lijkt de afscheiding van Amsterdammertjes iets lager te liggen wat een gootje vormt (Figuur 51). Het is niet overal even duidelijk waar het afvoergootje zit omdat de straat een beetje verzakt is. Het hemelwater dat op straat valt zal naar de goot stromen. Langs de Keizersgracht zijn maar weinig straatkolken aanwezig om het water naar het riool af te voeren. Als het water in de goot niet weg kan zal het naar verloop van tijd vollopen. Op het moment dat de goot vol water staat, zal het water de straat op stromen en dan vervolgens in de gracht lopen.



Figuur 51: Straatbeeld Keizersgracht (Bron: Eigen foto)

In het lengteprofiel van de Keizersgracht loopt het straatbeeld een beetje in een kuil. De hoge delen van de straat zitten bij de bruggen en in het midden van het rak is het maaiveld lager. Dat betekent dat bij een regenbui al het hemelwater vanaf de bruggen via de ondiepe goot tot aan het midden van het rak zal stromen. In het midden van het rak zal het water ophopen en daar de gracht instromen. Zoals eerder genoemd zijn er nauwelijks straatkolken aanwezig die het water naar het riool af

kunnen voeren. De straatkolken die wel aanwezig zijn bevinden zich dicht bij de brug en kunnen alleen het water afvoeren dat vanaf de brug komt. De rest van de straat zal het water niet kunnen afvoeren naar deze straatkolken.

Het hemelwater dat niet naar het riool kan stromen, stroomt voor een groot gedeelte de gracht in. Het regenwater is relatief schoon en kan gewoon in het oppervlaktewater stromen. Nadeel is wel dat afval van straat mee kan stromen en als het een tijdje droog is geweest er olie en brandstof resten van gemotoriseerd verkeer op straat ligt, spoelt dat bij de eerste regenbui allemaal het oppervlakte water in. Het afval, de oliën en brandstoffen zijn slecht voor de waterkwaliteit in de grachten en aangezien er veel verkeer aanwezig is en er weinig water het riool in gaat stroomt er veel vervuiling het oppervlaktewater in. Vermindering van de waterkwaliteit wil je het liefst voorkomen dus is het verstandig om het vervuilde water door het vuilwaterriool af te laten voeren.

Om het grondwater onder de stad op peil te houden is infiltratie van hemelwater belangrijk. Binnen het straatbeeld langs de Keizersgracht is er weinig ruimte waar water kan infiltreren in de ondergrond. Rond de bomen is een kleine oppervlakte aanwezig waar het infiltreren mogelijk is maar in vergelijking met het verharde oppervlak zal meer en deel van het water de gracht instromen. Binnen de huizenblokken aan de grachtengordel bevinden zich de privétuinen van bewoners of bedrijven. In de tuinen is veel groen aanwezig waardoor de mogelijkheid van infiltratie in de ondergrond groter is.

Aan de gevels van de panden zijn nauwelijks regenpijpen zichtbaar. De enkele regenpijp die te zien is gaat de grond in. Om het water van de daken af te laten voeren moeten de regenpijpen aan de achterkant van het gebouw zitten. Dit regenwater kan binnen de groene tuinen infiltreren in de bodem waardoor het riool ontzien wordt.

### **Toekomstige hemelwaterafvoer stelsel**

Zoals in de inventarisatie van het straatbeeld besproken is, zijn er twee ondiepe goten langs de rijweg aanwezig maar stroomt het hemelwater voor een groot deel over de kademuur de gracht in. Ook blijft er water op straat staan wat niet gewenst is. Het maaiveld aflopend aanleggen van gevel tot kademuur is niet mogelijk omdat de kademuur dan lager zou komen te liggen of de straat bij de gevels hoger. Dit straatbeeld mag niet ingrijpend veranderen door de bescherming van het gebied. Daarbij komt dat er geen straatvuil in het oppervlaktewater terecht mag komen als het water over het straatoppervlak naar het oppervlaktewater afstroomt.

In de toekomst komen er meer straatkolken in de goten om het hemelwater van het verharde oppervlakte af te voeren. Het hemelwater wordt via straatkolken en het nieuwe hwa systeem afgevoerd naar het oppervlaktewater. De afvoer van dit nieuwe hwa systeem zal door de kademuur het oppervlaktewater instromen. De uitstromingsopeningen zullen onder het laagste waterpeil aangelegd worden waardoor deze niet zichtbaar zijn. Met de aanleg van het nieuwe hwa systeem wordt voldaan aan de eisen die voor het straatbeeld gesteld werden. Namelijk: Geen water meer op straat, geen uitstroming over de kademuur het oppervlaktewater in en geen grote zichtbare veranderingen aan het uiterlijk van de Keizersgracht.

### **Programma van eisen toekomstige hemelwaterafvoer**

- Hemelwaterafvoer onder maaiveld
- Eén afvoerleiding waar straatkolken op afvoeren onder maaiveld
- Een aantal afvoeren vanuit verzamelleiding door kademuurconstructie heen
- Hemelwater lozen onder waterpeil in oppervlaktewater

### 3.2.8 Deelvraag 8: Duurzame energiesystemen

De volledige deelvraag is: Welke duurzame energiesystemen zijn er mogelijk langs de Keizersgracht?

In dit hoofdstuk worden vier duurzame energiesystemen besproken die bij kunnen dragen aan de energietransitie van de Keizersgracht in Amsterdam. De vier varianten: Stadswarmte, open-WKO, gesloten WKO en oppervlaktewater systeem worden uiteengezet waarna er bij iedere variant beschreven wordt hoe het systeem in de toekomst toegepast kan worden aan de Keizersgracht. Aan het einde van dit hoofdstuk volgt een conclusie en een aanbeveling welk systeem het beste toegepast kan worden langs de Keizersgracht.

#### De energietransitie

Het doel om een duurzame samenleving te zijn kan worden gehaald als we met elkaar drastisch het gebruik van fossiele brandstoffen minderen. Door van het gebruik van olie en gas af te stappen moeten er nieuwe energiebronnen gevonden worden om het land draaiende te houden. De elektrische auto's maken een enorme opmars en het gebruik van duurzame energiebronnen als wind en zonne-energie blijft stijgen. Het opwekken van elektriciteit uit duurzame bronnen neemt toe maar is nog niet zo ver om aan de totale energiebehoefte te voldoen.

Aardgas is net als olie de grootste energiebron die in Nederland gebruikt wordt om ons van warmte en elektriciteit te voorzien. Het aardgas wordt hoofdzakelijk gebruikt voor het verwarmen van huizen en gebouwen. Om het verbruik van aardgas terug te schroeven moeten we andere bronnen vinden om onze huizen te verwarmen. De cv-ketels die zich in huizen en gebouwen bevinden zullen vervangen moeten worden door nieuwe installaties die het warme water leveren voor de verwarming. Hoe het water verwarmd wordt kan op meerdere manieren door het gebruik van verschillende installaties. Door het toepassen van duurzame energie installaties in woningen, bedrijven en industrie zetten we als Nederland zijnde een grote stap in de richting van het duurzaam opwekken van warmte en energie en neemt de CO<sub>2</sub> uitstoot in Nederland af.

Zoals eerder beschreven is moeten we als Nederland zijnde stappen zetten in het aardgasvrij maken van ons land. De gemeente Amsterdam wil graag mee in dit doel en heeft voor haar stad Amsterdam een aantal doelen gesteld waarbij het in 2040 aardgasvrij wil zijn (Energiekaart net, 2017). Om als stad aardgasvrij te worden moeten er nieuwe systemen aangelegd worden in huis en/of buitenshuis. Deze systemen moeten de vooral nu aanwezige op gas gestookte cv-ketels vervangen. Het aanleggen van duurzame warmte installaties wordt in nieuwe woonwijken en bedrijventerreinen al uitgevoerd. Omdat woonwijken en bedrijventerreinen sterk van elkaar verschillen zijn er verschillende manieren om op duurzame wijze je huis of kantoor te kunnen verwarmen. Welk systeem het beste werkt is voor iedere plek en situatie anders.

Een van de bronnen van duurzame warmte is het gebruik van bodem- en aardwarmte. Het verschil tussen beiden bronnen is dat bodemwarmte zich tot enkele honderden meter diepte begeeft. Aardwarmte wordt gevoed uit de kern van de aarde en is vanaf 500 meter diepte op te nemen. Van buiten naar binnen gezien neemt de temperatuur elke 1000 meter toe met 30 °C (Milieu centraal, sd).

Het aanleggen van duurzame warmte systemen is in nieuwe woonwijken gemakkelijker dan in de oudere delen van de stad. De uitdaging in het aardgasvrij krijgen van Amsterdam is dan ook niet in de nieuwe woonwijken en kantoren, maar het ombouwen van het oude centrum naar aardgas vrije gebouwen. Het centrum van de stad is nog aangesloten op het aardgasnet en heel veel ruimte om grote installaties aan te leggen is er ook niet. De installatie die voor het centrum gebied zoals de grachtengordel geschikt zijn hebben ruimte nodig en die is niet altijd aanwezig.

De drie meest voor de hand liggende systemen die toegepast kunnen worden langs de grachten in Amsterdam zijn: Aangesloten worden op het stadswarmtenet, bodemenergie gebruiken of door energie uit oppervlaktewater toe te passen.

### Stadswarmte

Het stadswarmtenet is een netwerk van buizen die warm water door de stad vervoeren. Gebouwen kunnen aangesloten worden op dit netwerk waardoor ze in de winter maanden warm water kunnen gebruiken om hun pand te verwarmen. Het voordeel van het gebruik van stadswarmte is dat het voor huizen en kantoren niet meer nodig is om eigen cv-installaties te hebben en daardoor neemt het aardgasverbruik af. Het gebruik van stadswarmte is niet altijd duurzaam te noemen. De warmte die gebruikt wordt om water op te warmen is vaak restwarmte afkomstig uit afvalverbrandingscentrales of andere centrales waar warmte een restproduct is. De stadswarmte is wel duurzaam omdat het geen fossiele brandstoffen verbruikt en het afvalproduct van een ander gebruikt. Het nadeel is dat de bron waar de warmte oorspronkelijk vandaan komt niet altijd duurzaam is. Twee van de grootste leveranciers van restwarmte aan het stadswarmtenet van Amsterdam zijn de elektriciteitscentrale in Diemen en de afvalverbranding in Amsterdam West. Deze bronnen verbranden aardgas voor hun primaire doel en de warmte die daarbij vrijkomt als restproduct, wordt gebruikt om het stadswarmtenet te voorzien van warmte. Het aansluiten op het stadswarmtenet is goed voor maar de helft van het uitstoot aan CO<sub>2</sub> dan bij het verbranden van aardgas en dus veel duurzamer (Gemeente Amsterdam, 2018). Het stadswarmtenet is een duurzame oplossing van warmte opnemen en verspreiden. Pas als de bronnen ook echt duurzaam worden kunnen we spreken van een geheel duurzame warmtevoorziening voor een stad als Amsterdam.

Om stadswarmte te kunnen gebruiken aan de Keizersgracht is het nodig om dit netwerk van leidingen uit te breiden tot in het centrum. Het netwerk bevindt zich hoofdzakelijk buiten het centrum van de stad Figuur 52. Om dat netwerk naar het centrum uit te breiden kost veel tijd en planning. De leidingen moeten gedimensioneerd worden op het totale verbruik aan heet water van alle huizen die erop aansluiten. Allereerst zal er een hoofdnet aangelegd moeten worden voordat de zij aansluitingen gemaakt kunnen worden. Het aanleggen van zo'n netwerk door het centrum kan veel ruimte in beslag nemen in de ondergrond wat misschien niet is.

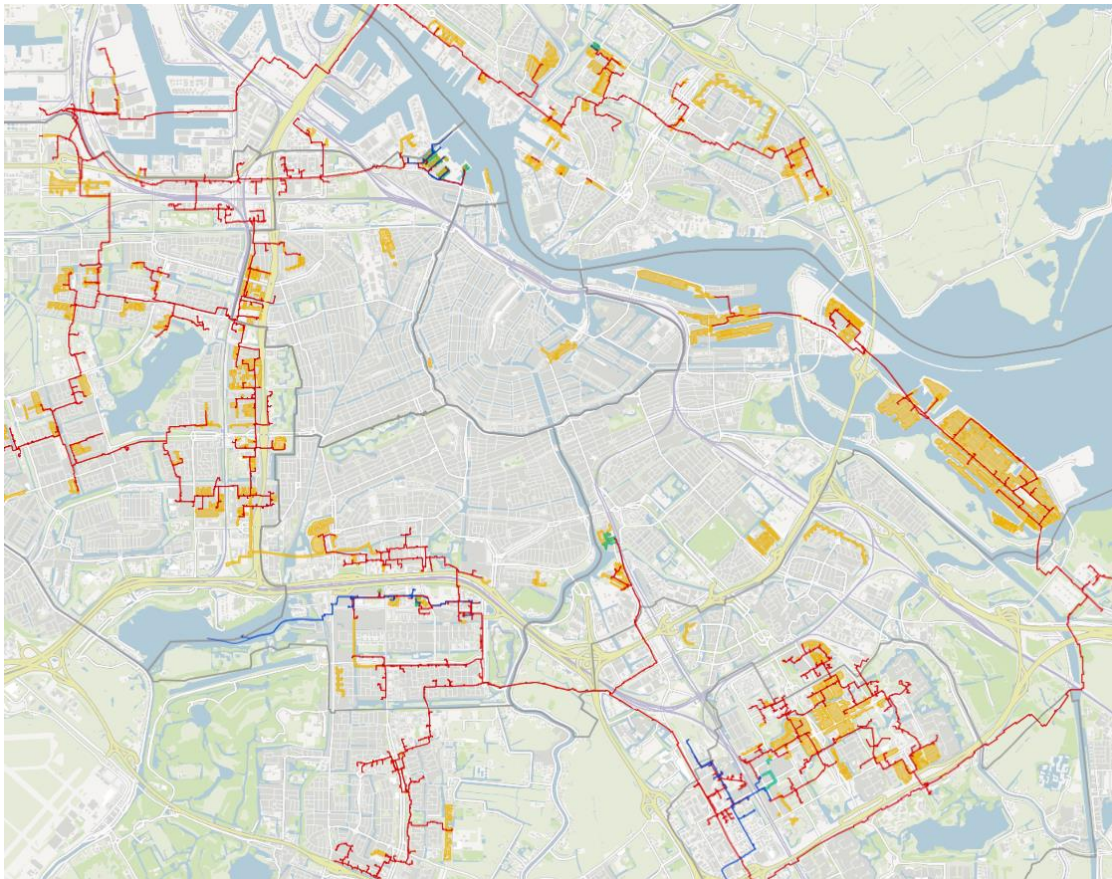
Het warmteverlies over de leidingen is gering waardoor het goed mogelijk is om het netwerk te verlengen naar het centrum. Binnen het stadswarmtenet zijn een aantal gasketels in het netwerk opgenomen om op piekmomenten bij kunnen springen. Uit gegevens van NUON/VATTENFALL, de beheerder van het stadswarmtenet in Amsterdam, blijkt dat de gasketels maar een hele kleine bijdragen leveren aan het verwarmen van het net in vergelijking met de normale restwarmte.

Een belangrijk aandachtspunt is of er genoeg restwarmte geleverd kan worden om in de toekomst ook de gehele binnenstad te kunnen voorzien van warm water. Bij uitbreiding van het net zullen waarschijnlijk meer bronnen nodig zijn. De toekomstplannen van de NUON/VATTENFALL zijn om in 2050 volledig duurzame warmtebronnen te hebben voor de stadswarmte. Geen elektriciteitscentrale en afvalverbranding meer, maar de warmte halen uit biomassa installaties, datacentra, waterstof verbranding en aardwarmte.

Of biomassa duurzaam is valt nog te discussiëren. Bio-energie wordt gewonnen uit de verbranding van biobrandstoffen. Biobrandstoffen ontstaan door vergisting van gft, houtsnippers, slib en speciaal gekweekte gewassen. De ene groep vindt biomassa een goede zaak omdat er geen fossiele brandstoffen gebruikt worden. De andere groep vindt dat het gebruik van biomassa slecht is voor het milieu door de uitstoot van CO<sub>2</sub> en zonde van de gewassen die er speciaal voor geteeld worden

(centraal, 2015). Deze grond kan beter gebruikt worden voor de productie van voedsel voor mens en dier.

Het toepassen van stadswarmte in de gehele stad betekent dat er veel nieuwe leidingen aangelegd moeten worden tot in het centrum. Een probleem dat daarbij kan ontstaan is dat er grote transportleidingen door het oude centrum moeten lopen waar niet overal de ruimte voor is in de ondergrond. Het stadswarmtenet bestaat uit een aanvoerleiding van water met een temperatuur van rond de 100 °C en een afvoerleiding met een temperatuur van rond de 70 °C.



*Figuur 52: Stadswarmte- en koude net Amsterdam en het centrum (Bron: Gemeente Amsterdam)*

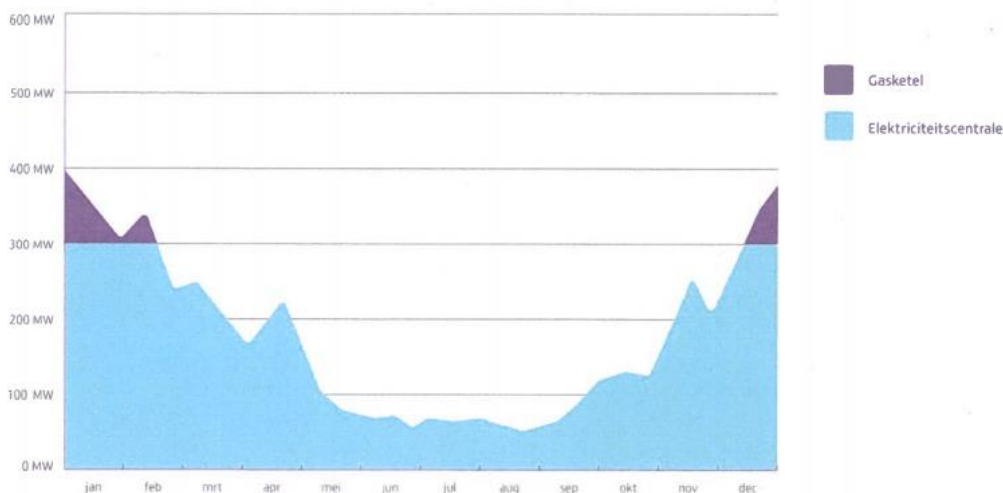
### Toekomstig gebruik van stadswarmte

Stadswarmte is een energiesysteem dat wordt omschreven als een hoge temperatuur systeem. Het geleverde warme water kan temperaturen halen van 100 °C en is een goede warmtebron voor gebouwen die niet of nauwelijks geïsoleerd zijn. Voor de Keizersgracht is dit een goed systeem omdat de oude huizen en panden niet of nauwelijks geïsoleerd zijn. Nadeel van stadswarmte is dat het stadswarmtenet zich nog ver buiten het centrum van de stad bevindt en het tijd gaat kosten voordat het netwerk in het centrum aanwezig is.

Stadswarmte is op zichzelf bijna een duurzaam systeem omdat het bijna geen fossiele brandstoffen gebruikt om het systeem op de gewenste temperatuur te krijgen. De warmte wordt verkregen door de restwarmte te gebruiken van de elektriciteitscentrale Diemen en het AEB (afvalenergiebedrijf) in Amsterdam-West. Dat betekent dat er bij de bron geen fossiele brandstoffen gebruikt worden speciaal voor de stadswarmte. De restwarmte wordt gewoon slim gebruikt. De term 'Bijna geen fossiele brandstoffen' heeft niks te maken met de AEB of Diemen centrale. Binnen het stadswarmtenet zijn een aantal aardgasgestookte warmtebronnen die alleen gebruikt worden om op de koudste dagen per jaar een kleine boost te geven aan het warmtenet. Deze bronnen worden maar een paar dagen per jaar gebruikt maar zorgen er wel voor dat het huidige stadswarmtenet net niet helemaal duurzaam is.

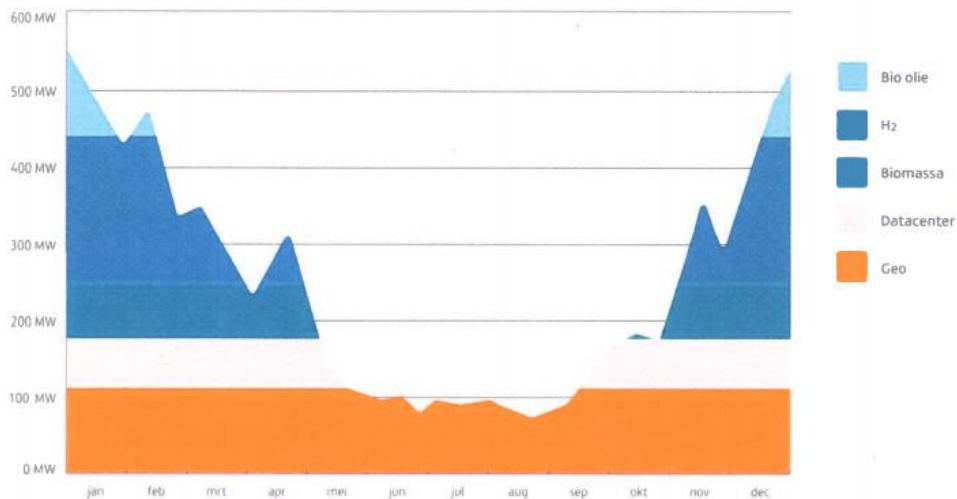
Omdat de gemeente Amsterdam in 2050 ook de grote bronnen als de Diemen centrale en AEB aardgasvrij willen hebben (Energiekaart net, 2017), heeft de beheerder van het stadswarmtenet NUON/VATTENFALL een aantal doelen gesteld om de Diemen centrale ook van een duurzame bron te voorzien. Zoals eerder genoemd wordt de totale energie in het Diemen net voor een groot deel geleverd door de op aardgas gestookte elektriciteitscentrale en een klein deel door de aardgas gestookte branders in het netwerk (Figuur 53). In 2050 wil de NUON/VATTENFALL dat de bronnen van het Diemen net van het aardgas af en zijn energie opwekken door middel van bio olie, H<sub>2</sub>, biomassa, geo-warmte en warmte uit datacentra (Figuur 54). In 2050 is dus de bron van de bron van het stadswarmtenet ook duurzaam.

## Inzet warmtebronnen in het Diemen net: 2018



Figuur 53: Inzet warmtebronnen stadswarmte 2018 (Bron: NUON/VATTENFALL)

## Inzet warmtebronnen in het Diemen net: 2050



Figuur 54: Inzet warmtebronnen stadswarmte 2050 (Bron: NUON/VATTENFALL)

Als de bronnen waar de stadswarmte zijn warmte vandaan haalt in 2050 ook duurzaam zijn kan er gesproken worden over een volledig duurzaam warmtesysteem. Op lange termijn voldoet stadswarmte aan drie eisen uit het programma van eisen.

Een andere eis is dat de stadswarmte moet passen bij de panden langs de Keizersgracht. Met deze eis wordt de vraag gesteld of stadswarmte wel geschikt is voor de gebouwen langs de Keizersgracht. De panden langs de Keizersgracht zijn niet zo goed geïsoleerd en dat houdt in dat zij veel warmte verliezen aan de buitenlucht. De vraag is dus of stadswarmte genoeg capaciteit kan leveren om deze panden te verwarmen. Omdat stadswarmte een hoge temperatuur systeem is, is er voldoende energie om de panden te verwarmen.

### Technische haalbaarheid

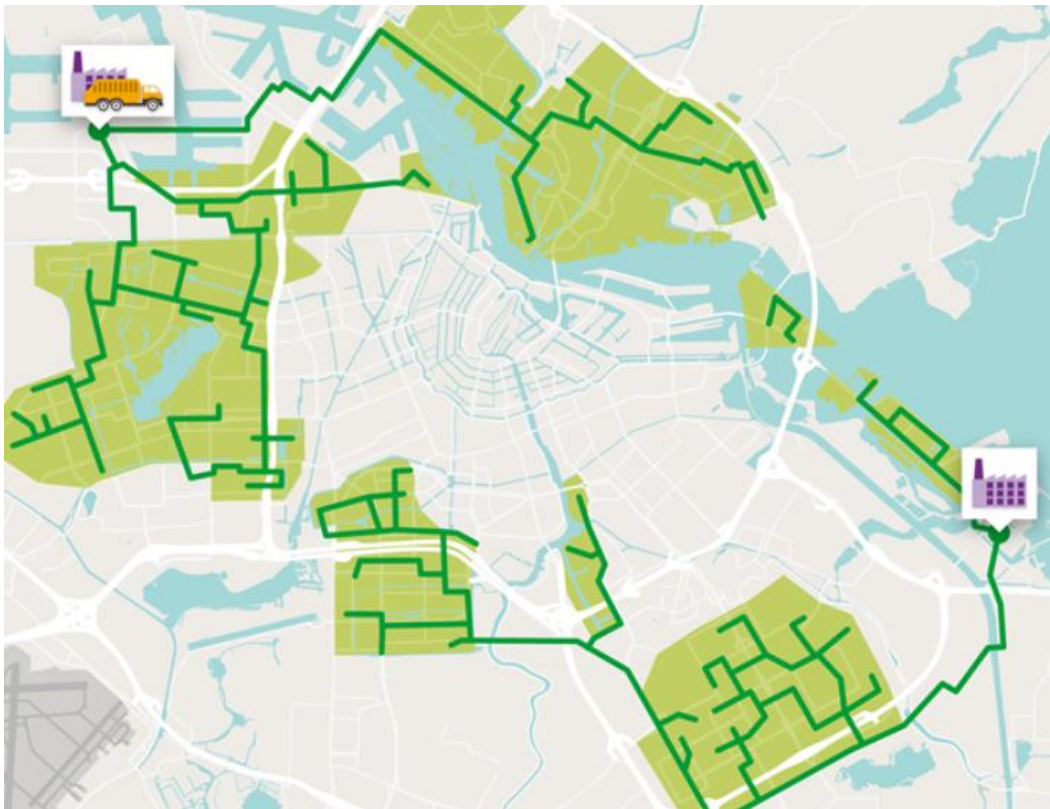
Het volgende punt waar naar gekeken wordt is de technische haalbaarheid. Is het wel mogelijk om de stadswarmtenet naar de Keizersgracht te krijgen? Is er genoeg energie beschikbaar en kunnen alle gebouwen erop aangesloten worden? Nuon/vattenfall verwachten dat de warmtevraag in het stadswarmtenet toeneemt van 400MW naar 550MW (zie verschil pieken figuur 53 en 54). Als de gehele stad Amsterdam aangesloten moet gaan worden op het stadswarmtenet moeten er meer warmtebronnen bijkomen om voldoende warmte te kunnen afgeven. De Diemen centrale en de AEB kunnen deze energievraag naar verwachting niet leveren. Buiten de stad zullen nieuwe duurzame bronnen gecreëerd worden om meer capaciteit te geven aan het stadswarmtenet.

Het is mogelijk om de stad te voorzien van stadswarmte netwerk. Het aanleggen en gebruiken van nieuwe duurzame bronnen zoals te zien is in Figuur 54 om het netwerk van genoeg warmte te voorzien is ook mogelijk. Het enige nadeel is dat hier veel tijd overheen gaat en dat men vanuit de rand van de stad richting het centrum moet werken waarbij alle straten in de stad open gegraven moeten worden.

### De fasering

Zoals hiervoor besproken, ligt het stadswarmtenet nog ver buiten het centrum van de stad. Het aanleggen van een groot netwerk aan leidingen door de gehele stad wordt een enorme opgave, vooral door de drukte aan kabels en leidingen die al in de ondergrond aanwezig zijn. Vanuit de rand van de stad moeten grote transportleidingen richting het centrum waar vanuit aftakkingen dieper de stad in aan tot aan de huizen. Tegelijkertijd moeten er nieuwe warmtebronnen en tussenstations aangelegd en/of aangesloten worden om de gebouwen aan de nieuwe uitbreiding van genoeg energie te kunnen voorzien.

De eerste stap richting een groter stadswarmtenetwerk is het rondmaken van het netwerk door Amsterdam Noord te verbinden met Zeeburger-eiland. Hierdoor is het netwerk om de hele stad heen gesloten. De vraag is of het haalbaar is om in 2040 de gehele stad op stadswarmte aangesloten te hebben.



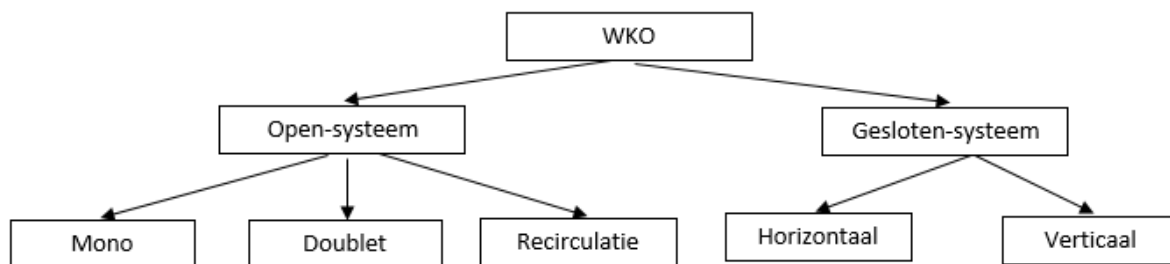
*Figuur 55: Stadswarmtenet met gebieden die aangesloten kunnen worden en de 2 stadswarmtebronnen (Bron: NUON/VATTENFALL)*



### Warmte- en koudeopslag

Een andere manier om duurzamer met energie om te gaan is ondergrondse energieopslag. Het systeem waar het over gaat is een WKO-systeem. WKO-systeem staat voor warmte- en koudeopslag en is kort gezegd een systeem dat in de zomer warm water uit de gebouwen opslaat in de ondergrond en in de winter weer oppompt om de gebouwen te verwarmen. In de winter gebeurt het net andersom, in de winter wordt het warme water gebruikt om gebouwen te verwarmen waarna het afgekoelde water ergens anders in de ondergrond wordt opgeslagen om in de zomer te gebruiken om het gebouw te koelen.

De warmte of kou uit het grondwater wordt via een warmtewisselaar uitgewisseld met het verwarmingssysteem van het gebouw. Een WKO-installatie is een duurzame manier van verwarmen en verkoelen omdat het water dat je in de zomer gebruikt om te koelen, gebruikt wordt om in de winter weer mee te verwarmen en vice versa. De temperatuur van het water dat uit de grond gepompt wordt is vaak niet hoog genoeg om een gebouw goed te kunnen verwarmen, er is nog sprake van een laagwaardige temperatuur. Om de laagwaardige temperatuur tot een gewenste temperatuur te brengen wordt een warmtepomp gebruikt. WKO-systemen zijn onder te verdelen in open en gesloten systemen. De beide systemen zijn weer onder te verdelen in meerdere varianten die in verschillende situaties het best functioneren.



*Figuur 56: WKO-systemen*

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de WKO-systemen die zijn weergegeven in Figuur 56.

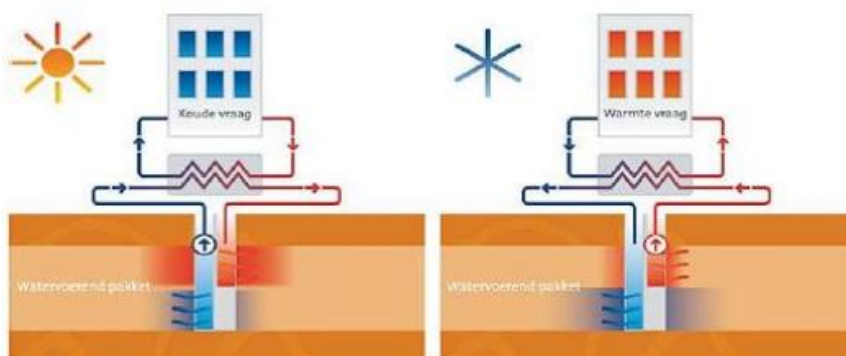
## Open WKO-systeem

Bij een open bron WKO-systeem worden één of twee bronnen geplaatst in een watervoerende grondlaag. Het water dat opgeslagen moet worden wordt via filters in de grondlaag gepomp waar het een half jaar verblijft tot het weer wordt opgepompt in het andere seizoen om gebruikt te worden. De diepte tot waar een open WKO-systeem geboord wordt hangt af van de watervoerend lagen die aanwezig zijn in de ondergrond. De boordiepte varieert van de 80m tot 200m. Het warme water dat opgepompt wordt heeft vaak een temperatuur tussen de 15-20 °C. Het koude water dat in zomer wordt onttrokken heeft een gemiddelde temperatuur van 8°C (Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2012). Of een WKO systeem veel energie zal besparen verschilt per gebied in Nederland. Dat heeft vooral te maken met de diktes en dieptes van de watervoerende laag en grondlagen samenstelling. In Figuur 57 is een kaartje van Nederland te zien en de geschiktheid van de ondergrond voor open-WKO systemen. Het valt op dat de gebieden rond het IJsselmeer en de grote rivieren een zeer geschikte bodem hebben. Reden hiervoor is de hoeveelheid zoet water dat via de rivieren de ondergrond in kan stromen.

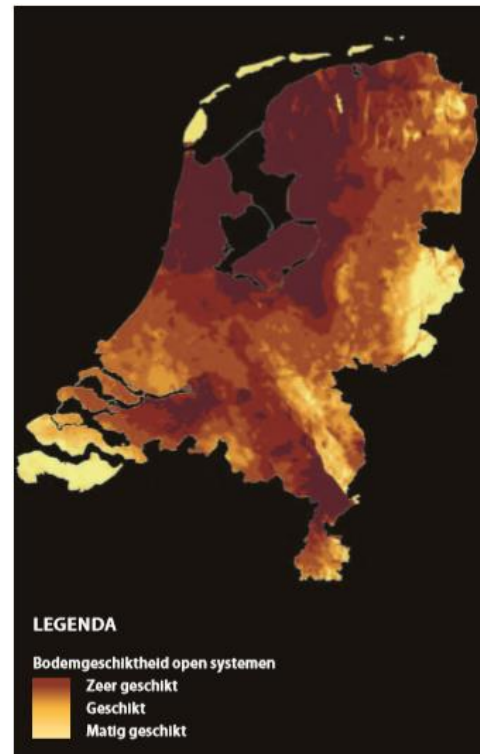
Een open WKO-systeem bestaat uit drie typen bronnen, namelijk een monobron, Doubletbron en een recirculatiebron.

### Monobron

Een monobron bestaat uit één bron met twee filterdelen voor een koude (blauw) en een warme (rood) bel (Figuur 58). De twee bellen bevinden zich in een monobron boven elkaar in ieder zijn eigen watervoerende grondlaag. De warme bel bevindt zich boven de koude bel omdat warmte de neiging heeft om te stijgen en de koude om te dalen. Door de warme bel boven de koude bel te leggen kunnen de bellen elkaars temperatuur niet negatief beïnvloeden.

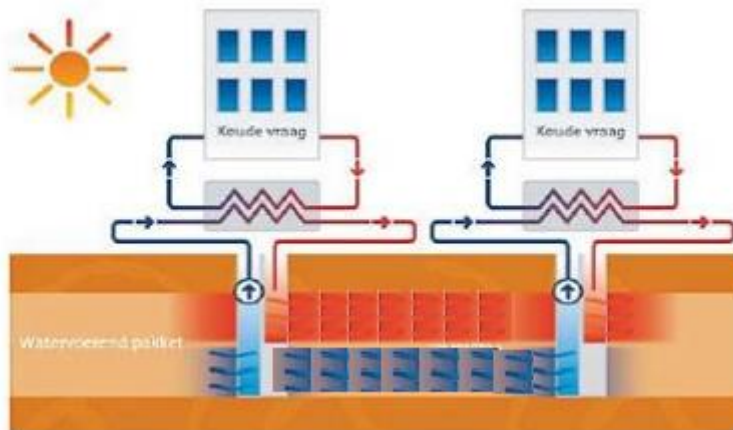


Figuur 58: Monobron- Zomer links, winter rechts (Bron: IF technology)



Figuur 57: Geschiktheid Nederlandse bodem voor open-WKO (Bron: Kennisplatform bodemenergie)

Doordat de twee bellen boven elkaar liggen, neemt een monobron relatief gezien weinig ruimte in beslag. Voor locaties met een beperkte ruimte kan dit een uitkomst bieden omdat meerdere monobronnen eenvoudig naast elkaar te plaatsen zijn. Bij het plaatsten van meerdere monobronnen naast elkaar met dezelfde diepte van de bellen kunnen de bellen elkaar positief beïnvloeden. Zo creëer je een gehele warme of koude watervoerende grondlaag (Figuur 59). De afstand tussen de warme en de koude bel kan variëren tussen de 5m en 30m boven elkaar (Bloemendal & Mathijssen, 2013).



Figuur 59: Positieve interferentie van monobronnen (Bron: IF technology)

Het gebruikmaken van een monobron kan niet op elke locatie. De watervoerende laag of aquifer moet dik genoeg zijn om beide bellen boven elkaar op te kunnen slaan zonder dat ze teveel met elkaar in contact komen. In Zuid en Oost-Nederland is het gebruik van monobronnen lastiger omdat de watervoerende laag te dun zijn. In West-Nederland is veel meer ruimte in de ondergrond voor een monobron omdat de watervoerende laag veel dikker zijn en de bellen elkaar niet kunnen raken.

De energiebesparing die een monobron met zich meebrengt bij koeling kan oplopen tot 50% - 80% ten opzichte van de conventionele systemen. Bij warmte is de besparing zo'n 30%-50% ten opzichte van de conventionele systemen (Bodemenergie nl, 2018). De capaciteit van een monobron is maximaal 50- 70 m<sup>3</sup>/uur (De groene energie maatschappij, 2018). Voor een woning is minder als 10 m<sup>3</sup>/uur al voldoende.

Voordelen monobron:

- Een monobron neemt relatief weinig ruimte in beslag en kan dicht naast andere bronnen geplaatst worden.
- Samen met andere bronnen creëren ze een grote warmte en koude bel
- Er is maar één boring nodig voor het mono-systeem

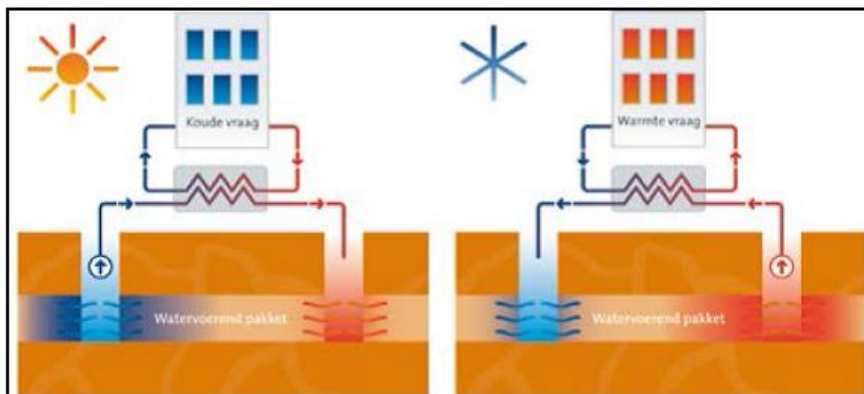
Nadelen monobron:

- De installatie is complex omdat twee stromingsrichtingen nodig zijn.
- Het watervoerende pakket moet dik genoeg zijn om de twee bellen boven elkaar kwijt te kunnen zonder dat ze elkaar negatief beïnvloeden.

## Doubletbron

Een doubletbron ziet er bijna hetzelfde uit als een monobron. Het enige verschil met de monobron is dat er niet één maar twee boringen zijn en dat de warme en de koude bel niet boven elkaar liggen maar naast elkaar liggen op dezelfde diepte (Figuur 60). De werking van het systeem is hetzelfde als bij een monobron, zomers wordt het koude water onttrokken en via de warmte wisselaar staat het zijn warmte af aan het systeem van het gebouw waarna het opgewarmde water in de warme bel wordt opgeslagen. Voor in de winter is dit andersom. Om negatieve interferentie tussen beide bellen te voorkomen is het van de belang dat de bellen minimaal 50 meter uit elkaar moeten liggen (De groene energie maatschappij, 2018).

Met een doubletbron kan de energiebesparing bij koeling oplopen tot 50% - 80% en bij verwarmen kan die besparing oplopen tot 30% - 50% (Bodemenergie nl, 2018). De besparingen zijn ten opzichte van de conventionele systemen. De capaciteit van een doubletbron is over het algemeen een stuk groter dan een monobron. Doublet bronnen kunnen sterk variëren vanwege de grootte van de installatie. Kleinere bronnen kunnen net boven de 100 m<sup>3</sup>/uur oppompen terwijl grotere installaties maximaal 250 m<sup>3</sup>/uur halen. Dit geldt dan voor grote kantoren (De groene energie maatschappij, 2018).



Figuur 60: Doubletbron- zomer links, winter rechts. (Bron: IF technology)

### Voordelen Doubletbron:

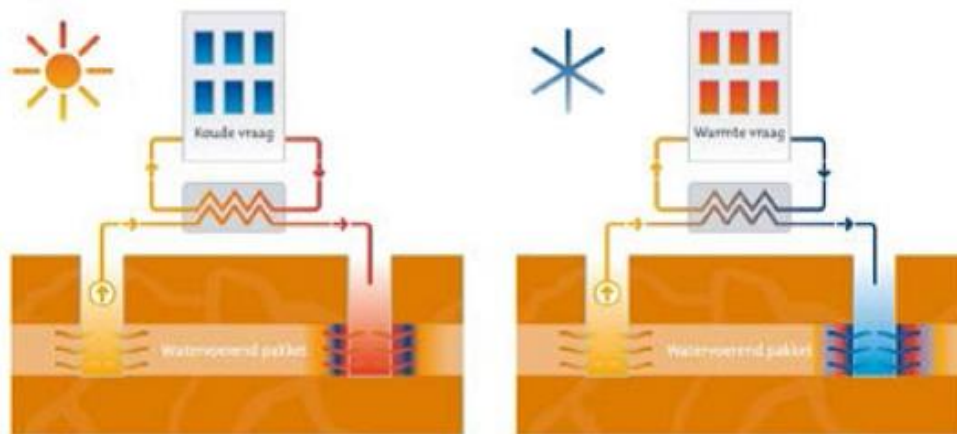
- Grotere capaciteit als een monobron en gesloten systeem en is daarom geschikter voor grote kantoren en complexen.

### Nadelen Doubletbron:

- Doubletbron is een complexe installatie omdat er twee stromingsrichtingen nodig zijn.
- Er zijn twee boringen nodig in plaats van één bij een monobron.
- Er is meer ondergrondse ruimte nodig omdat de bellen naast elkaar liggen.

### Recirculatiebronnen

De derde variant van de open-WKO systemen is de recirculatiebron. De recirculatiebron is anders als de mono- en doubletbron. De recirculatiebron heeft in tegenstelling tot de andere geen twee temperatuur bellen maar één bel van een vaste temperatuur van rond de 12°C (Rijkswaterstaat, 2016). Dit systeem heeft maar één stromingsrichting van de tour (onttrekkingsbuis) naar de retour buis. In dit systeem is geen warme of koude stroom maar een gemiddelde temperatuur. In de zomer wordt dit water opgepompt en het huis gekoeld. Het opgewarmde water stroomt via de retourleiding terug de grond in. Het water stroomt vervolgens met het grondwater mee richting de tourleiding waar het in de tussentijd de gemiddelde temperatuur weer heeft aangenomen en klaar is om weer gebruikt te worden. In de winter werkt dit systeem andersom. Het systeem van een recirculatiebron is weergegeven in Figuur 61.



Figuur 61: Recirculatiesysteem- zomer links, winter rechts (Bron: IF technology)

Een recirculatiebron heeft een grotere capaciteit nodig dan een mono- of doubletbron om dezelfde temperatuur verandering te kunnen verzorgen. De reden hiervoor is dat de temperatuurverschillen tussen zomer/ winter en de gemiddelde opgepompte temperatuur van het water dicht bij elkaar liggen. Omdat het temperatuurverschil van het opgepompte water in een mono- en doubletbron en de zomer/winter groter is, is hier minder water voor nodig om de temperatuur te veranderen in het gebouw. De capaciteit van een recirculatiesysteem heeft een bovengrens van 250 m<sup>3</sup>/uur voor grotere installaties. Recirculatiesystemen worden in Nederland niet heel veel toegepast omdat de temperatuurverschillen kleiner zijn dan in andere systemen en is dus minder efficiënt. In het buitenland wordt er meer gebruik van gemaakt omdat de stroomsnelheid van het grondwater een stuk hoger is. Door de hoge stroomsnelheid spoelen de warme en koude bellen te snel weg en heeft het opslaan van die temperaturen niet veel nut (Whenham, 2012). Met een recirculatiesysteem pomp je de gemiddelde grondwatertemperatuur op en maakt het niet uit of de bel wegstroomt.

Voordelen recirculatiesysteem:

- Het retour gepompte water beïnvloedt de ondergrondse temperatuur niet heel erg waardoor er niet snel een negatieve invloed wordt uitgeoefend op andere WKO-systemen in de buurt.
- Het is een eenvoudiger systeem omdat er maar één onttrekkingsbron en één infiltratiebron is.
- Op plekken waar een hoge grondwatersnelheid aanwezig is, is een recirculatiesysteem beter dan een mono- of doubletbron.

Nadelen recirculatiesysteem:

- Omdat het temperatuurverschil kleiner is dan in een mono- of doubletbron is er een grotere hoeveelheid water nodig om hetzelfde doel te behalen. Dat is minder efficiënt.
- Bij een recirculatiesysteem raken de filters in de ondergrond sneller verstopt omdat het water maar één kant op stroomt.

### Toekomstig gebruik van een open WKO-systeem

Zoals in de onderzoeksfase beschreven is, zijn open WKO-systemen goed te gebruiken voor grotere gebouwen of woonwijken. Een open WKO-systeem is een volledig duurzame installatie die geheel onafhankelijk is van aardgas of andere fossiele brandstoffen. Het systeem is CO<sub>2</sub> neutraal en daarmee is voldaan aan de eerste drie eisen wat de energietransitie betreft voor de Keizersgracht.

De volgende eis is dat het systeem moet passen en aansluiten bij de gebouwen langs de Keizersgracht. Een open WKO-systeem is niet geschikt voor een paar panden omdat de capaciteit daarvoor te groot is. Daarentegen kan de bron wel gebruikt worden om een deel van een huizenblok langs de Keizersgracht te verwarmen. Daarbij komt kijken dat er vanaf de warmtepomp installatie een netwerk aan leidingen aangelegd moet worden naar de aangesloten huizen. In ieder huis zal een warmtepomp installatie aangelegd moeten worden om het opgepompte water naar de gewenste temperatuur te brengen. Deze installatie neemt ruimte in beslag wat in sommige huizen misschien niet aanwezig is.



Figuur 62: Open WKO boorinstallatie  
(Bron: H.J. Lammers)

### **Technische haalbaarheid**

Een open WKO-systeem is over het algemeen groter in omvang als een gesloten WKO-systeem. De kleinste systemen beginnen pas vanaf een te verwarmen oppervlakte van 5000 m<sup>2</sup>. De buizen die tot 200 meter de grond in geboord worden hebben een grotere diameter en daarvoor is dan ook een grotere boorinstallatie nodig (Figuur 62). Gemiddeld is de buisdiameter zo'n 500 mm. De boorinstallatie heeft de mogelijkheid om langs de Keizersgracht te komen maar sluit wel de straat af voor verkeer naarmate hij aan het werk is.



Figuur 63: Inhoud open WKO put (Bron: H.J. Lammers)

De put die overblijft heeft een diepte van ±75 cm en heeft een oppervlakte van één vierkante meter. Als de put aangelegd wordt langs de Keizersgracht is het belangrijk dat de deksel in het maaiveld ligt en niet erboven of eronder. In de put bevinden zich een pomp en verscheidene sensoren en meetapparatuur (Figuur 63). De deksel moet hetzelfde uiterlijk hebben als de klinkers die in de Keizersgracht liggen om niet op te vallen. De UNESCO stelt dat het uiterlijk van de grachten niet zomaar mag veranderen. Het enige nadeel van een put gelijk aan het maaiveld is dat de put op een andere manier geventileerd moet worden.

## Fasering

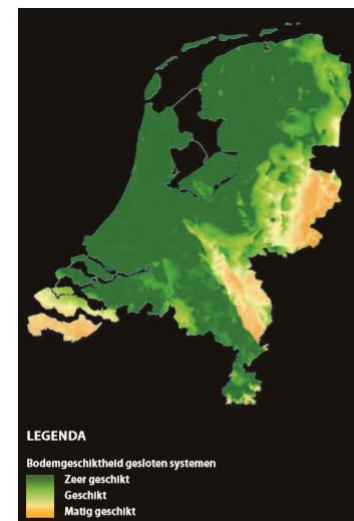
Het is mogelijk om een open WKO-systeem aan te leggen langs de Keizersgracht. Er is ruimte genoeg op straat om de boorinstallatie te kunnen laten boren. Aangezien een open WKO-systeem vaak pas vanaf 5000 m<sup>2</sup> te verwarmen oppervlakte gebruikt wordt, kunnen meerdere panden op één systeem aangesloten worden. Bij het aanleggen van een open systeem moet er rekening gehouden worden met de grootte van de ondergrondse warme- en koudebel. Het type bron heeft ook invloed op de vorm van de bellen. Hoewel monobronnen minder oppervlakte in beslag nemen dan doubletbronnen is de inpassing van open WKO bronnen mogelijk in de grachtengordel. De thermische inpassing van de WKO-systemen op de Keizersgracht is mogelijk omdat de thermische inpassing op de zuid-as ook mogelijk is en daar is de bouwdichtheid groter dan op de grachten (Lammers, 2019) <sup>2</sup>.

Zoals hierboven beschreven is, is de inpassing van de bronnen enigszins belangrijk. De bronnen kunnen een negatieve thermische invloed op elkaar hebben. De koudebellen van de ene bron mag niet tegen de warme bron van de andere aanliggen. Gebeurt dit wel, dan is zijn beide bronnen minder efficiënt. Het beste is de warme bellen aansluitend te leggen en de koude ook aansluitend aan elkaar. Op deze manier hebben de bellen een positieve thermische invloed op elkaar. Een koude bel mag wel naast een warme bel liggen, alleen mogen ze net geen raakvlakken hebben. Het beste is om zo min mogelijk loze ruimte over te kouden tussen de bellen. Zo kan je zo efficiënt mogelijk gebruik maken van de ondergrond.

## Gesloten WKO-systemen

Gesloten WKO-systemen maken op een andere manier gebruik van de aanwezige warmte in de ondergrond als een open WKO-systeem. Een gesloten WKO-systeem is een warmtewisselaar die in de grond geboord is en daar warmte uitwisselt tussen ondergrond en het WKO-systeem. In plaats van water onttrekken uit het grondwater zoals een open systeem wordt er gebruik gemaakt van gesloten lussen waar een vloeistofmengsel van water en antivries doorheen stromen om warmte te onttrekken. Het vloeistofmengsel komt nooit in contact met het grondwater waardoor er geen schadelijke stoffen het grondwater in kan stromen. Het enige contact is een thermisch contact.

In dit systeem stroomt de warme vloeistof vanuit het gebouw de grond in waar het zijn warmte af staat aan de koelere ondergrond. Het afgekoelde water stroomt vervolgens weer naar het gebouw om het te koelen, het cirkeltje is rond. In de winter gebeurt dit proces op zelfde wijze alleen wordt hier de koude vloeistof de grond in gepomp waar het zijn kou afstaat en vervolgens met de opgenomen warmte uit de ondergrond weer het gebouw instroomt om daar zijn warmte weer af te staan. Doordat de lussen niet direct in contact staan met de ondergrond is de warmte koude afgifte en opname niet zo efficiënt als een open WKO-systeem. Het onttrokken water geeft via een warmte wisselaar zijn warmte af aan het gebouw waar een elektrische warmtepomp het water naar de gewenste temperatuur brengt.



*Figuur 64: Geschiktheid Nederlandse bodem voor gesloten-WKO (Bron: Kennisplatform bodemenergie)*

<sup>2</sup> Dit interview/gesprek is met mijn bedrijfsbegeleider geweest en de conclusie dat de inpassing van de WKO-bronnen in de grachtengordel mogelijk is, volgt uit de ervaring en kennis van mijn begeleider verkregen bij projecten op de Zuid-as. Ik kan de bronnen niet geven omdat deze nog niet publiekelijk vrijgegeven zijn.

Als we naar de kaart van Nederland kijken in Figuur 64 is te zien dat een groot deel van Nederland geschikt is voor het gebruik van gesloten WKO-systemen. De ondergrond van de stad Amsterdam valt in het groene vlak en is dus zeer geschikt voor gesloten systemen. Net als bij de open WKO-systemen is het gebied rond Twente, Zeeland en van Nijmegen tot Venlo maar matig geschikt voor WKO-systemen. De reden voor de matige geschiktheid is de dunnere watervoerende zandlagen. Onder Amsterdam zijn zandlagen van rond de 140 meter dikte beschikbaar variërend tussen de 20 en 240 meter diepte (Dinoloket, 2004).

Een gesloten WKO-systeem is niet in elke situatie toepasbaar. Een gesloten systeem kan maar een bepaalde hoeveelheid warmte per lus genereren. De grootte en het te verwachte verbruik van het pand bepaalt hoeveel lussen er nodig zijn in het systeem. Niet elk pand is geschikt voor gesloten systeem. Het pand heeft voldoende isolatie nodig om een gesloten systeem rendabel te laten zijn. Bij een slecht geïsoleerd pand moet de warmtepomp zoveel stroom gebruiken om het opgepompte water tot de gewenste temperatuur te krijgen zo dat het gehele systeem niet meer rendabel is (Noort, 2019).

Bij het gebruik van een gesloten WKO-systeem heeft de installatie een  $\Delta T$  van rond de  $4^{\circ}\text{C}$ . Dat houdt in dat het opgepompte water in de warmtewisselaar  $4^{\circ}\text{C}$  afstaat aan het binnenhuissysteem, dat kan zowel warmte als koude zijn (Noort, 2019). Teveel warmte- of koudevraag kan de ondergrondse temperatuur sterk aantasten. Als de vraag naar warm water in de winter te groot is, kan de ondergrond het met  $4^{\circ}\text{C}$  afgekoelde water niet meer opwarmen tot het gemiddelde van  $12\text{-}15^{\circ}\text{C}$ . Het opgepompte warme water is nu niet meer  $12$ , maar  $9^{\circ}\text{C}$ . Dit water staat zijn  $4^{\circ}\text{C}$  weer af aan de warmtewisselaar en stroomt als  $5^{\circ}\text{C}$  weer de grond in. Dit proces versterkt zich en het kost de warmtepomp veel meer energie waardoor het systeem zijn efficiëntie verliest.

Binnen de gesloten WKO-systemen zijn twee varianten mogelijk, namelijk een verticale gesloten WKO of een horizontale gesloten WKO. De twee systemen werken hetzelfde, alleen de lussen waar de vloeistof doorheen stroomt liggen in een ander vlak.

### Verticaal gesloten WKO-systeem

Een verticale gesloten WKO-systeem wordt vaak een bodemwarmtewisselaar genoemd. In feite geeft de naam precies aan hoe het systeem werkt (Figuur 65). Een voordeel van dit systeem is dat het weinig ruimte in beslag neemt. Verticale systemen zijn geschikter voor woningen en kleine kantoren waar de beschikbare ruimte beperkt is. De lussen worden vaak niet verder dan 150 meter diept geboord. Om het meeste rendement te halen uit de uitwisseling van warmte en koude in de ondergrond heb je zandlagen nodig. In zandlagen heb je een grotere doorlatendheid van grondwater waardoor er efficiënter warmte en koude afgegeven kan worden. Klei heeft een slechte doorlatendheid en is daarom als grondlaag niet geschikt voor warmte- en koudeoverdracht. Op 150 meter diepte heeft het grondwater een temperatuur variërend tussen de  $12$  en  $15^{\circ}\text{C}$ . De energiebesparing bij een verticaal gesloten WKO-systeem kan oplopen tot  $30\text{-}50\%$  ten opzichte van conventionele systemen (Agentschap NL, 2018). De omgevingsfactoren van de ondergrond bepalen een groot deel van de besparing.



Figuur 65: Verticaal gesloten WKO-systeem  
(Bron: Besteco duurzame energiesystemen)



De grootte van het te verwarmen volume en het verwachte warmteverbruik bepaalt hoeveel lussen nodig zijn in de ondergrond. Voor een normaal geïsoleerd woonhuis van 90 m<sup>2</sup> met een plafond hoogte van 3 meter zijn twee lussen tot 150 meter diepte voldoende om het huis te verwarmen en te koelen.

Voordelen:

- Het systeem neemt weinig grondoppervlak in beslag
- Is geschikt voor woningen en kleine kantoren
- De diepte van de lussen hoeven niet tot grote diepte aangelegd worden ( $\pm 150$  m).

Nadelen:

- De efficiëntie van de warmte en koude afgifte van een gesloten-systeem is lager dan een open-systeem.
- Bij een groter te verwarmen oppervlakte (groter dan 5000 m<sup>2</sup>) is een gesloten systeem niet groot genoeg.

### Horizontaal gesloten WKO-systeem

Bij een horizontaal systeem liggen de lussen in een horizontaal vlak een paar meter onder maaiveld (Figuur 66). Door middel van sleuven worden de lussen in de grond gelegd. Bij dit systeem hoeft niet geboord worden. De benodigde oppervlakte van de lussen is ongeveer drie maal zo groot als het te verwarmen oppervlak (Van Der Graaf, 2017). De energiebesparing voor koelen en verwarmen kan oplopen tot 30-50% ten opzichte van conventionele systemen. Belangrijk is hierbij de opbouw van de bodem en de temperatuur van de bodemlaag.

Voordelen:

- Goed voor woningen met genoeg ruimte rondom
- Het systeem is gemakkelijk aan te leggen door middel van sleuven graven van een paar meter diep.
- Er hoeft niet geboord te worden
- Omdat het systeem niet heel diep ligt is het een onderhoudsvriendelijk systeem.

Nadelen:

- Het leidingsysteem neemt veel ruimte in oppervlak in beslag
- Niet geschikt voor woningen en kleine kantoren zonder grond rondom het pand.
- De temperatuur van de ondergrond wordt mede beïnvloed door de buitentemperatuur

Horizontaal gesloten bronsysteem



Figuur 66: Horizontaal gesloten WKO-systeem  
(Bron: Besteco duurzame energiesystemen)

### **Toekomstig gebruik van een gesloten WKO-systeem**

Een gesloten WKO-systeem is een volledig duurzaam systeem die geen gebruik maakt van fossiele brandstoffen en ook geen broeikasgassen uitstoot. Daarmee is de installatie CO<sub>2</sub> neutraal en voldoet die aan de eerste drie eisen voor de energietransitie.

Een gesloten WKO-systeem kan op kleine en op grotere schaal toegepast worden. Het systeem sluit goed aan op bijna elke pand langs de Keizersgracht. Het aantal lussen wat de grond in geboord worden bepalen de capaciteit van het systeem. Het systeem kan voor één huis zijn, maar geschakeld aan andere systemen kunnen meerdere huizen verwarmd worden. Het systeem zelf is niet heel groot en kan in of bij de huizen aangelegd worden.

### **Technische haalbaarheid**

Omdat een gesloten WKO-systeem niet al te veel ruimte in beslag neemt, is het een aanrader voor enkele woningen waar niet al te veel ruimte omheen beschikbaar is. De lussen die tot 150 meter diepte de grond in gaan kunnen op straat geboord worden en daarna onder de klinkers onzichtbaar zijn. De boorinstallatie die gebruikt wordt is niet heel groot en heeft langs de Keizersgracht ruimte genoeg om op straat te boren. Er zijn zelfs boorinstallaties die klein genoeg zijn om door een deur heen te kunnen en in kelders en achtertuinen kunnen boren (Figuur 67). Het is op bijna iedere locatie mogelijk om een gesloten WKO-systeem aan te leggen mits de ondergrond voldoet en het gebouw geïsoleerd is.



*Figuur 67: Kleine boorinstallatie gesloten WKO-systeem (Bron: Albreco)*

Bij een gesloten systeem hoort ook een warmtepomp en voorraadvat. Voor een enkel huis is deze installatie ongeveer even groot als twee gemiddelde Cv-ketels. Er moet dus wel ruimte aanwezig zijn in het pand om de installatie kwijt te kunnen.

### **Fasering**

De fasering van het aanleggen van een gesloten systeem is vrij gemakkelijk. Je kan per huis of huizenpaar een installatie aanleggen. De tijd die nodig is om te boren hangt af van het aantal lussen die er nodig zijn om het pand te kunnen verwarmen. Voor een gemiddeld huis zijn 3 lussen voldoende en dat is binnen een dag geboord (Albreco, 2019). Het aansluiten van het systeem is meestal nog een klein dagje werk.

Bij stadswarmte in het centrum van Amsterdam moet een leidingnetwerk aangelegd worden die een vaste volgorde heeft, van buiten de stad naar het centrum. Voor een gesloten WKO-systeem is dat niet nodig. Waar een eigenaar vraagt om een installatie, kan het aangelegd worden. Zo is men als pandeigenaar niet afhankelijk van de fasering van de gemeente zoals bij stadswarmte.

## Energie uit oppervlaktewater

De derde variant waarmee energie in de vorm van warmte opgewekt kan worden is het gebruikmaken van de beschikbare warmte en koude uit het oppervlaktewater. Het gebruikmaken van het oppervlaktewater kan op twee verschillende manieren. Manier één is de warmte en koude uit het oppervlaktewater direct via een warmtewisselaar gebruiken om het pand te verwarmen en te koelen. Of manier twee waarin het oppervlaktewater-systeem in combinatie is met een WKO-systeem.

### **Direct warmte halen uit oppervlaktewater**

Het directe gebruik van de warmte en koude uit het oppervlaktewater is minder efficiënt als de andere systemen. In de winter is het water kouder dan de ondergrond en kan dit water minder warmte afgeven aan de warmtewisselaar. In de zomer is het oppervlaktewater warmer dan de ondergrond en kan minder kou afgeven. Het kost de warmtepomp meer elektriciteit om de gewenste temperaturen in de panden te krijgen.

### **Combinatie oppervlaktewater en gesloten WKO-systeem**

Manier twee is een combinatie van het oppervlaktewater en een WKO-systeem. Het zijn twee losse systemen die niet direct met elkaar verbonden zijn. De combinatie wordt bijna altijd toegepast met een gesloten WKO-systeem. Het oppervlaktewater-systeem wordt vaak gebruikt om de warmte of koude tekorten in de ondergrond te kunnen aanvullen. De tekorten kunnen ontstaan als een pand meer warmte vraagt in de winter dan koude in de zomer, of andersom. Zoals eerder opgemerkt daalt de temperatuur in de ondergrond door het onttrekken van warmte in de winter. Gevolg is dat van te weinig warm water toevoegen aan de bodem in de zomer aan het begin van de winter een lagere bodemtemperatuur aanwezig is om het huis te verwarmen. Gebeurt dit een aantal jaar achter elkaar, dan koelt de bodem te veel af en heeft het WKO-systeem zijn efficiëntie verloren. Om dit probleem tegen te gaan kan de combinatie met het oppervlaktewater systeem zorgen voor een aanvulling van warmte in de zomer om het tekort aan warmte in de ondergrond voor de volgende winter op te kunnen vangen. De warmte uit het oppervlaktewater wordt via een warmtewisselaar de grond in geleid om daar de extra warmte af te geven voor de volgende winter.

Het water dat zijn warmte heeft afgestaan in de bodem komt ongeveer 3 graden koeler weer in het oppervlaktewater terecht. Een voordeel van de warmte uit het oppervlaktewater halen is dat de temperatuur van het oppervlaktewater hierdoor in de zomer afkoelt en dat is goed voor de waterkwaliteit. Door een afname van de watertemperatuur neemt het zuurstofgehalte van het water toe en is de kans op blauwalgen en andere water verontreinigende stoffen kleiner.

In de winter kan het combinatiesysteem van gesloten- en oppervlaktewater een voordeel zijn. Als er in de zomer meer koude gebruikt wordt dan warmte in de winter, kan de bodemtemperatuur in de zomer erna hoger zijn als de zomer ervoor en zal de warmtepomp meer stroom nodig hebben om de gewenste temperatuur te krijgen. Om het koude tekort aan te vullen kan er in de winter koud oppervlaktewater via de warmtewisselaar de ondergrond in geleid worden. Bij het aanvullen van koude in de ondergrond neemt de temperatuur van het rondgepompte water in het systeem toe met 3 graden. Dat houdt in dat het oppervlaktewater in de grachten warmer wordt en dat is een nadeel voor de schaatsliefhebbers.

Voordelen:

- Meer warmte- of koudeverbruik heeft geen toekomstige nadelen voor de bodemtemperatuur.
- Warmte en koudetekorten kunnen worden aangevuld met oppervlaktewater.
- De oppervlaktewatertemperatuur neemt in de zomer af waardoor de waterkwaliteit verbetert.

Nadelen:

- De panden die verwarmd worden moeten goed geïsoleerd zijn wil dit systeem efficiënt zijn en dat kan voor oude en monumentale panden duur worden.
- In de winter neemt de oppervlaktewatertemperatuur toe wat voor schaatsliefhebbers vervelend kan zijn.

### **Toekomstig energie halen uit oppervlaktewater**

Het gebruikmaken van warmte uit het oppervlaktewater is een duurzaam systeem. Hierbij worden geen broeikasgassen uitgestoten en geen fossiele brandstoffen verbruikt en is een CO<sub>2</sub> neutraal systeem. Het nadeel is dat het gebruik van het oppervlaktewater alleen niet zo heel efficiënt is, maar in combinatie met een gesloten WKO-systeem biedt het meer kansen.

De Keizersgracht heet niet voor niets de Keizersgracht. Het water uit de gracht kan gebruikt worden in dit systeem en daarom past dit systeem goed bij de panden langs de Keizersgracht mits de panden goed geïsoleerd zijn.

### **Technische haalbaarheid**

Het aanleggen van een oppervlaktewater systeem is best mogelijk langs de Keizersgracht. Het water uit de gracht moet opgepompt worden en via een warmtewisselaar zijn warmte of koude afgeven aan het binnenhuissysteem. Zoals eerder besproken is de efficiëntie van het oppervlaktewater systeem minder groot als bodemwarmte. Om het oppervlaktewater op te kunnen pompen moeten er doorvoeren gemaakt worden in de kademuur. De warmtewisselaar en warmtepomp moeten in de panden aangelegd worden. Hier moet ruimte beschikbaar voor zijn. Een ander optie zou een ingegraven installatie kunnen worden achter de kademuur. Nadeel is wel dat het al erg druk is in de ondergrond met andere kabels en leidingen waardoor er ruimte gemaakt moet worden voor deze ondergrondse installatie.

### **Fasering**

Wat het gebruik van oppervlaktewater met zich meebrengt is dat het systeem water moet oppompen uit de gracht. Daarvoor is een doorvoer nodig in de kademuur. Het aanleggen van dit systeem kan gelijktijdig met het vervangen van de kademuren. Of de doorvoeren moeten door de bestaande kademuren heen geboord worden.

Het aanleggen van het oppervlaktewatersysteem kan langs alle straten waar oppervlaktewater gebruikt kan worden. Als de doorvoeren in de kademuren gemaakt kunnen worden kan langs alle grachten begonnen worden met het aanleggen van de systemen. Wat lastig kan zijn is waar de installaties geplaatst worden. Komen ze in de panden te staan of buiten de panden in de ondergrond. Dat heeft te maken met hoe de kabels en leidingen ingepast moeten worden in de ondergrond.

### Isoleren van de panden langs de Keizersgracht

Een WKO-systeem is een lage temperatuur systeem en kan goed functioneren bij gebouwen die goed geïsoleerd zijn. Daarmee komt een ander onderwerp om de hoek kijken die van belang is bij de keuze voor een WKO-systeem, namelijk; Hoe goed zijn de panden langs de Keizersgracht geïsoleerd?

Deze vraag is van groot belang want de WKO-systemen hebben niet de capaciteit om de slecht geïsoleerde panden te kunnen verwarmen. Door de slecht isolatie verliest het pand teveel warmte en kan de warmtepomp het niet goed aan om een fatsoenlijke temperatuur in huis te krijgen. Daarbij komt dat de warmtepomp zoveel energie moet toevoegen aan het water dat de elektriciteitsvraag ontzettend groot is. Het systeem is op deze manier niet meer zo efficiënt als bij goed geïsoleerde panden. Het isoleren van de panden langs de Keizersgracht kan niet zomaar. Vele panden langs de gracht zijn monumentale panden en vallen onder de UNESCO werelderfgoed. Dat houdt in dat het uiterlijk niet zomaar mag veranderen en wat het plaatsen van geïsoleerde ramen en verbeterde kozijnen in de weg staan. Er zijn momenteel een aantal technieken waarmee de panden van een goed geïsoleerde schil kunnen voorzien maar dat gaat veel geld kosten. Maar wie gaat dit betalen? Moeten de huiseigenaren opdraaien voor de kosten of moet de gemeente Amsterdam daar in bijdragen omdat zij graag in 2040 van het aardgas af willen.

Dit is een financieel en politiek spelletje waar ik mij niet mee bezig ga houden binnen dit afstudeerproject. De keuze voor het wel of niet isoleren van de panden kan de doorslag geven voor welk duurzaam warmte systeem gekozen gaat worden. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt er vanuit gegaan dat de gebouwen geïsoleerd kunnen worden waardoor het aanleggen van WKO-systemen mogelijk is.

### **Financiële plaatje duurzame energiesystemen**

Om het doel van een aardgasvrije stad voor de warmtevoorziening te realiseren zijn de kosten vaak een belangrijke factor in de beslissingen over hoe het doel bereikt moet gaan worden. Dat geldt ook voor de keuze welk duurzaam energiesysteem er toegepast kan worden langs de Keizersgracht. Om een beetje een inzicht te geven in de prijsverhoudingen tussen de energiesystemen zijn de twee systemen in Tabel 2 weergegeven. We maken onderscheid tussen de stadswarmte en WKO-systemen in het algemeen.

Tabel 2: Aansluitingskosten duurzame energiesystemen

Aansluitingskosten duurzame energiesystemen		
	Eenmalige aansluitkosten	Jaarlijkse variabele kosten
Stadswarmte	€ 4.500	€ 590
WKO	€ 6.000	€ 750

Zoals in Tabel 2 te zien is, zijn de aansluiting en variabelen kosten van een stadswarmte aansluiting goedkoper dan een WKO aansluiting. Ook de jaarlijkse variabele kosten zijn iets lager dan bij WKO installatie. Een verschil tussen een WKO installatie en stadswarmte is dat WKO zowel een warmte als een koudebron is. NUON/VATTENFALL zijn in hun toekomstige plannen bezig met stadswarmte en zijn niet bezig met het stadskoudenet.

Als we de kosten vergelijken tussen de stadswarmte en een WKO aansluiting/installatie kunnen we opmaken dat het verschil tussen de twee niet schrikbarend groot is. Hieruit kan opgemaakt worden dat het kostenplaatje niet doorslaggevend zal zijn voor de keuze voor een WKO-systeem of stadswarmtenet.

### **Conclusie: keuze duurzame energiesysteem**

In het afgelopen hoofdstuk zijn de vier varianten voor een duurzame warmtesysteem voor langs de Keizersgracht beschreven en beoordeeld. Een keuze maken over welke systeem het beste werkt en past bij de omgeving is niet zomaar gemaakt. Een belangrijke schakel in dit geheel is de vraag of de panden geïsoleerd kunnen worden. Zonder de goede isolatie is het gebruik van WKO-systemen en een oppervlaktewater systeem niet aan te raden. Het kost teveel energie in de vorm van elektriciteit, dat de efficiëntie en besparingen van een WKO-systeem teniet wordt gedaan. Het wel of niet isoleren van de panden hangt af van wie ervoor moet betalen. Dit is een discussie waar ik mij in dit project niet mee bezig ga houden omdat dit buiten mijn kennisgebied ligt.

#### **Stadswarmte:**

Als de panden langs de Keizersgracht niet geïsoleerd kunnen of mogen worden, dan is stadswarmte de meest voor de hand liggende oplossing voor het duurzame warmtesysteem. Het leidingen systeem wat zich nu nog ver buiten het centrum bevindt moet nog naar het centrum aangelegd worden. Het wordt een lange termijn traject voordat die leidingen naar elke woning in de stad aangelegd zijn. Een groot nadeel van stadswarmte is dat het alleen maar warmte is en geen koude. Met de toenemende temperaturen in de stad en de daarbij komende hittestress is koude ook een groot gewin voor de belevingswaarde van de grachtengordel. In de Zuid-as is zowel een warmte als een koudenet aangelegd om de serverruimtes en datacenters van grote bedrijven te kunnen koelen. Voor een koudenet is nog een leidingnet nodig in de ondergrond en langs de grachtengordel is de ruimte gering. Voordat deze leidingnetten in de ondergrond liggen zijn we heel wat jaren verder. Ook de energietransitie naar duurzame bronnen van de warmtebronnen voor het stadswarmtenet is een lange termijn plan en de NUON/VATTENFALL wil deze voor 2050 ook duurzaam hebben.

#### **WKO-systemen:**

Een groot voordeel wat de WKO-systemen hebben in vergelijking met stadswarmte is een koudebron. Door de toenemende temperaturen in Nederland en vooral in de stad kan een koudebron zeer gewenst zijn. Als de panden langs de grachten geïsoleerd worden zijn de WKO-systemen rendabel en efficiënt.

De keuze voor welk WKO-systeem het beste past bij de panden langs de Keizersgracht heeft met een aantal dingen te maken. Het tijdselement is van belang, maar hoe de gekozen installaties beheerd moeten gaan worden is ook belangrijk. De reden hiervoor is dat een open WKO-systeem goed is voor een oppervlakte van meer dan 5000 m<sup>2</sup>. Langs de Keizersgracht bevinden zich panden met een gemiddeld oppervlakte van 180 m<sup>2</sup>. Per open WKO-systeem passen daar minimaal 27 panden op. Of de 27 eigenaren moeten de installatie samen gaan beheren of een overkoepelende organisatie moet de installatie gaan beheren.

Is het door financiële en of organisatorische redenen niet mogelijk om het systeem te beheren van een open WKO-systeem, is een gesloten WKO-systeem een goede vervanger. Omdat dit per pand aangelegd kan worden is iedereen verantwoordelijk voor zijn eigen systeem. Iedereen een eigen systeem is handiger bij storingen. Maar één pand heeft er dan last van. Als een installatie van een open systeem het begeeft zitten minimaal 27 panden zonder verwarming of koeling.

### **Oppervlaktewatersysteem**

Een groot voordeel van de WKO-systemen is dat het te combineren is met een oppervlaktewatersysteem. Zoals in het onderzoek beschreven is, kan het oppervlaktewater de warmte en of koude tekorten in de ondergrond aanvullen. Hierdoor koelt het oppervlaktewater in de zomer af en dat is goed voor de waterkwaliteit en goed tegen de verhitting van de stad. Daarbij moet er een doorgang door de kademuur aangebracht worden om het water uit de gracht te kunnen pompen. Bij een open systeem hoeven er veel minder doorgangen gemaakt worden door de kademuur als bij een gesloten systeem. Hierbij moet ieder pand of iedere twee panden een doorgang aangebracht worden.

In een WKO-systeem is een warmtepomp een belangrijk onderdeel. De warmtepomp gebruikt elektriciteit om te kunnen werken. Omdat de warmtepomp veel elektriciteit gebruikt is aan te raden om die elektriciteit voor een groot deel en misschien wel volledig in het pand zelf op te wekken met zonnepanelen of andere bronnen.

Kortom:

- De keuze valt op stadswarmte als er niet geïsoleerd mag worden langs de Keizersgracht.
- Open WKO-systeem (als er wel geïsoleerd wordt) in combinatie met oppervlaktewatersysteem als de betrokken partijen het gezamenlijk eens kunnen worden over het beheer van een installatie.
- Gesloten WKO-systeem (als er wel geïsoleerd wordt) in combinatie met oppervlaktewatersysteem, als betrokken partijen het niet eens kunnen worden over gezamenlijk beheer en iedereen voor zichzelf een installatie laat aanleggen

### **Programma van eisen energietransitie**

Uit het onderzoek naar de energietransitie langs de Keizersgracht komen de volgende eisen naar voren die bepalen hoe de energietransitie samen met het ontwerp van de kademuur ingepast kan worden.

- In 2040 moet energie in de vorm van warmte uit duurzame bronnen komen
- Stadswarmte of WKO-systemen toepassen
- WKO-systemen combineren met oppervlaktewater systeem
- Open WKO putdeksels langs de kademuur in de ondergrond

### **Aanbeveling duurzame energiesysteem**

Als oplossing voor de energietransitie voor de Keizersgracht in Amsterdam beveel ik het gebruik van een open WKO-systeem aan in combinatie met een oppervlaktewatersysteem. De keuze voor dit systeem is als volgt uiteen te zetten:

- Een open WKO-systeem is volledig duurzaam.
- Open WKO-systeem is zowel warmte- als koudebron en in een warmer wordende stad is koude zeer gewenst.
- Met één enkele boring kunnen minimaal 27 panden verwarmt worden.
- Omdat er één boring nodig is per 27 panden, is er maar één boring en oppervlaktewatersysteem plus doorgang door de kademuur nodig in de ondergrond.
- Met het oppervlaktewater systeem kunnen de warmte- en koudetekorten in de ondergrond aangevuld worden.
- Het gebruik van oppervlaktewatersysteem is goed voor de waterkwaliteit van het oppervlaktewater.

### 3.3 Conclusie onderzoeksfase

Bij het uitvoeren van de onderzoeksfase voor het afstudeerproject 'Amsterdamse kademuren in tijden van klimaatverandering' zijn meerdere onderwerpen naar voren gekomen die binnen de genoemde thema's belangrijk zijn om een integraal ontwerp te kunnen maken van een nieuwe kademuur met inpassing van de transitie van de stad Amsterdam. Van de gekozen oplossingen binnen de thema's moeten ontwerpen gemaakt worden die uiteindelijk in een integraal ontwerp samenkomen en de hoofdvraag moet beantwoorden.

#### **Instortende kademuren**

Zo'n 200 km aan kademuren in Amsterdam moeten vervangen worden. Bij het ontwerpen van deze kademuren kan rekening gehouden worden met de andere vraagstukken die de gemeente Amsterdam heeft als gevolg van de klimaatverandering. Als de kademuren en verandering tezamen ontworpen en uitgevoerd kunnen worden kan dit in kosten, tijd en hinder voor omgeving beperkt worden tot minimaal. Het integrale ontwerp is het antwoord op de hoofdvraag en met dit ontwerp zal het hoofddoel gehaald worden.

#### **Energietransitie**

Amsterdam in 2040 aardgasvrij krijgen kan door de aanleg van nieuwe duurzame systemen. De opties voor duurzame systemen die mogelijk zijn langs de Keizersgracht zijn:

- Stadswarmte
- WKO-systemen, open systeem of gesloten systeem.
- Warmte uit oppervlaktewater
- Of een combinatie van systemen

De beslissing welk duurzame energiesysteem toegepast kan worden is afhankelijk van het wel of niet isoleren van de grachtenpanden. Indien niet geïsoleerd wordt, dan zal stadswarmte een optie zijn. Wordt er wel geïsoleerd, dan is mijn aanbeveling het toepassen van een open WKO systeem met een oppervlaktewatersysteem. Deze keuze is gemaakt door het afwegen van alle aspecten die bij de energiesystemen komen kijken.

#### **Het weer: Klimaatverandering**

Door klimaatverandering neemt de kans op hete periodes en heftigere regenbuien toe. Om hittestress in de stad te kunnen verminderen kunnen de bomen een rol spelen. Bomen nemen CO<sub>2</sub> op waardoor het minder warm wordt in de grachtengordel. Op de daken van de panden is de mogelijkheid om groene daken toe te passen. Groene daken nemen minder warmte op als zwarte daken en dragen daarmee bij aan minder hoge temperaturen in de stad. De groene daken hebben bij de heftigere regenbuien nog een functie. De groene daken vangen hemelwater op waardoor de piekafvoeren in het riool lager zijn.

Uit de onderzoeksfase komt naar voren dat er geen hemelwaterafvoer aanwezig is langs de Keizersgracht. Door het toevoegen van een hemelwater riool zal de hoeveelheid water dat naar de RWZI gaat minder worden wat beter is voor de efficiëntie van het RWZI. Het hemelwater kan afgevoerd worden naar het oppervlaktewater wat weer goed is voor de doorstroming en daarmee goed voor de kwaliteit van het oppervlaktewater in de gracht.

#### **Emissievrij**

De gemeente Amsterdam wil in 2030 emissievrij zijn. Verwacht wordt dat het aantal elektrische voertuigen gaat stijgen en dus ook het verbruik van elektriciteit. Uit mijn onderzoek is gebleken dat het elektriciteitsnet langs de Keizersgracht voldoende capaciteit heeft om aan de toekomstige elektriciteitsvraag te voldoen. Mocht de vraag nog verder stijgen, zal er een dikkere



elektriciteitskabel aangelegd worden en niet een extra kabel. De ondergrond zal daardoor niet veel voller raken.

### **Leefbaarheid**

De leefbaarheid langs de Keizersgracht kan verbeterd worden door het aantal voertuigen te verminderen en daarmee de drukte te laten afnemen. Ook door groen meer vrijheid te geven om te groeien kan de leefbaarheid verbeterd worden. De afnamen van voertuigen en vooral emissie-voertuigen neemt de drukte af en luchtkwaliteit toe langs de Keizersgracht en daarmee krijgt de omgeving een prettigere gevoel.

### **Modernisering**

De stad Amsterdam wordt steeds drukker en moderner. De grachtengordel moet met zijn tijd meegaan en zal zich moeten aanpassen. Het zichtbare uiterlijk van de grachtengordel mag niet aangepast worden maar in de ondergrond wel. Door het moderner en digitalere leven is er meer vraag naar internet, datatransport en andere verbindingen. Het telecommunicatie netwerk zal zich moeten uitbreiden om de mensen langs de grachten te kunnen voldoen aan hun wensen wat telecom betreft. Uit het onderzoek komt naar voren dat het inschatten van de toename aan telecom moeilijk is en daarom gekozen is voor een verdubbeling van het aantal aanwezige kabels.

## 4 Ontwerpfase

Nu de onderzoeksfase afgerond is en de conclusies getrokken zijn welke veranderingen de toekomstige onderdelen en systemen langs de Keizersgracht zullen ondergaan, breekt de ontwerpfase aan. De ontwerpfase bestaat uit: de deelvragen die belangrijk zijn voor de ontwerpen, een programma van eisen voor het ontwerp, detail ontwerpen en uitleg van de verschillende onderdelen in de thema's. Aan het einde van de detail ontwerpen wordt in de conclusie kort herhaald per thema wat het probleem was en welke oplossing daarvoor is uitgewerkt.

In de ontwerpfase worden de onderdelen binnen de thema's in de paragraaf: 'Detail ontwerpen' ontworpen aan de hand van het programma van eisen. Het ontwerp zal in de vorm van een autocad tekening met daarin de doorsnedes uitgewerkt worden. Als alle onderdelen ontworpen en beschreven zijn, zullen alle ontwerpen samen in een integraal ontwerp weergegeven worden. De definitieve ontwerptekening met daarop de integrale ontwerpen moet antwoord geven op de hoofdvraag en een oplossing bieden voor het hoofddoel van dit onderzoek.

### Deelvragen ontwerpfase

#### **Deelvraag ontwerp 1: Nieuwe kademuur**

- Hoe komt de vernieuwde kademuurconstructie eruit te zien langs de Keizersgracht?

#### **Deelvraag ontwerp 2: Thema: Energietransitie**

- Hoe ziet het ontwerp van de nieuwe warmtevoorziening eruit langs de Keizersgracht om in de toekomst energieneutraal te zijn?

#### **Deelvraag ontwerp 3: Thema: Het weer**

- Hoe ziet het ontwerp van het nieuwe rioolstelsel eruit langs de Keizersgracht die de toekomstige piekafvoeren het beste kan verwerken langs de Keizersgracht?

#### **Deelvraag ontwerp 4: Thema: emissievrij Amsterdam**

- Hoe ziet de indeling van het toekomstige elektriciteitsnetwerk eruit na transitie van de Keizersgracht?

#### **Deelvraag ontwerp 5: Thema: Modernisering**

- Hoe ziet de indeling van het toekomstige telecommunicatienetwerk eruit na transitie van de Keizersgracht?

#### **Deelvraag ontwerp 6: Thema: Leefbaarheid**

- Hoe komt het ontwerp van de nieuwe groenvoorziening eruit te zien en hoe wordt dit verwerkt langs de Keizersgracht?
- Hoe komt het nieuwe ontwerp van de parkeerindeling eruit te zien langs de Keizersgracht na de transitie naar een autoluwere binnenstad?

#### **Deelvraag ontwerp 7: Nieuw straatbeeld Keizersgracht**

- Hoe komt het straatbeeld eruit te zien van de Keizersgracht met de invulling van de ontwerpen komend uit de thema's zonder het kenmerkende straatbeeld ingrijpend te veranderen?

-

#### **Hoofdvraag: integraal ontwerp:**

Hoe moet het integraal ontwerp van de te vervangen kademuur langs de Keizersgracht in Amsterdam eruit zien, zodat de transitie naar een schonere en verduurzamende stad gerealiseerd kan worden binnen de aanwezige ruimte?

## 4.1 Programma van eisen

Om het hoofddoel te kunnen behalen is een integraal ontwerp nodig van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht waar ruimte in op is genomen voor de inpassing van de systemen die volgen uit de transitie van de stad als gevolg van de klimaatverandering. De thema's en hun onderwerpen moeten allemaal in één ontwerp komen te staan. Alle systemen die ingepast moeten worden hebben ieder hun eigen eisen die gelden voor het ontwerp. In het programma van eisen wordt onderscheid gemaakt tussen algemene eisen van een systeem en de eisen die gelden voor de inpassing in het ontwerp.

### Kademuur

Programma van eisen:

- Doorvoeren door kademuur voor toekomstige systemen uit de transitie Amsterdam
- Zelfde hoogte aannemen op locatie van de vorige kademuur
- Zelfde uiterlijk als voor vervanging

### Energietransitie

Programma van eisen algemeen

- In 2040 moet energie in de vorm van warmte uit duurzame bronnen komen
- Stadswarmte of WKO-systemen toepassen
- WKO-systemen combineren met oppervlaktewater systeem
- Open WKO putdeksels langs de kademuur in de ondergrond
- CO2 neutraal
- Moet passen/ aansluiten bij gebouwen
- Alle panden aangesloten op een duurzaam energiesysteem

Programma van eisen voor het ontwerp stadswarmte

- Diameter transportleiding 350 mm
- Afstand tot drinkwaterleiding minimaal 1.0 m
- Minimale afstand tussen tour en retour leiding 0,70 m h.o.h
- Minimale dekking 0,80 m buiten bovenkant buis

Programma van eisen voor het ontwerp met WKO

- Diameter transportleiding 250 mm
- Minimale afstand tussen warmte en koude leiding 0,60 m h.o.h
- Afstand tot evenwijdige leiding minimaal 1.0 m h.o.h
- Afstand tot drinkwaterleiding minimaal 1.0 m
- Afstand tot kruisende kabel of leiding minimaal 0,20 m
- Minimale dekking 0,80 m buiten bovenkant buis

### Het weer: Hemelwaterafvoer

Algemene eisen hwa

- Hemelwaterafvoer niet via het maaiveld in de gracht
- Eén afvoerleiding waar straatkolken op afvoeren onder maaiveld
- Een aantal afvoeren vanuit verzamelleiding door kademuurconstructie heen naar oppervlaktewater.
- Hemelwater lozen onder waterpeil in oppervlaktewater

Ontwerpeisen hwa.

- 0,50 m ruimte vanuit hart leiding voor aanbrengen inspectieput
- Kruisende kabels en leidingen minimaal 0,20 m van elkaar af.
- Evenwijdige kabels en leidingen minimaal 1,0 meter h.o.h.
- Minimale dekking 0,80 m.

### **Emissievrij Amsterdam**

Algemene eisen

- Het huidige elektriciteitsnetwerk moet ingepast worden
- Elke parkeerplek moet voorzien zijn van een laadpunt
- Elektriciteitskabels het liefst niet in het grondwater aanleggen

Eisen voor het ontwerp

- Minimaal 0,1 m vrije grond om de kabel heen vanaf ander elektriciteitskabel
- Minimale dekking 0,50 m
- Afstand tot waterleiding minimaal 0,60 m h.o.h.

### **Leefbaarheid**

Programma van eisen groenvoorziening

- Hoeveelheid bomen moet gelijk blijven als dat het nu is (2019)
- Minimaal 25 m<sup>3</sup> goede grond beschikbaar voor de wortels per boom
- Bomen worden geplaatst in ondergrondse betonnen bakken van minimaal 25 m<sup>3</sup> (minimaal 14m x 1.60m x 1.15m) (l x b x h )
- Afstand tussen boombak en kademuur 0,50 m voor o.a. laadpalen
- Onder de straatklinkers worden kratjes aangelegd tegen opdrukken straatstenen
- Open grond om de boomstammen om regenwater te infiltreren.
- Doorgangen in de boom bakken voor kabels en leidingen van straat naar kademuur.

Programma van eisen drukte grachtengordel

- Minder auto's op straat
- Meer ruimte voor fietsers en voetgangers
- Minder parkeerplekken
- Parkeerplekken: hoek van 30°, breedte 2.30

### **Modernisering**

Algemene eisen telecommunicatie

- Verzamelbuizen gebundeld per bedrijf
- Verzamelbuisjes schuin boven elkaar
- Buizen dicht tegen elkaar aangelegd.

Ontwerpeisen telecommunicatie

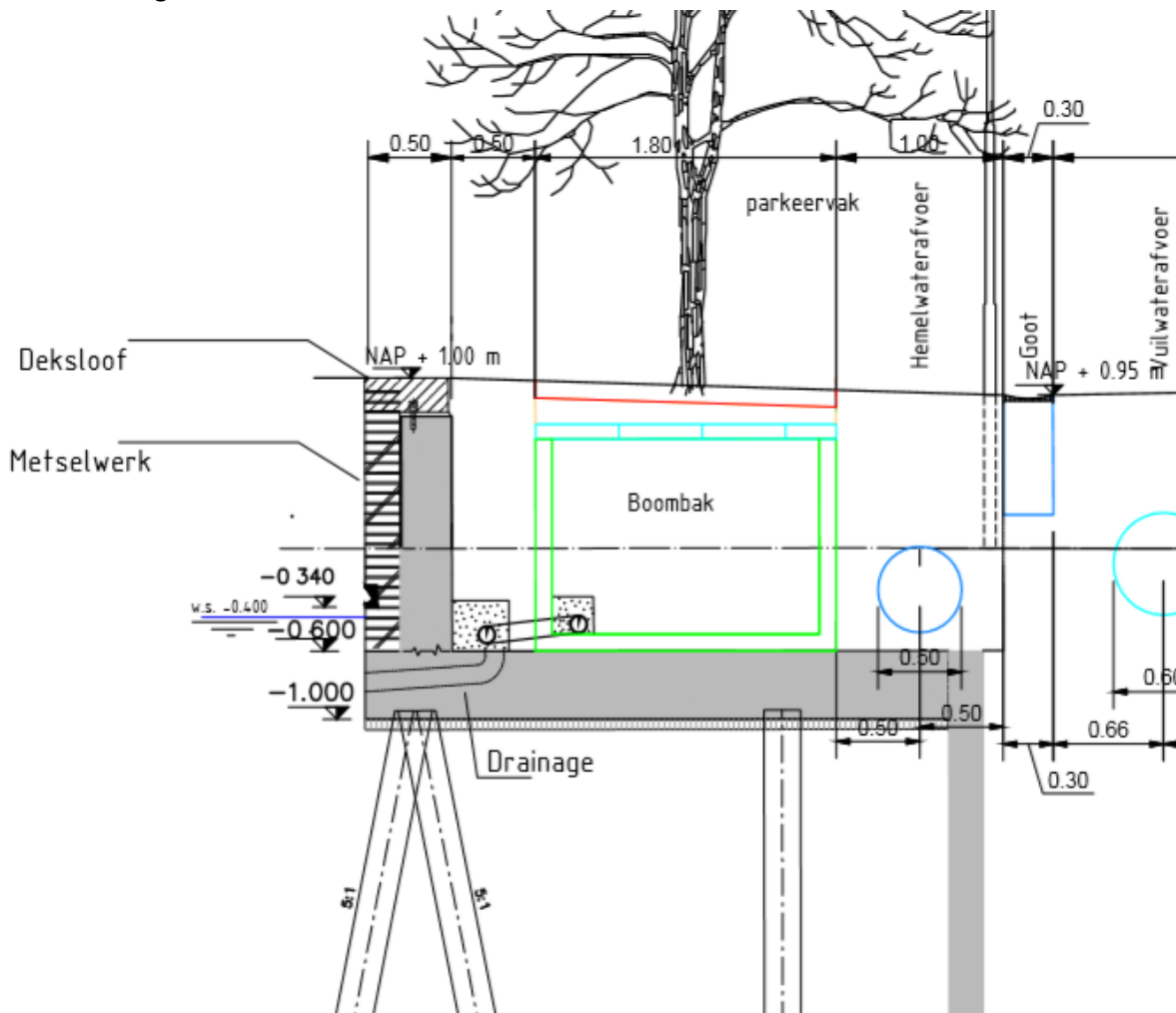
- Dekking verzamelbuizen minimaal 0,50 m
- Afstand tot kabels anders modaliteiten minimaal 0,20 m h.o.h.

## 4.2 Detail ontwerpen thema's

### Deelvraag ontwerp 1: Nieuwe kademuur

- Hoe komt de vernieuwde kademuurconstructie eruit te zien langs de Keizersgracht?

Het ontwerp van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht ziet er als volgt uit: De kademuur zal opgebouwd worden uit een betonnen funderingsplaat rustend op drie betonnen funderingspalen rijkend tot de eerste draagkrachtige zandlaag op 14 m onder maaiveld (zie 9.2 in bijlage). Achter de betonnen funderingsplaat wordt een onderloopheidsscherm aangebracht die de uitstroming van grond rond de kademuur moet tegengaan. De wand wordt een betonnen kern met een met bakstenen gemetselde schil met deksloof bovenop waardoor het uiterlijk gelijk blijft (UNESCO, sd). Het maaiveld sluit aan op de bovenkant van de wand. De bovenkant van de kade wordt gelijk aan de hoogte van de oude kademuur en zal variëren rond NAP +1.00 m.



Figuur 68: Doorsnede Nieuwe kademuur Keizersgracht

In het ontwerp van de kadewand is ruimte gemaakt voor een kunststof grijpsteen op NAP-0.340 m waar drenkelingen zich langs kunnen begeven naar een ladder die vlak naast de bruggen gelegen zijn. Tussen de kademuur en de boombak is een ruimte van 0,50 m vrijgehouden om kabels en leidingen in te verwerken die nodig zijn bij het aanleggen van onder andere laadpalen. Het detail is te vinden in de ontwerptekening, Detail: Boombak. In het ontwerp moet de kademuur worden voorzien van doorvoeren die nodig zijn voor verschillende thema's met het afvoeren van drainage en hemelwater, Zie ontwerptekening, Doorsnedes nieuwe situatie.

## Deelvraag ontwerp 2: Thema: Energietransitie

- Hoe ziet het ontwerp van de nieuwe warmtevoorziening eruit langs de Keizersgracht om in de toekomst energieneutraal te zijn?

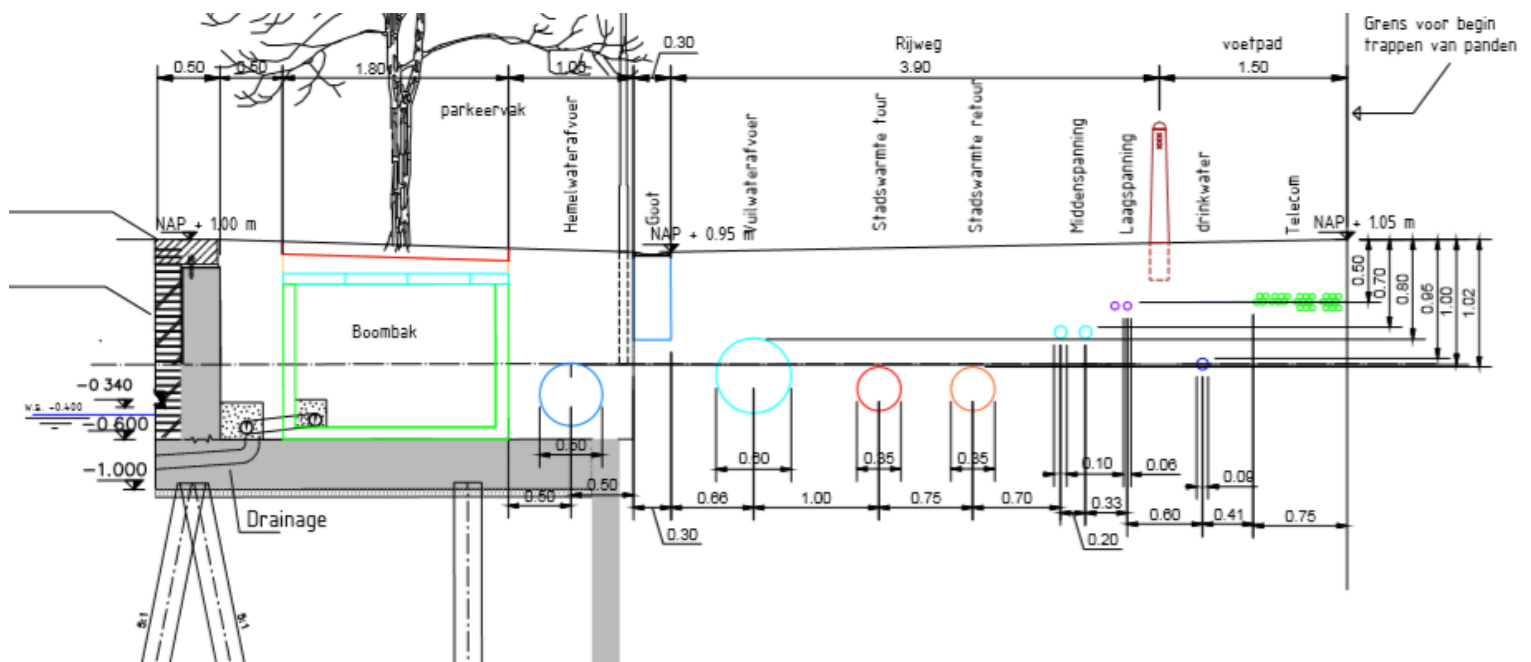
### Ontwerp duurzame energiesysteem langs de Keizersgracht

Uit het onderzoek naar welk duurzame energiesysteem het beste past langs de Keizersgracht is naar voren gekomen dat zowel stadswarmte als een monobron in combinatie met een oppervlaktewatersysteem toepasbaar zijn aan de Keizersgracht. Welk systeem wordt toegepast wordt bepaald door het wel of niet isoleren van de panden.

Voor beide systemen is een ontwerp gemaakt aan de Keizersgracht en zijn te zien in de definitieve tekening van de nieuwe indeling van de Keizersgracht.

### Stadswarmte

In het ontwerp van de stadswarmtenetwerk is een buisdiameter gekozen van 0,35 m. De diameter is gekozen omdat dit voor het te verwarmen oppervlakte in het gebied een vaak gebruikte diameter is. De stadswarmteleidingen moeten op een minimale afstand van elkaar liggen, namelijk: minimaal 0,40 m van elkaar (h.o.h.<sup>3</sup> 0,75 m), evenwijdig aan andere kabels en leidingen minimaal 0,70 m h.o.h., minimaal 1,0 m h.o.h. van een drinkwaterleiding en een minimale dekking van 0,70 m. (Leidraad kabels en leidingen) Door deze afstand maten zijn een aantal bestaande netwerken genoodzaakt op de schuiven. Zo zijn de drinkwaterleiding en bestaande riolering verplaatst om stadswarmte in te kunnen passen.



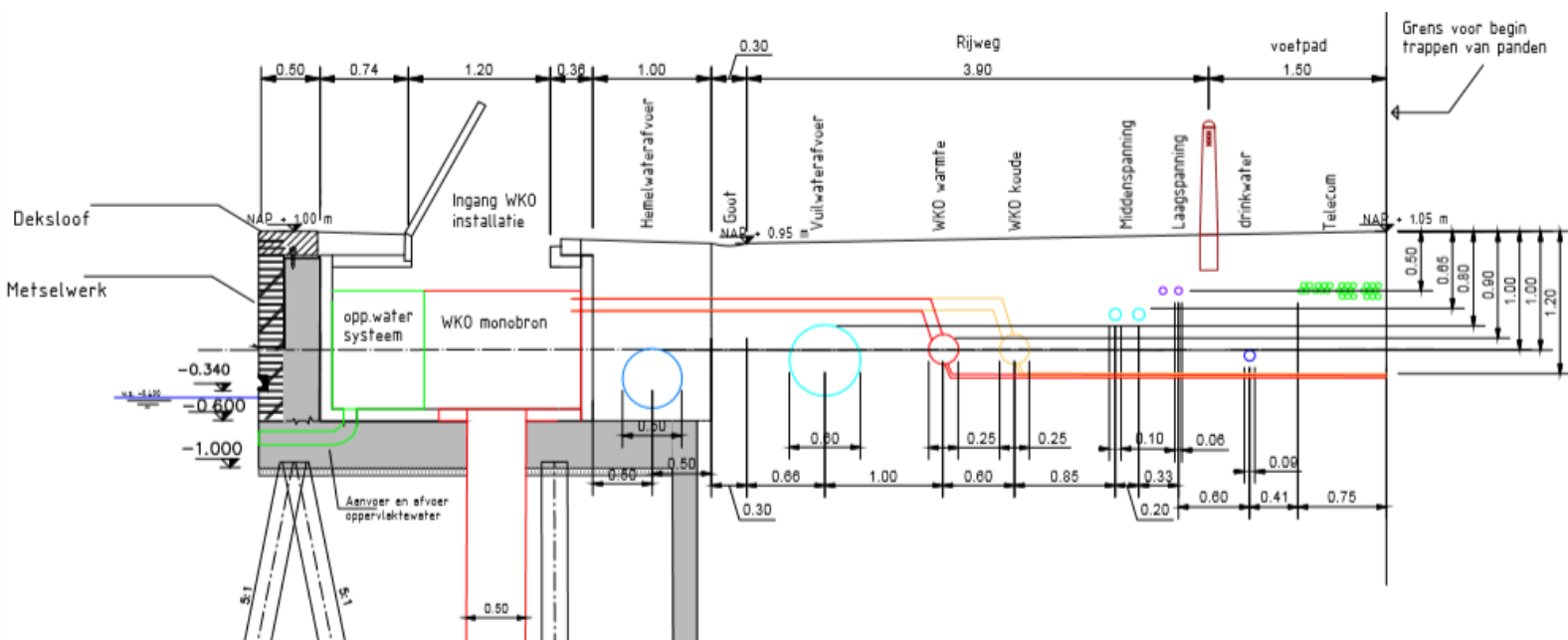
Figuur 69: Doorsnede A-A': Nieuwe indeling Keizersgracht met stadswarmte

<sup>3</sup> H.o.h. : Hart op hart, afstand tussen het hart van de ene leiding met die van de andere leiding.

### Monobron met oppervlaktewatersysteem.

De keuze voor een monobron in combinatie met een oppervlaktewatersysteem is in het ontwerp van de nieuwe kademuur opgenomen. In het ontwerp zijn de twee installaties ondergronds ingepast langs de kademuur tussen de boombakken in (Zie Doorsnede: nieuwe situatie WKO put). Hierdoor kan het oppervlaktewatersysteem dicht bij het water staan en hoeft de WKO put niet tussen de andere kabels en leidingen geplaatst te worden. In de ontwerptekening: Doorsnede WKO put is te zien dat de boring door de funderingsplaat van de kademuur geboord wordt. Vanuit de WKO put gaan een warmte en koude leiding richting een de transportleidingen evenwijdig aan de panden. Aan deze leidingen zijn de huisaansluitingen bevestigd die de warmtepompen in de panden van warm of koud water voorzien.

De diameters van de warmte en koude leidingen zijn 250mm en liggen h.o.h. 0,60 m uit elkaar. Net als bij stadswarmte hebben het bestaande gemende rioolstelsel en de drinkwaterleiding ruimte moeten maken voor de WKO leidingen. De warmte en koude leidingen worden gevoed uit de WKO put en kruisen bovenlangs de hemelwaterafvoer en de vuilwaterafvoer.



Figuur 70: Doorsnede B-B': Nieuwe situatie monobron WKO installatie met Oppervlaktewatersysteem

### Deelvraag ontwerp 3: Thema: Het weer

- Hoe ziet het ontwerp van het nieuwe rioelstelsel eruit langs de Keizersgracht die de toekomstige piekafvoeren het beste kan verwerken langs de Keizersgracht?

### Ontwerp nieuw rioelstelsel

Het nieuwe rioelstelsel wordt een gescheiden stelsel van vuilwaterafvoer en hemelwaterafvoer.

Het nieuwe hemelwaterafvoer systeem is een toevoeging aan de huidige ondergrondse infrastructuur. Zoals te zien is in de doorsnede: 'Nieuwe situaties' van het definitieve ontwerp van de kademuur en de inpassing van de nieuwe systemen is een hemelwaterleiding aangebracht boven de fundering van de kademuur naast de boombakken op een diepte van 1,00 m (bovenkant, buis) Figuur 72. Deze locatie is gekozen omdat de leiding dicht bij de kolken ligt, dicht bij het oppervlaktewater is en de uitstromingen naar het oppervlaktewater geen andere kabels en leidingen hoeft te kruisen.

De diameter van de verzamelleiding is 500 mm. Deze diameter is gekomen uit een berekening voor de afvoer van een maatgevende bui van 120 L/s/ha voor een oppervlakte van 0,62 ha. Dit oppervlak is de verharding langs één rak en het dakoppervlak van de panden langs het rak van de Keizersgracht. Uit de berekening volgt dat er een afvoer van 74,4 l/s door het rioel stroomt en uit Figuur 71 komt naar voren dat een 500 mm rioel tot een verhang van 1:2000 voldoet om dit water af te voeren. De hemelwaterafvoer op de funderingsplaat heeft de ruimte om iets in verhang aangebracht te worden. De straatkolken hebben een breedte van 0,30 m en zijn voorzien van een rooster om grof straatvuil tegen te houden. De kolken bevinden zich schuin boven de verzamelleiding en zijn alleen aangebracht in de goot tussen de rijweg en de parkeervakken.

F2/16

Tabel 6.6 Afvoer  $Q$  [l/s] en snelheid  $v$  [m/s] voor geheel gevulde ronde buizen bij verschillende verhangen ( $k = 1,5$  mm)

middellijn [m]	1:100		1:200		1:300		1:400		1:500		1:750		1:1000		1:1500		1:2000	
	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$	$Q$	$v$
120	9,5	0,77	6,7	0,54	5,4	0,44	4,7	0,38	4,2	0,34	3,4	0,28	2,9	0,24				
150	15,5	0,87	10,9	0,62	8,9	0,50	7,7	0,43	6,8	0,39	5,6	0,32	4,8	0,27				
200	33,3	1,06	23,5	0,75	19,1	0,61	16,6	0,53	14,8	0,47	12,0	0,38	10,4	0,33	8,5	0,27	7,3	0,23
250	60,3	1,23	42,6	0,87	34,7	0,71	30,0	0,61	26,8	0,55	21,8	0,44	18,9	0,38	15,3	0,31	13,2	0,27
300	98,0	1,39	69,1	0,98	56,4	0,80	48,7	0,69	43,5	0,62	35,5	0,50	30,7	0,43	25,0	0,35	21,5	0,30
400	210	0,67	148	1,18	121	0,96	105	0,83	93,5	0,74	76,2	0,61	65,8	0,52	53,6	0,43	46,3	0,37
500	379	1,93	268	1,36	218	1,11	189	0,96	169	0,86	138	0,70	119	0,61	96,9	0,49	83,2	0,43
600	613	2,17	433	1,53	353	1,25	306	1,08	273	0,97	223	0,79	193	0,68	157	0,56	136	0,48
700	921	2,39	651	1,69	531	1,38	459	1,19	410	1,07	335	0,87	289	0,75	236	0,61	204	0,53
800	1309	2,60	925	1,84	755	1,50	653	1,30	584	1,16	476	0,95	412	0,82	336	0,67	290	0,58
900	1785	2,81	1261	1,98	1029	1,62	890	1,40	796	1,25	649	1,02	562	0,88	458	0,72	396	0,62
1000	2355	3,00	1664	2,12	1358	1,73	1175	1,50	1050	1,34	857	1,09	751	0,94	604	0,77	523	0,67
1200	3803	3,36	2687	2,38	2193	1,94	1898	1,68	1697	1,50	1384	1,22	1197	1,06	976	0,86	845	0,75
1400	5700	3,70	4028	2,62	3287	2,14	2845	1,85	2543	1,65	2075	1,35	1795	1,17	1464	0,95	1267	0,82
1600	8091	4,02	5717	2,84	4666	2,32	4039	2,01	3611	1,80	2946	1,47	2549	1,27	2079	1,03	1799	0,89
1800	11017	4,33	7785	3,06	6353	2,50	5500	2,16	4917	1,93	4012	1,58	3472	1,36	2832	1,11	2450	0,96
2000	14519	4,62	10260	3,27	8373	2,67	7248	2,31	6481	2,06	5288	1,68	4576	1,46	3733	1,19	3230	1,03

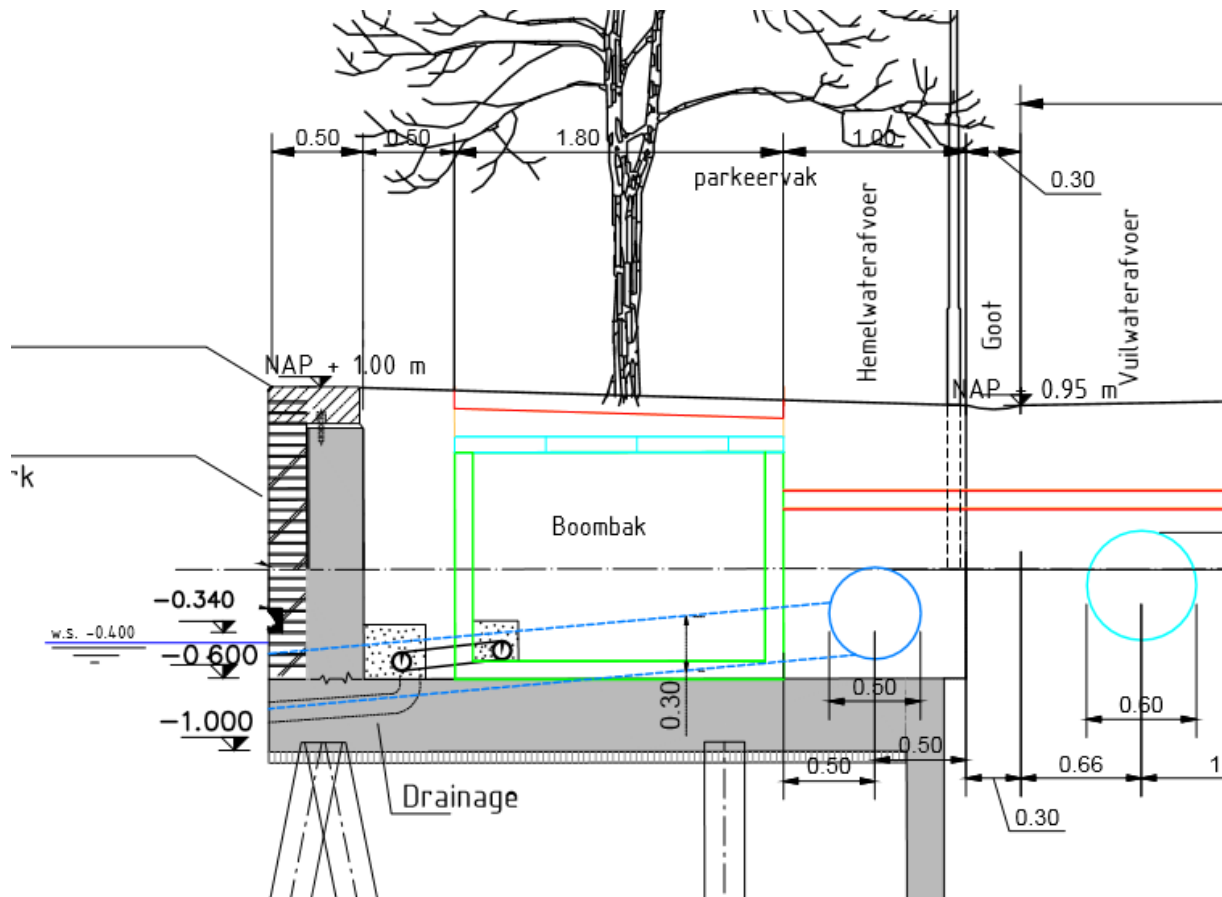
Figuur 71: : Hemelwaterafvoer diameter bepalen bij maatgevende afvoer van 74,4 l/s

De afvoer vanaf de verzamelleiding naar het oppervlaktewater zal niet door de boombakken maar tussen boombakken door gaan. De reden hiervoor is dat de diameter van de leiding (300mm) niet door de constructie van de boombak past zo dicht op de fundering van de kademuur. In totaal zullen er drie afvoerleidingen aangelegd worden. De verzamelleiding heeft een diameter van 500mm met een doorsnede oppervlakte van 0,20 m<sup>2</sup>. De afvoerleidingen moeten samen minimaal dit oppervlakte hebben. Drie afvoerleidingen met een diameter van 300 mm hebben een totale oppervlakte van 0,21



m<sup>2</sup>. Omdat de hemelwaterafvoer verzamelleiding grootendeels boven het waterpeil aangelegd wordt kan het oppervlaktewater niet helemaal in de leiding blijven staan. De afvoeren zullen onder afschot door de kademuur heen onder het waterpeil uitstromen. In Figuur 72 is te zien dat de afvoer vanuit de hemelwaterafvoer leiding door de kademuur heen naar het oppervlaktewater afstroomt. De drainage in de boombak en in de strook tussen boombak en kadewand is niet aanwezig op de plek waar de afvoerleiding de kademuur kruist.

De bestaande rioolleiding met een diameter van 600 mm zal in het nieuwe ontwerp gaan dienen als vuilwaterafvoer. Het netwerk is al aangesloten om het RWZI. De leiding hoeft niet vergroot te worden omdat de piekafvoer afneemt door het wegvallen van het hemelwater.



Figuur 72: Nieuw rioelstelsel Keizersgracht

#### **Deelvraag ontwerp 4: Thema: Emissievrij Amsterdam**

- Hoe ziet de indeling van het toekomstige elektriciteitsnetwerk eruit na transitie van de Keizersgracht?

##### **Ontwerp elektriciteitsnetwerk**

In het ontwerp van het elektriciteitsnetwerk langs de Keizersgracht zijn in de bestaande situatie twee middenspanningskabels aanwezig en twee laagspanningskabels. Uit onderzoek blijkt dat het netwerk de toekomstige elektriciteit vraag na transitie van de stad aan kan en er in de toekomst geen extra kabels toegevoegd hoeven te worden. De ondergrond zal dus niet voller raken door het elektriciteitsnetwerk. De kabels moeten wel iets verlegd worden om een beter inpassing te krijgen in de ondergrond voor de andere netwerken.

In de doorsnedes van de nieuwe situatie in de ontwerptekening uit de bijlage zijn het aantal midden en laagspanningskabel niet veranderd. In de doorsnede is te zien dat de kabels een dekking hebben van 0,50 m en liggen minder diep als de andere kabels en leidingen. Daardoor is het eenvoudiger om dit netwerk in de toekomst aan te passen of aansluitingen te maken.

Uit het onderzoek komt naar voren dat er in de toekomst meer elektrisch gereden gaat worden. Het aantal laadpalen zal toenemen waardoor er kabels naar de laadpalen nodig zijn. De laadpalen zullen langs de kademuur staan. In het nieuwe ontwerp van de kademuur is rekening gehouden met het feit dat kabels naar de kademuur moeten. Tussen de kademuur en boombak in een strook grond van 0,50 m breed vrijgehouden voor een elektriciteitskabel die naar de laadpaal kan. De kabel zal door een vooraf ingebouwde doorvoer door de boombak ongestoord in de strook grond kunnen komen zonder enige last van wortels. In de ontwerptekening in de bijlage, in het detail van de boombak is te zien hoe de doorvoer door de boombak aangebracht is zodat kabels en leidingen ongestoord naar de kademuur aangelegd kunnen worden.

#### **Deelvraag ontwerp 5: Thema: modernisering**

- Hoe ziet de indeling van het toekomstige telecommunicatienetwerk eruit na transitie van de Keizersgracht?

##### **Ontwerp telecommunicatie netwerk**

In het ontwerp van de huidige situatie is voor elk van de 12 netbeheerders een datatransport verzamelbuis ingetekend onder het voetpad. De buizen liggen naast elkaar en tussen sommige bundels buizen is een tussenruimte genomen. De buizen zijn voor netbeheerder goed te bereiken. De dekking van de bundels is 0,50 m en ze liggen alleen in het voetpad. De buizen moeten allemaal gemerkt worden zodat iedere netbeheerder weet welke buizen van hun zijn. De buizen redelijk goed aan de kant te leggen op het moment dat je een buis nodig hebt die onderop ligt. De diameter van de buizen zijn 50 mm en kunnen maximaal 4 kabels bevatten. Iedere getekende buis in de tekening kan 4 datakabels bevatten.

In de nieuwe ontwerpen van de inpassing van de kabels en leidingen in de ondergrond zijn het aantal buizen verdubbeld en per netbeheerder netjes bij elkaar gerangschikt. Ook zijn de buizen dichter tegen elkaar komen te liggen waardoor de totale benodigde breedte ondergronds afneemt en er meer ruimte beschikbaar is voor ander kabels en leidingen.

De ligging van de datakabels zijn weergegeven in de ontwerptekening in de bijlage.

### Deelvraag ontwerp 6: Thema: Leefbaarheid

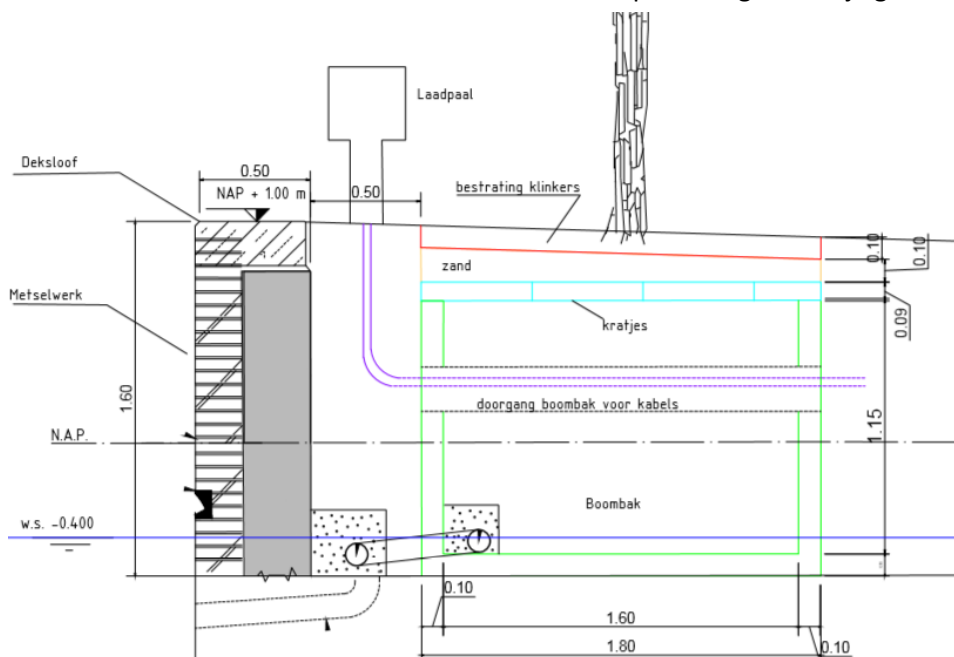
- Hoe komt het ontwerp van de nieuwe groenvoorziening eruit te zien en hoe wordt dit verwerkt langs de Keizersgracht?
- Hoe komt het nieuwe ontwerp van de parkeerindeling eruit te zien langs de Keizersgracht na de transitie naar een autoluwere binnenstad?

#### **Ontwerp groenvoorziening langs de Keizersgracht**

In het ontwerp van de nieuwe kademuren in Amsterdam langs de Keizersgracht wordt het thema leefbaarheid verbeterd door het behouden en plaatsten van de bomen. Bij het vernieuwen van de kademuren staan de bomen enigszins in de weg. Van alle bomen die nu aanwezig zijn, zal 50% gekapt worden, 40% herplaatst worden en 10% blijft staan (Kaljee, 2019). Van de 10% zal de helft de bouwwerkzaamheden waarschijnlijk niet overleven. Om te zorgen dat de wortels van de nieuwe bomen de ondergrondse infrastructuur in de weg zit wordt in het toekomstige ontwerp ondergrondse boombakken ontworpen waar de bomen hun wortels in kunnen laten groeien zonder omliggende kabels en leidingen in de weg te zitten. Deze boombakken zullen 0,50 m achter de kademuur evenwijdig aan de gracht aangelegd worden en zullen per boom minimaal 25m<sup>3</sup> aan wortelruimte nodig hebben. De boombakken zullen bestaan uit beton en worden gevuld met speciale boomgrond en drainage. De minimale afmetingen die een boombak zal hebben is: 1,4m bij 1,60m bij 1,15m (25,76 m<sup>3</sup> – l x b x h). Dit zijn de minimale afmetingen waardoor de bomen een minimale leeftijd van 120 jaar moeten kunnen halen. De boombak zorgt er ook voor dat de wortels andere kabels en leidingen niet kunnen beschadigen. Door de boombakken is de negatieve invloed van strooizout en andere chemische stoffen veel kleiner. In de boombakken worden doorgangen gemaakt vanaf de straat naar de kademuur om kabels en leidingen ruimte te geven om door de boombakken heen te gaan. De wortels kunnen hier gewoon omheen groeien.

Bovenop de speciale boomgrond wordt een constructie aangebracht van kratjes en dekzand om het maaiveld te beschermen tegen opgroeiende wortels. De straatklinkers blijven liggen zoals het hoort, waardoor de afwatering over het maaiveld niet verstoort wordt. Rondom de stam wordt ruimte gehouden voor de stam om te kunnen groeien.

Het detail van de boombak is te vinden in de ontwerptekening in de bijlage.



Figuur 73: Detail boombak achter kademuur (Bron: Ontwerptekening)

### **Invulling parkeerprobleem.**

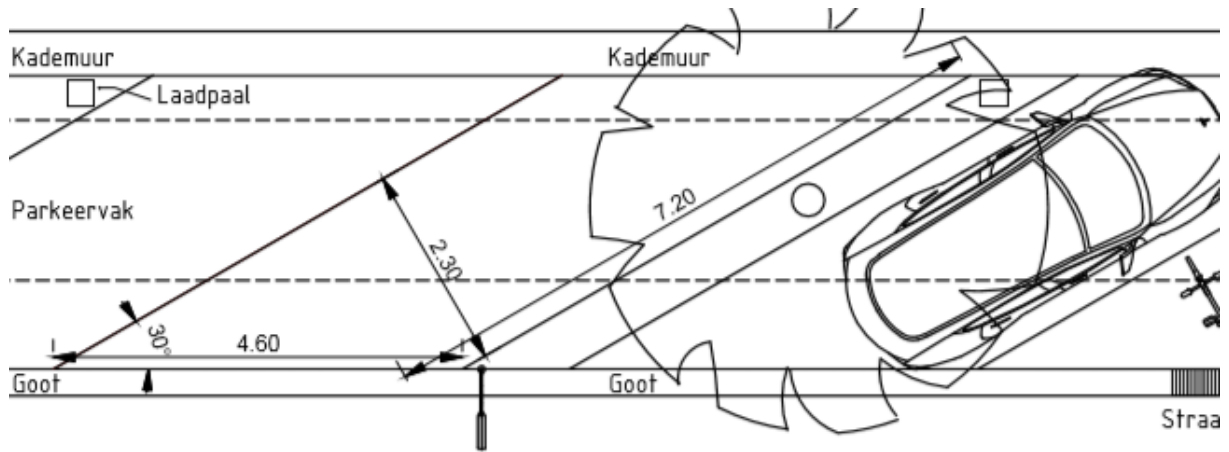
De gemeente Amsterdam wil het aantal auto's in de stad verminderen om de drukte tegen te gaan. Door het voor automobilisten moeilijker te maken de stad in te komen of daar te verblijven verwachten ze minder auto's in de stad. Door het parkeren in de stad onaantrekkelijk te maken zullen minder mensen besluiten om met de auto te komen. De manieren waarmee dat mogelijk gemaakt kan worden zijn naast het verminderen van het aantal parkeerplekken ook het parkeertarief verhogen en de afgifte van parkeervergunningen verminderen. In extremere plannen worden de parkeerplekken helemaal weggehaald voor de auto's.

Het verhogen van het parkeertarief in de Amsterdamse binnenstad is een middel om het parkeren te ontmoedigen. De kosten voor een uur parkeren in de binnenstad was 5 euro per uur en in april 2019 zijn deze verhoogd naar €7,50 per uur. Het verhogen van de parkeertarieven heeft als effect dat men het te duur vindt om te parkeren en daarom op een andere manier naar de stad toe komen. Daarentegen zijn er altijd mensen die bereid zijn dat bedrag te betalen waardoor het moeilijk te zeggen is of het echt rustiger is geworden bij het parkeren. Grachtbewoner Nic Frederiks kan zeggen dat door de verhoging van de parkeertarieven vrienden en kennissen niet meer met de auto komen, maar met openbaar vervoer. Voorheen waren zij bereid 5 euro per uur te betalen maar wordt het nu te duur (Frederiks, 2019).

Een ander middel om het aantal parkerende auto's langs de grachtengordel te verminderen is door de parkeerplekken alleen voor vergunningshouders beschikbaar te maken. Hierdoor kunnen alleen bewoners en werknemers van plaatselijke bedrijven parkeren. Om in de toekomst nog minder auto's te laten parkeren langs de grachten kan de afgifte van nieuwe vergunningen verminderd verlaagd worden.

### **Ontwerp nieuwe parkeerindeling**

In het ontwerp van de nieuwe parkeerindeling langs de Keizersgracht is gekozen voor een vermindering van het aantal parkeerplekken door het herinrichten van de parkeervakken Figuur 74. In het bestaande ontwerp zijn de parkeervakken ingericht onder een hoek van 45°. In het nieuwe ontwerp gaan de auto's onder een hoek van 30° parkeren. Door de krappere hoek zijn er over de lengte van de gracht minder parkeerplekken beschikbaar. Door de vermindering van het aantal parkeerplekken is het onaantrekkelijker geworden om met je auto de stad in te gaan. Hierdoor wordt het rustiger op straat. De lengte van de parkeervakken wordt langer waardoor auto's niet meer met hun achterkant op de rijweg hoeven te staan. De breedte van de parkeervakken is 2,30 m. De afmetingen van de parkeervakken zijn te zien in Figuur 74 de ontwerptekening, het bovenaanzicht: Nieuw straatbeeld Keizersgracht (De afmetingen zijn opgesteld volgens de CROW. (CROW, 2004)



Rijweg



Figuur 74: Bovenaanzicht indeling parkeervak langs de Keizersgracht (Bron: ontwerp-tekening bijlage)

### Deelvraag ontwerp 7: Nieuw straatbeeld Keizersgracht

- Hoe komt het straatbeeld eruit te zien van de Keizersgracht met de invulling van de ontwerpen komend uit de thema's zonder het kenmerkende straatbeeld ingrijpend te veranderen?

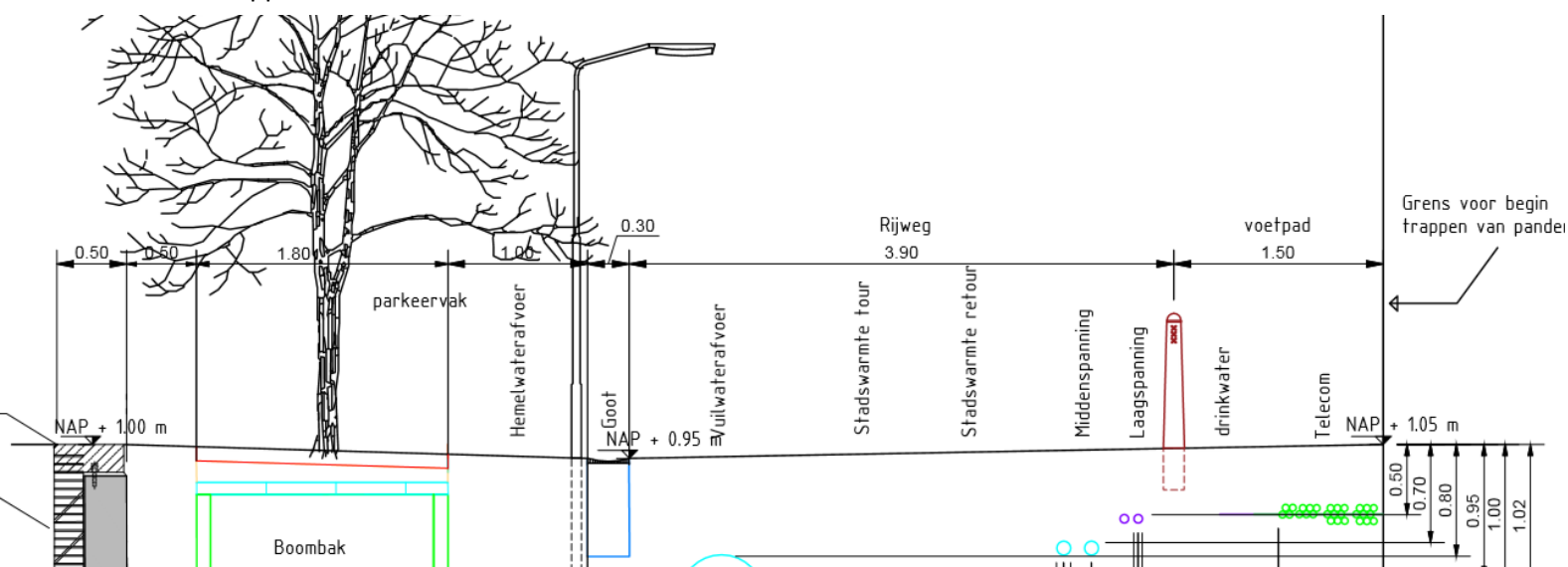
Het straatbeeld van de Keizersgracht mag wat het uiterlijk betreft nauwelijks veranderen. Dit komt door de UNESCO werelderfgoed en de monumentale status van veel panden langs gracht. In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar het nieuwe straatbeeld van de Keizersgracht na het vervangen van de kademuur en de inpassing van de kabels en leidingen na de transitie van de stad. Veel veranderingen zijn ondergronds maar een aantal veranderingen zijn bovengronds zichtbaar.

In het straatbeeld zal veel hetzelfde blijven maar een aantal onderdelen in het straatbeeld gaan iets veranderen. Het nieuwe straatprofiel en het gebruik van een open WKO-systeem zullen het uiterlijk iets veranderen.

#### Straatprofiel

Het straatprofiel van de Keizersgracht wordt iets aangepast. In plaats van een dak-profiel in de huidige rijweg wordt de straat en daarbij ook de stoep op één oor gelegd. Het maaiveld aan de gevel is niet veranderd en blijft op NAP +1.05 m liggen. De stoep en rijweg lopen af tot de goot naar NAP +0.95 m. Dat betekent dat de straat en stoep een helling hebben van 1:50 naar de goot tussen de rijweg en de parkeervakken. Ook de parkeervakken lopen iets af richting de goot. De hoogte van het maaiveld bij de kademuur ligt op NAP +1,00 m en loopt over de parkeervakken af tot de goot. De helling hier is 0,05 m verval op 2,30 m lengte, ook ongeveer 1:50. De hoogte van het maaiveld aan de gevel is 0,05 m hoger als dat van de kademuur zodat er bij een overstroming het water altijd in het oppervlaktewater zal stromen voordat het de panden in kan stromen. Zie ontwerptekening, Doorsnedes: nieuwe situatie.

Door de straat op één oor leggen is er maar één goot nodig waar straatkolken in hoeven te liggen en kan de hemelwaterafvoer aan één kant van de straat aangelegd worden. Het aantal afvoeren van de kolken naar de verzamelleiding is hierdoor gehalveerd en is er meer ruimte voor andere ondergrondse infrastructuur. Het is hierdoor ook niet meer mogelijk dat het water over de kademuur het oppervlaktewater in stroomt.



Figuur 75: Nieuw straatprofiel Keizersgracht

De straatbekleding zal niet veranderen, de klinkers in het voetpad zullen halfsteens haaks op de loopprijsing blijven en de straat en parkeervakken behouden hun keperverband ligging. In de goot komen de klinkers in een strekse laag te liggen, de reden hiervoor is dat de goot beter aangelegd kan worden.

### Verwerking duurzame energiesystemen

De energietransitie van de stad zal niet al teveel invloed hebben in het straatbeeld langs de Keizersgracht. Wordt er gekozen voor het gebruik van stadswarmte zal er niets te zien zijn aan de oppervlakte. Er zijn geen inspectieputten of andere installaties zichtbaar. De leidingen moeten ondergronds aangelegd worden en zullen nergens bovengronds komen. De installaties staan binnen in de panden en zijn niet zichtbaar vanaf buiten.

Bij een open WKO-systeem is dit net even anders. Omdat een open systeem meerdere panden tegelijk voorziet van energie heeft het een pomp nodig recht boven de geboorde buis. Deze pomp moet verwerkt worden in een put. Omdat er alleen in straat ruimte is voor een open systeem moet de put weggewerkt worden in het straatbeeld. De deksel zal gelijk komen te liggen met het maaiveld en de bovenkant van de deksel zal bekleed worden met dezelfde stenen als het maaiveld eromheen Figuur 76. Op deze manier zal de putdeksel minimaal zichtbaar zijn in het straatbeeld. De grootte van de deksel zal rond de 1,5 bij 1,5 meter zijn.



Figuur 76: Putdeksel verscholen in maaiveld.

### Andere objecten in het straatbeeld

Andere objecten die in het straatbeeld te zien blijven zijn de straatlantaarns en Amsterdammertjes. De straatlantaarns zullen behouden blijven maar moeten wel verplaatst worden om ruimte te maken voor de boombakken en parkeervakken. In het bestaande beeld staan de lantaarnpalen middenin tussen de parkeervakken en zullen in het nieuwe ontwerp meer naar de straat verplaatst worden. De Amsterdammertjes zullen behouden blijven omdat deze behoren bij het grachtenbeeld langs een groot deel van de Keizersgracht. Alleen op de gedeeltes waar de paaltjes staan komen ze terug. Tijdens de werkzaamheden zullen ze eruit gehaald worden waarna ze weer terug geplaatst worden.

Een toevoeging aan het straatbeeld zijn de extra laadpalen langs de kadewand. Omdat de gemeente in 2030 emissievrij wil zijn zullen er in de toekomst meer laadpunten aangebracht moeten worden. De laadpalen zullen per 2 parkeervakken aan de voorkant komen langs de kade.

De indeling van het nieuwe straatbeeld van de Keizersgracht is te zien in de ontwerptekening: Boven-aanzicht: 'Nieuw straatbeeld Keizersgracht' in de bijlage.

#### 4.2.1 Conclusie ontwerpen van de thema's

De ontwerpen die zijn voortgekomen uit de ontwerpfase van de onderwerpen die behoren bij de thema's, geven een oplossing voor de problemen die binnen de thema's naar voren zijn gekomen tijdens dit afstudeeronderzoek. In het vervolg van dit hoofdstuk worden de problemen binnen de thema's en de ontwerpen die een oplossing bieden voor die problemen nog eens kort op een rijtje gezet.

##### **Bezwijken kademuur:**

Ontwerp:

- Betonnen funderingsplaat met betonnen funderingspalen en een betonnen kadewand kern met gemetselde schil en deksloof.

##### **Energietransitie:**

Ontwerp:

- Installatie van een duurzame WKO-systeem in combinatie met een oppervlaktewatersysteem.
- Of stadswarmte netwerk aanleggen

##### **Het weer: klimaatverandering**

Ontwerp:

- Van gemengd stelsel naar gescheiden stelsel
- Nieuw hemelwaterafvoer aanleggen
- Straatprofiel op één oor leggen naar goot tussen rijweg en parkeervakken zodat er geen water over de kademuur het oppervlaktewater in stroomt

##### **Emissievrij Amsterdam**

Probleem:

- Gemeente Amsterdam wil in 2030 alleen maar emissievrije voertuigen in de stad hebben waardoor elektriciteit verbruik stijgt.
- Meer laadpunten toevoegen in straatbeeld

Oplossing in ontwerp

- Bestaande elektriciteitsnetwerk kan toekomstige stroomvraag aan
- Extra kabels vanaf hoofdnet naar laadpunten langs de kademuur

##### **Leefbaarheid in Amsterdam**

Probleem:

- Groenvoorziening langs de Keizersgracht moet blijven zoals het nu is
- Bomen langs de Keizersgracht leven niet langer dan 40 jaar
- Te veel verkeer langs de Keizersgracht
- De Keizersgracht oogt te druk kijkend naar geparkeerde auto's

Oplossing in ontwerp

- Speciale boombakken die wortelruimte creëren waar bomen goed in kunnen groeien en de leeftijd van de bomen verlengen en waardoor andere kabels en leidingen geen last van wortels hebben.



- Herinrichting van parkeervakken naar gestoken parkeren onder een hoek van 30° waardoor er minder parkeerplekken zijn.

### **Modernisering**

Probleem:

- Verdubbeling van het aantal telecomkabels door digitaal leven zorgt voor een toename in kabels waardoor het drukker wordt in de ondergrond

Oplossing in ontwerp

- Rangschikken telecombuizen in gelabelde bundel per beheerder.

### **Nieuw straatbeeld Keizersgracht:**

Probleem:

- Inpassing van de ontwerpen binnen de thema's hebben invloed op het uiterlijk van het straatbeeld terwijl hier weinig aan verandert mag worden.

Oplossing in ontwerp

- WKO putdeksel wordt bekleed als omliggende bestrating en wordt in het maaiveld aangelegd.
- Straatprofiel wordt op één oor gelegd met een helling van 1:50 om hemelwater af te kunnen voeren en zo min mogelijk aan het straatbeeld te veranderen.

De ontwerpen die in de ontwerpfase van dit onderzoeksrapport gemaakt zijn bieden oplossingen binnen de thema's zelf. Maar waar het om gaat in dit afstudeeronderzoek is of al deze oplossingen voor de verschillende thema's samen toepasbaar zijn in de ondergrond achter de kademuur langs de Keizersgracht. Om die vraag te kunnen beantwoorden moeten alle ontwerpen samengevoegd worden in een integraal ontwerp van de vernieuwing van de kademuur in de Keizersgracht met inpassing van de ontwerpen komend uit de thema's die volgen uit de transitie van Amsterdam naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad.

### 4.3 Integrale ontwerpen

#### **Definitieve integralen ontwerpen nieuwe kademuur Amsterdam**

Nu alle ontwerpen van de thema's en de bijbehorende onderdelen besproken en beschreven zijn, moeten alle ontwerpen samen in een integraal ontwerp ingepast worden. Met het ontwerp van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht samen met de inpassing van de transitie van Amsterdam naar een schonere, duurzamere en leefbaardere stad, moet de hoofdvraag beantwoord kunnen worden.

De definitieve ontwerptekening bestaat uit de integralen ontwerpen van de nieuwe indeling van de Keizersgracht. In plaats van één integraal ontwerp worden er twee definitieve integralen ontwerpen laten zien in de ontwerptekening. Het verschil in de twee toekomstige ontwerpen is de invulling van het thema energietransitie. Omdat er geen besluit genomen kan worden of de panden langs de Keizersgracht geïsoleerd moeten worden, zijn beide duurzame energiesystemen in een definitief ontwerp voor de inpassing van de transitie uitgewerkt.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt de bestaande kademuur en de invulling van de aanwezige kabels en leidingen weergegeven. Aan dit ontwerp is het nieuwe ontwerp van de kademuur en die van de inpassing van de toekomstige kabels en leidingen toegevoegd. Er zijn twee integrale ontwerpen beschikbaar die een oplossing zijn voor het beantwoorden van de hoofdvraag. Eén met de inpassing van een WKO systeem en één met inpassing van stadswarmte.

De volgende doorsnedes en bovenaanzichten zijn weergegeven op de ontwerptekening in de bijlage:

- Doorsnede huidige kademuur met de indeling van kabels en leidingen.
- Doorsnede nieuw kademuur met de indeling van kabels en leidingen met een monobron WKO, in combinatie met een oppervlaktewatersysteem.
- Doorsnede nieuwe kademuur met indeling van stadswarmte en kabels en leidingen.
- Doorsnede nieuwe situatie WKO put
- Doorsnede detail van de boombak achter de kademuur
- Boven-aanzicht van het straatbeeld bij nieuwe indeling Keizersgracht met WKO bron
- Boven-aanzicht kabels en leidingen in de ondergrond situatie Stadswarmte
- Boven-aanzicht kabels en leidingen in de ondergrond situatie WKO

De definitieve integrale ontwerpen zijn gemaakt in Autocad en te vinden zijn in de ontwerptekening in de bijlage. Aan te raden is de uitgeprinte ontwerptekeningen achterin de bijlage naast de beschrijvingen van de integralen ontwerpen te houden om een beter beeld te krijgen van het ontwerp.

#### **Doorsnede bestaande kademuur Keizersgracht**

In doorsnede: Bestaande situatie Keizersgracht is de huidige kademuur weergegeven met de indeling van de ondergrondse infrastructuur aan de Keizersgracht te Amsterdam. In de doorsnede zijn alle aanwezige kabels en leidingen aangegeven zoals die uit het oriëntatieverzoek van het kadaster en tekeningen van Waternet en Liander zijn weergegeven.

De kademuur bestaat uit een houten funderingsplaat met daaronder vier verticale funderingsplaten. De kadewand is opgebouwd uit een opgemetselde stenen wand met daarbovenop een betonnen deksloof. De bovenkant van de deksloof is variabel over de lengte van de gracht. Gemiddeld is die hoogte op NAP + 1,00 m. Achter de kademuur staan bomen. De bomen kunnen tot aan de gevels hun wortels laten groeien omdat deze niet tegen gehouden worden. De wortels komen in conflict met de

ondergrondse infrastructuur. In de doorsnede zijn 12 telecom verzamelbuizen weergegeven, 2x middenspanningskabel, 2x Laagspanningskabels, 1x gasleiding, 1x drinkwaterleiding en 1x een gemengde riolering.

Zoals te zien is, is het maaiveld niet helemaal vlak. Op 1.5 en 5.5 meter van de gevel is een kleine goot zichtbaar waarin het hemelwater zich verzameld vanaf stoep, parkeerplaatsen en straat. Omdat er nauwelijks straatkolken aanwezig zijn, blijft het water op straat liggen en op veel stukken stroomt het water over maaiveld het oppervlaktewater in omdat het maaiveld door zwaar verkeer is verzakt.

In de echte situatie liggen de kabels en leidingen niet zo netjes naast elkaar. Uit het oriëntatieverzoek kwam niet duidelijk naar voren op welke diepte en op welke locatie ze precies liggen, alleen een streep op een tekening met weinig informatie daaraan vast. Daarbij komt dat bijvoorbeeld Waternet ook niet precies weet wat er in de ondergrond ligt en dat ze vaak problemen hebben met graafwerkzaamheden omdat er kabels liggen die niet bekend zijn.

### **Integraal ontwerp duurzaam energiesysteem - Stadswarmte**

In de doorsnede A-A': Nieuwe situatie stadswarmte is de nieuwe kademuur weergegeven met daarachter het stadswarmtenet en de toekomstige kabels en leidingen ingepast. In de doorsnede is te zien dat de stadswarmte bestaat uit een tour- en retourleiding. Beide leidingen hebben een diameter van 350 mm en moeten volgens de eisen minimaal 1 m h.o.h. van andere leidingen afliggen en minimaal 0,70 m h.o.h. van kabels. In de huidige situatie had het stadswarmtenet niet gepast omdat de stadswarmte te dicht bij de drinkwaterleiding en het gemengde riool zou komen te liggen. In de nieuwe tekening zijn de drinkwaterleiding en gemengde riool verplaatst om ruimte te creëren. Alsnog zijn de minimale afstanden aangenomen omdat stadswarmte anders niet zou passen.

Het stadswarmtenet bestaat zoals de naam al zegt alleen maar uit stadswarmte. Met de toenemende temperaturen door klimaatverandering wordt de vraag naar koude steeds groter. Een stadskoudenet wordt op sommige plekken in de stad al toegepast zoals in de Zuid as. Een stadskoudenet toevoegen aan de Keizersgracht is in de ondergrond niet mogelijk. De benodigde diameters van de leidingen in het stadskoudenet zijn bijna 2 keer zo groot als het warmtenet. Dat komt omdat de delta T in koude kleiner is dan de delta T van warmte. (warmte  $\pm 90$  °C en koude  $\pm 5$  °C t.o.v. gewenste kamertemperatuur van 19 °C). Er is veel meer koudestroom nodig dan warmte. Er is in de ondergrond van de Keizersgracht niet genoeg ruimte om een stadkoude tour en retour leiding aan te leggen.

### **Integraal ontwerp duurzame energiesysteem - WKO**

In deze paragraaf wordt de definitieve dwarsdoorsnede weergegeven van de toekomstige kademuur met WKO en oppervlaktewater installatie met daarin de inpassing van de thema's die een oplossing bieden voor de transitie van de Keizersgracht naar een schoner, duurzamer en leefbaardere omgeving.

In de doorsnede B-B': Nieuwe situatie WKO systeem is de nieuwe kademuur zichtbaar met de inpassing van kabels en leidingen na de transitie van de Keizersgracht. Zoals te zien is, is de ondergrondse infrastructuur wat veranderd in vergelijking tot de bestaande situatie. Allereerst is de ligging van het wegdek op één oor gelegd voor de afstroming van het hemelwater. Verder is de boombak zoals beschreven is in de ontwerpfase toegevoegd achter de kademuur. De halve meter ruimte tussen de bak en de kademuur is om kabels door de boombak heen naar de kademuur te leiden voor laadpalen of andere voorzieningen langs de gracht. Verder worden straatkolken en een hemelwaterafvoerriool toegevoegd met een afvoer naar het oppervlaktewater. De hoeveelheid

elektriciteitskabels zijn gelijk gebleven en zijn iets verplaatst om ruimte te maken voor ander kabels en leidingen.

De drinkwaterleiding is verplaatst richting de gevel omdat de WKO leidingen toegevoegd zijn aan de ondergrond. De drinkwaterleiding moet volgens de eisen minimaal 1,00 meter van de warmteleidingen afliggen om invloed op elkaar te voorkomen. Zonder de drinkwaterleiding te verplaatsen was het niet mogelijk om de WKO leidingen toe te voegen. Door de WKO leidingen moet het oude gemengde rioolstelsel, wat nu het vuilwaterafvoer wordt, plaats maken en zal iets opschuiven naar de kademuur. De telecom is zoals eerder besproken verdubbeld en dichter bij elkaar komen te liggen om meer ruimte te geven aan andere kabels en leidingen.

### **Integraal ontwerp doorsnede WKO-put installatie**

In doorsnede C-C': Nieuwe situatie WKO put is de tekening te zien van de WKO put waar de open WKO installatie en het oppervlaktewatersysteem worden geplaatst. De WKO put is in de ondergrond aangebracht tussen twee boombakken in direct achter de kadewand. De reden waarom de installatie hier is geplaatst is dat de boring naar de warmte en koude bellen van de monobron niet in de buurt komt van de andere kabels en leidingen. De boring en de funderingspalen zijn versprongen van elkaar aangelegd waardoor ze niet te dicht tegen elkaar aan staan. De deksel van de WKO put is gelegen boven het boorgat omdat de pomp zich op ongeveer 15 diepte in de boorbuis bevindt en eruit gehesen moet worden bij reparaties.

De ligging van de WKO put dicht bij het oppervlaktewater is gunstig voor het oppervlaktewatersysteem. In de fundering van de kademuur moet een doorgang aangelegd worden waardoor het oppervlaktewatersysteem het water kan gebruiken om de tekorten aan warmte of koude in de ondergrond te kunnen aanvullen. In de ontwerp-tekening is het bovenaanzicht van de nieuwe situatie met WKO aangegeven waar de WKO put zich bevindt tussen de boombakken. Om toegang te krijgen tot de WKO put moet de deksel van de put in het maaiveld geopend worden waarna er in de put gewerkt kan worden. Vanuit de WKO put lopen de warmte- en koudeleiding haaks over de rioleringen heen naar de distributieleidingen evenwijdig aan de panden. Vanuit hier takken de leidingen af naar de panden.

### **Integraal ontwerp detail boombak**

Het ontwerp van het detail van de boombak is al beschreven in hoofdstuk 4.2 deelvraag ontwerp 6: thema leefbaarheid, ontwerp groenvoorziening. De ontwerp-tekening is te vinden in de bijlage.

### **Integraal ontwerp nieuw straatbeeld Keizersgracht**

In het bovenaanzicht: Nieuw straatbeeld Keizersgracht op de ontwerp-tekening is een schematische indeling weergegeven van het toekomstige uiterlijk van het straatbeeld van de Keizersgracht. In het bovenaanzicht zijn de ontwerpen uit de ontwerp-fase van de thema's te zien in het nieuwe straatbeeld. De zichtbare thema's zijn: de energietransitie, het weer, Leefbaarheid, emissievrij.

In het bovenaanzicht is de indeling van het straatprofiel duidelijk weergegeven met het voetpad, rijweg, goot, parkeervak en kademuur. De totale breedte van het profiel is 9,5 meter inclusief de kademuur. In de tekening is de indeling van de parkeervakken te zien en de plekken waar fietsen neergezet kunnen worden. De laadpalen zijn in de 0,50 m strook achter de kademuur neergezet voor de elektrische voertuigen. In het bovenaanzicht is in een stippellijn de ondergrondse boombak weergegeven. Andere voorwerpen die in het straatbeeld terug te vinden zijn, zijn de Amsterdammertjes en de straatlantaarns. De Amsterdammertjes geven de scheiding tussen voetpad

en rijweg aan en staan ongeveer 3,5 a 4 meter uit elkaar. De lantaarnpalen staan opgesteld naast de goot en staan ongeveer 15 meter uit elkaar.

De bestrating van het voetpad zal, net als voorheen, gelegd zijn in halfsteensverband (zie bovenaanzicht). In de strook waar de Amsterdammertjes in staan zal de bestrating in een strekselaag komen te liggen. De Rijweg en de parkeervakken krijgen ook dezelfde bestrating terug in keperverband als voorheen. De goot wordt in strekselaag bestraat waardoor het water goed richting de straatkolken kan stromen. De straatkolken liggen ongeveer 30 meter uit elkaar en zijn zo aangelegd dat er geen parkeervak achter is. Bij het doorspoelen van de kolk kan er dus nooit een auto op staan.

Een ander belangrijke toevoeging in het straatbeeld zijn de ondergrondse ruimtes voor het oppervlaktewatersysteem en de WKO installatie. Deze ruimte kan betreden worden door een deksel open te maken die in het maaiveld is verwerkt. Alleen bevoegden kunnen in deze ruimte komen in geval van onderhoud of andere werkzaamheden. Er is geen parkeervak aangelegd op de deksel voor auto's waardoor de deksel altijd open kan.

Door de herinrichting van de parkeervakken en de kleine aanpassingen in het straatprofiel is er voldaan aan de eisen en wensen die de gemeente Amsterdam heeft voor de Keizersgracht. Er zijn minder parkeerplekken, meer laadpalen, hemelwaterafvoer is toekomstbestendig, de bomen hebben hun vrijheid om goed te groeien en het kenmerkende uiterlijk van de Keizersgracht is niet al te veel veranderd.

### **Integrale ontwerpen: Bovenanzichten nieuwe situaties**

In de ontwerptekening zijn twee bovenanzichten weergegeven van de nieuwe situatie van de Keizersgracht, namelijk die van de invulling met WKO systeem en die van de invulling van stadswarmte.

#### **Bovenaanzicht stadswarmte:**

In het bovenaanzicht van de stadswarmte is de indeling van alle kabels en leidingen weergegeven die in de toekomst in de Keizersgracht komen te liggen. Van bovenaf is goed te zien dat het erg druk is in de ondergrond en dat er bij graafwerkzaamheden goed opgelet moet worden om geen kabels te raken. In de tekening zijn de maten aangegeven tussen de kabels en leidingen en de afstanden tussen de bomen en de doombakken. In deze doorsnede is goed te zien dat er drie hemelwaterafvoeren naar het oppervlaktewater stromen. Zoals eerder in het ontwerp van de rioleringen in de ontwerpfase besproken is zijn er drie uitstroom plekken voor hemelwaterafvoer naar het oppervlaktewater. De leidingen worden geplaatst tussen de boombakken in waardoor ze elkaar niet in te weg liggen.

#### **Bovenaanzicht WKO-systeem met oppervlaktewatersysteem**

In het bovenaanzicht van het WKO systeem en het oppervlaktewatersysteem zijn de kabels en leidingen weergegeven die in het verlengde van de gracht aanwezig zijn. In dit bovenaanzicht is de WKO put weergegeven achter de kadewand tussen boombakken. Naast de WKO put zijn twee hemelwater afvoeren aangebracht omdat hier toch al ruimte tussen de boombakken vrijgemaakt moest worden. De derde afvoer naar het oppervlaktewater ligt wel tussen twee boombakken in. In Het bovenaanzicht is een lengte van 35 meter van de Keizersgracht opgenomen. De lengte van de rakken langs de Keizersgracht variëren van 200 meter tot 70 meter. De drie hemelwaterafvoeren kunnen dus over de lengte van het gehele rak aangelegd worden en hoeven niet zoals in de tekening binnen 35 meter te liggen. In de tekening zijn ze alle drie alleen aangegeven om een beeld te schetsen van hoe ze ingepast worden.

## 5 Conclusie afstudeeronderzoek

Nu de onderzoeksfase en de ontwerpfase van dit afstudeeronderzoek afgerond zijn kan de conclusie van dit onderzoek geformuleerd worden. Aan het begin van het onderzoek zijn een hoofddoel en hoofdvraag opgesteld die aan het einde van het onderzoek behaald en beantwoord moet kunnen worden. Het antwoord op de hoofdvraag moet de oplossing zijn voor het behalen van het hoofddoel. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoordt.

### **De hoofdvraag:**

Hoe moet het integraal ontwerp van de te vervangen kademuur langs de Keizersgracht in Amsterdam eruit zien, zodat de transitie naar een schonere en duurzamere stad gerealiseerd kan worden binnen de aanwezige ruimte?

In de onderzoeksfase zijn de thema's onderzocht en uitgewerkt waaruit de transitie naar een schonere en duurzamere stad bestaat. Per thema komt naar voren wat er in de toekomst zal gaan veranderen en belangrijk is voor de inpassing in het definitief ontwerp. Uit het onderzoek naar het thema 'het weer' kwam naar voren dat de klimaatverandering ervoor zorgt dat het warmer wordt in de stad en dat er extremere neerslag gaat vallen. Op de uitkomsten van dit onderzoek is het hemelwaterafvoer systeem gedimensioneerd. Uit het onderzoek naar het thema 'emissievrij' komt naar voren dat het huidige elektriciteitsnetwerk langs de Keizersgracht genoeg capaciteit over heeft om aan de toekomstige elektriciteit vraag te kunnen voldoen. Het elektriciteitsnetwerk hoeft niet uitgebreid te worden na transitie van de stad. Uit het onderzoek naar het thema 'leefbaarheid' in de stad is naar voren gekomen dat het rustiger moet worden op straat met verkeer en dat de aanwezige groenvoorziening in de vorm van bomen genoeg ruimte moet krijgen om te kunnen groeien. Hiervoor is een ontwerp gemaakt voor een boombak en een nieuwe inrichting van de parkeervakken. Het onderzoek naar het thema modernisering heeft aangetoond dat er in de toekomst een verdubbeling van het telecomkabels verwacht wordt.

Al deze vier thema's zijn toegepast in één definitief ontwerp voor de nieuwe kademuur maar het laatste thema 'energietransitie' zorgt voor twee definitieve ontwerpen in plaats van één.

In de definitieve ontwerptekening zijn twee ontwerpen weergegeven die voldoen aan de gestelde eisen en die antwoord geven op de hoofdvraag. In de twee definitieve integrale ontwerpen zijn de ontwerpen voortkomend uit de 5 thema's samengevoegd. De twee ontwerpen of varianten zijn voor 4 van de 5 thema's hetzelfde. Het enige thema waarin de definitieve ontwerpen verschillen van elkaar is bij het thema energietransitie.

Binnen het thema energietransitie is in het ene integrale definitieve ontwerp stadswarmte ingepast als duurzame energiesysteem en in het andere integrale definitieve ontwerp is een open WKO-systeem in combinatie met een oppervlaktewatersysteem ingepast. Beide definitieve ontwerpen beantwoorden de hoofdvraag omdat de energiesystemen duurzaam zijn, weinig CO<sub>2</sub> uitstoten en daarmee bijdragen aan een schonere en duurzamere stad. In beide gevallen geldt dat de toekomstige uitbreiding van kabels en leidingen die nodig zijn voor deze transitie van de grachtengordel, voldoet aan de eisen die gelden voor de indeling van de ondergrondse kabels en leidingen.

Het uiterlijk en de nieuwe inpassing van de groenvoorziening en de parkeerindeling in het straatbeeld vallen binnen de toekomstige denkbeelden die de gemeente Amsterdam heeft van een klimaatbestendige, minder drukke en groenere stad. In de nieuwe ontwerpen blijft het kenmerkende straatbeeld van de grachtengordel behouden.

De twee definitieve ontwerpen geven daarmee antwoord op de hoofdvraag van dit afstudeeronderzoek. Zij zijn in uitgeprinte vorm te vinden in de bijlage bij dit rapport.

Hoewel het afwegen van deze varianten buiten dit onderzoek valt wil ik graag mijn gedachte hierover meegeven in onderstaande aanbeveling

**Aanbeveling definitief integraal ontwerp nieuwe kademuur langs de Keizersgracht.**

De twee definitieve ontwerpen van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht beantwoorden beide de hoofdvraag van het onderzoek, het is echter de vraag welke van de twee varianten het beste toegepast kan worden langs de Keizersgracht. In de aanbeveling ga ik ervan uit dat de panden langs de Keizersgracht geïsoleerd mogen worden.

Mijn voorkeur voor het definitieve ontwerp van de nieuwe kademuur langs de Keizersgracht is het ontwerp van het open monobron WKO systeem in combinatie met het oppervlaktewatersysteem. De reden voor deze aanbeveling is het feit dat de eigenschappen en fasering van het plaatsen van het WKO-systeem beter past in de grachtengordel. Een WKO systeem bevat een koudebron en stadswarmte alleen warmte. Aangezien de klimaatverandering een belangrijk vraagstuk is binnen het hoofddoel en het steeds warmer wordt in de stad is het hebben van een koudebron een groot pluspunt van WKO ten opzichte van stadswarmte. In combinatie met een oppervlaktewatersysteem is WKO gunstig voor de waterkwaliteit van de gracht. Een betere waterkwaliteit in de gracht zorgt voor een betere belevingswaarde wat binnen het hoofddoel en de transitie ook een belangrijk vraagstuk is. De bron van het WKO systeem is volledig duurzaam terwijl de bronnen van de warmte voor stadswarmte dat nog niet geheel zijn. (zie Tabel 3)

Een belangrijke reden voor de keuze voor een WKO installatie is dat het aanleggen van een WKO systeem kan per gedeelte tussen twee bruggen uitgevoerd kan worden en hoeft niet met zijn leidingen drukke kruispunten bij de bruggen te kruisen zoals stadswarmte. Bij de bruggen is de hoeveelheid kabels en leidingen vele malen hoger als langs de kademuren. Daarbij komt dat stadswarmte vanaf buiten de stad naar het centrum aangelegd worden waardoor een groot deel van de stad last heeft van de werkzaamheden. Ik denk niet dat het stadswarmtenet voor 2040 de grachtengordel bereikt heeft vanwege de grote opgave om bij de grachtengordel te komen. In de bijlage Tabel 3 is een keuzematrix weergegeven voor de keuze welk duurzame energiesysteem het beste past bij de Keizersgracht.

## 6 Bibliografie

- Agentschap NL . (2018). *Energiezuinig koelen met warmte- en koudeopslag*. ministerie van economische zaken, landbouw en innovatie.
- Albreco. (2019, Mei). *Albreco Aardwarmte systemen*. Opgehaald van Albreco: <https://www.albreco.nl/over-ons/onze-grondboormachines/>
- Amsterdam.nl. (2010). *Grachtengordel Amsterdam werelderfgoed*. Opgehaald van Amsterdam.nl: <https://www.amsterdam.nl/kunst-cultuur/grachtengordel/>
- Bewoners Herengracht. (2019). *cencent keuze inrichting straat*. Opgehaald van Gemeente Amsterdam, kademuren. Amsterdam: <https://kademuren.amsterdam.nl/#variants>
- Bloemendal, M., & Mathijssen, H. (2013). *Bodemenergie warm aanbevolen*. Gouda.
- Bodemenergie.nl. (2018). *Keuze bodemenergiesysteem*. Opgehaald van Bodemenergie.nl: <https://bodemenergie.nl/bodemenergie/keuze-bodemenergiesysteem/>
- Bonhof, P. (2019, Juni 27). Liander. (B. v. Roemburg, Interviewer)
- Bouwwereld. (2018, November 26). *Welke systemen retentiedaken zijn er*. Opgehaald van Bouwwereld: <https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/wat-is-een-retentiedak-en-welke-systemen-zijn-er/>
- Canal district. (sd). *Geschiedenis Amsterdam Canal district*. Opgehaald van <https://amsterdamcanaldistrict.nl/geschiedenis/>
- centraal, M. (2015). *Biomassa*. Opgehaald van Milieu centraal praktisch over duurzaam: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/biomassa/>
- CLO,. (2018, april 25). *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1906-2017*. Opgehaald van CLO samenwerking van: CBS, PBL, RIVM, WUR: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0226-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>
- CROW. (2004). *Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. CROW.
- CROW. (2012). *Combineren van onder- en bovengrondse infrastructuur met bomen*. Ede: CROW.
- De groene energie maatschappij. (2018). *Warmte- en koude opslag (WKO)*. Opgehaald van De groene energie maatschappij: <https://www.dgem.nl/nl/andere-duurzame-energie-oplossingen/warmte-en-koude-opslag-wko>
- Dinoloket. (2004). *Ondergrondmodellen*. Opgehaald van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Dinoloket. (2019). *Ondergrondgegevens*. Opgehaald van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Energiekaart net. (2017). *Amsterdam aardgasvrij in 2040*. Opgehaald van Energiekaart.net: <https://energiekaart.net/amsterdam-aardgasvrij-2040/>
- Frederiks, N. (2019, Mei 21). Grachtbewoner. (B. v. Roemburg, Interviewer)



- Gemeente Amsterdam. (2018). *Duurzaam Amsterdam stadswarmte*. Opgehaald van Gemeente Amsterdam : <https://www.amsterdam.nl/wonen-leefomgeving/duurzaam-amsterdam/amsterdam/alternatieven/#>
- Gemeente Amsterdam. (2018). *Kademuren: onderzoek en werkzaamheden*. Opgehaald van Amsterdam projecten: <https://www.amsterdam.nl/projecten/kademuren/>
- Gemeente Amsterdam. (2019). *Denk Dieper! Toekomst Amsterdamse ondergrond*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.
- Gemeente Amsterdam. (sd). *Gecomplieerde waterhuishouding*. Opgehaald van Amsterdam.nl: <https://www.amsterdam.nl/kunst-cultuur/grachtengordel/weten/waterwerk/>
- Het Kadaster. (2019, 3). *Oriëntatieverzoek indienen*. Opgehaald van Zakelijk kadaster : <https://zakelijk.kadaster.nl/-/orientatieverzoek>
- Het Parool. (2018, oktober 24). Enkele kademuren in centrum dreigen te bezwijken. *Het Parool*.
- Homan, Carine; KNMI. (2017, 11 6). *Hoeveelheid broeikasgassen bereikt een record*. Opgehaald van KNMI Broeikasgassen: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hoeveelheid-broeikasgassen-bereikt-nieuwe-records>
- Huirne, J. (2018, september 1). *Zomer was extreem zonnig, droog en recordwarm*. Opgehaald van nieuws.weeronline.nl: <https://nieuws.weeronline.nl/28-8-2018-zomer-was-extreem-zonnig-droog-en-recordwarm/>
- Kaljee, H. (2019, Juli). Hoofdstedelijk boomconsulent. (Bas, Interviewer)
- KNMI. (2015). *Klimaatverandering*. Opgehaald van KNMI datacentrum klimaatverandering: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/klimaatverandering>
- Lammers, H. (2019, juni). Inpassing open WKO-bronnen. (B. v. Roenburg, Interviewer)
- Leidraad kabels en leidingen, .. (sd). *gemeente Amsterdam*. Gemeente Amsterdam.
- Liander. (2019, maart 8). *Liander: 'Het huidige elektriciteitsnet is niet ontworpen op grote veranderingen'*. Opgehaald van AT5, echt Amsterdams nieuws: <https://www.at5.nl/artikelen/192243/liander-het-huidige-elektriciteitsnet-is-niet-ontworpen-op-grote-veranderingen>
- Meerkerk, i., & Beuken, i. (2017). *Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen*. KWR watercycle research institute.
- Milieu Centraal. (2019, januari). *Saldering voor zonnepanelen*. Opgehaald van Milieu centraal: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-kopen/salderingsregeling-voor-zonnepanelen/>
- Milieu centraal. (sd). *Aardwarmte en bodemwarmte*. Opgehaald van Milieu centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/aardwarmte-en-bodemwarmte/>
- Milieuzones Amsterdam*. (2018). Opgehaald van Expertise centrum milieuzones: <https://www.milieuzones.nl/amsterdam>

- Noort, P. (2019, Mei 20). Voorman Albreco: aardwarmte-bodemenergie-waterbronnen. (B. v. Roemburg, Interviewer)
- Noyon, R. (2019, februari 5). *Maak de Keizersgracht een wandelpromenade*. Opgehaald van Het Parool: <https://www.parool.nl/columns-opinie/maak-de-keizersgracht-een-wandelpromenade~bd6d38e2/>
- Omroep west nieuws. (2018, december 28). *Weerjaar 2018 in beeld: extreme droogte, extreme warmte en extreme regen*. Opgehaald van Omroep west nieuws: <https://www.omroepwest.nl/nieuws/3745235/Weerjaar-2018-in-beeld-extreme-droogte-extreme-warmte-en-extreme-regen>
- Rainproof Amsterdam. (sd). *Retentiedak/polderdak*. Opgehaald van Rainproof Amsterdam: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/retentiedakpolderdak>
- Rijksdienst voor ondernemend Nederland. (2012). *Ondiepe bodemenergie - open systemen*. Opgehaald van Rijksdienst voor ondernemend Nederland: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/nationaal-expertisecentrum-warmte/bodemenergie-en-aardwarmte-geothermie/bodemenergie>
- Rijksoverheid. (2017). *Energieagenda: Doelen voor 2050*. Opgehaald van Rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/uitwerking-energieagenda>
- Rijkswaterstaat. (2016). *Welke bodemenergiesystemen*. Opgehaald van Ministerie van infrastructuur en waterstaat: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/grondwater-ander/bodemenergiesystemen/welke/>
- Structuurvisie Gemeente Amsterdam. (2010). *Ontwerp structuurvisie Amsterdam 2040*. Amsterdam.
- Taselaar, F. (2009). Inleiding Kabels & leidingen. In F. Taselaar, *Centrum ondergronds bouwen*. Amsterdam.
- Team luchtkwaliteit Gem. Amsterdam. (2019). *Actieplan schone lucht*. Amsterdam: Gemeente amsterdam.
- Techworld. (2019, Mei 9). *A timeline of 5G development: From 1979 to now*. Opgehaald van Techworld.com: <https://www.techworld.com/picture-gallery/tech-innovation/timeline-of-5g-development-3654794/>
- UNESCO. (sd). *Zeventiende-eeuwse grachtengordel van Amsterdam*. Opgehaald van UNESCO Nederlandse commissie: <https://www.unesco.nl/nl/erfgoed/zeventiende-eeuwse-grachtengordel-van-amsterdam-binnen-de-singelgracht>
- UNFCCC. (2018, Oktober 22). *The Paris agreement*. Opgehaald van United Nations Climate Change: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Van Der Graaf. (2017). *Water systeem*. Opgehaald van Van der Graaf: <https://www.vandergraaf.nl/duurzaam/warmtepomp/water/water-systeem>
- van Mansom, R. (2019, April 17). Afdeling Leidingwerken. (B. Van Roemburg, Interviewer)
- van Zoelen, B. (2018, November 10). De Amsterdamse grachten zijn een plasticdump geworden. *Het Parool*.

- Veldhuizen, M. (2019, januari 1). *Aandeel groene energie groeit naar 7,3 %*. Opgehaald van Gaslicht.com: <https://www.gaslicht.com/nieuws/aandeel-groene-energie-groeit-naar-7-3-procent>
- Waternet Amsterdam. (sd). *Rioolwater Gemengd riool*. Opgehaald van Waternet rioolwater Amsterdam: <https://www.waternet.nl/ons-water/rioolwater/gemengd-riool/>
- Whenham, V. (2012). *Smart Geotherm*. Brussel.
- Wiesner, S. (sd). *Grachtengordel: Weerspiegeling van de Goude Eeuw*. Opgehaald van Geschiedenis Beleven.nl: <http://www.geschiedenisbeleven.nl/grachtengordel-weerspiegeling-van-de-gouden-eeuw/>

## 7 Lijst met figuren

Figuur 1: Structuur onderzoeksrapport Nieuwe kademuren Amsterdam .....	11
Figuur 2: Kaart van Amsterdam na aanvang van de Vierde Uitleg rond 1662 .....	14
Figuur 3: Monumentale panden Keizersgracht .....	14
Figuur 4: Parkeerdruchte Amsterdamse gracht .....	15
Figuur 6: Milieuzone voor vrachtwagens en dieselmotorscooters 2017 .....	18
Figuur 5: Milieuzone brom-snorscooters van voor 2010 .....	18
Figuur 7: De Gouden Bocht (1685) van Gerrit Adriaensz (Bron: Geschiedenis beleven.nl) .....	21
Figuur 8: Deels houten kademuurconstructie Keizersgracht (Bron: stadsarchief Amsterdam) .....	21
Figuur 9: Standaard opbouw kademuur Amsterdam (bron: RHDHV) .....	21
Figuur 10: Krachten op constructie bij belasting maaiveld .....	22
Figuur 11: Krachten op constructie bij belasting op kademuur .....	22
Figuur 12: Kabels en Leidingen in stoep Keizersgracht (Bron: Eigen foto) .....	23
Figuur 13: Aanwezige bedrijven met kabels en leidingen langs de Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	23
Figuur 14: Alle kabels en leidingen langs de Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	24
Figuur 15: Putdeksel gemengd rioolstelsel Keizersgracht uitvergroot (bron: Eigen foto) .....	25
Figuur 16: Putdeksel gemengd rioolstelsel in straat Keizersgracht (bron: Eigen foto) .....	25
Figuur 17: Aanleg verzamelriool in de waterkant van de gracht .....	26
Figuur 18: Rioleringsstelsel Keizersgracht (bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	26
Figuur 19: Gas afsluiting (bron: Eigen foto) .....	28
Figuur 20: Liander gas hoge druk (bron: Oriëntatieverzoek bij kadaster) .....	28
Figuur 21: Liander gas lage druk (Bron: Oriëntatieverzoek bij kadaster) .....	28
Figuur 22: Voorbeeld vermaasd Drinkwaterstelsel .....	29
Figuur 23: Drinkwater afsluiters Keizersgracht (bron: Eigen foto) .....	30
Figuur 24: Drie drinkwater afsluiters naast elkaar (bron: Eigen foto) .....	30
Figuur 25: Drinkwaternet fout (Bron :Oriëntatieverzoek kadaster) .....	30
Figuur 26: Drinkwaternet Keizersgracht gedetailleerd (Bron: Waternet) .....	30
Figuur 27: Transformatorhuis (Bron:GoogleMaps) .....	32
Figuur 28: Liander middenspanningnet (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	32
Figuur 29: Liander laagspanningsnet (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	33
Figuur 30: Midden & laagspanningsnet met aangegeven transformatorhuisjes en laadpaal (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	33

Figuur 31: Laadpaal Keizersgracht (bron: Eigen foto) .....	33
Figuur 32: Transformatorkast (Bron: GoogleMaps) .....	33
Figuur 33: Totaal verwachte energiebelasting Amsterdam 2050 .....	35
Figuur 34: Middenspanningsnet Keizersgracht met travo. (Bron: Liander) .....	35
Figuur 35: Modernere middenspanningskabel 3x 240mm (Bron: Eigen foto).....	36
Figuur 36: Oudere middenspanningskabel 3x 150mm (Bron: eigen foto) .....	36
Figuur 37: Laagspanningskabel (Bron: Eigen foto) .....	37
Figuur 38: Laagspanningsnet Keizersgracht (Bron: Liander) .....	37
Figuur 39: Afkoppelen van netwerk om overschrijding van 250 A in de kabel te voorkomen. ....	39
Figuur 40: Datatransport kabels Keizersgracht (Bron: Oriëntatieverzoek kadaster) .....	40
Figuur 41: Benodigde volume voor wortels in verschillende vormen. (Bron: CROW) .....	43
Figuur 42: Wortels groeien tot grondwater. (Bron: CROW).....	43
Figuur 43: Schematische weergave wortelgroei langs gracht. (Bron: Gemeente Amsterdam).....	44
Figuur 44: Mogelijkheden groen dak Keizersgracht (Bron: GoogleMaps) .....	45
Figuur 45: Eigenschappen typen retentiedak.....	45
Figuur 46: Opbouw retentiedak .....	45
Figuur 47: CO2 concentratie stijging in atmosfeer.....	46
Figuur 48: Mondiale Temperatuur .....	46
Figuur 49: Concentratie methaan (NH4) .....	46
Figuur 50: Gemiddelde jaar temperatuur Nederland .....	47
Figuur 51: Straatbeeld Keizersgracht (Bron: Eigen foto).....	48
Figuur 52: Stadswarmte- en koude net Amsterdam en het centrum (Bron: Gemeente Amsterdam) .	52
Figuur 53: Inzet warmtebronnen stadswarmte 2018 (Bron: NUON/VATTENFALL) .....	53
Figuur 54: Inzet warmtebronnen stadswarmte 2050 (Bron: NUON/VATTENFALL).....	54
Figuur 55: Stadswarmtenet met gebieden die aangesloten kunnen worden en de 2 stadswarmtebronnen (Bron: NUON/VATTENFALL).....	55
Figuur 56: WKO-systemen.....	56
Figuur 57: Geschiktheid Nederlandse bodem voor open-WKO (Bron: Kennisplatform bodemenergie) .....	57
Figuur 58: Monobron- Zomer links, winter rechts (Bron: IF technology) .....	57
Figuur 59: Positieve interferentie van monobronnen (Bron: IF technology) .....	58
Figuur 60: Doubletbron- zomer links, winter rechts. (Bron: IF technology) .....	59
Figuur 61: Recirculatiesysteem- zomer links, winter rechts (Bron: IF technology).....	60
Figuur 62: Open WKO boorinstallatie (Bron: H.J. Lammers).....	61
Figuur 63: Inhoud open WKO put (Bron: H.J. Lammers).....	61
Figuur 64: Geschiktheid Nederlandse bodem voor gesloten-WKO (Bron: Kennisplatform bodemenergie).....	62
Figuur 65: Verticaal gesloten WKO-systeem (Bron: Besteco duurzame energiesystemen) .....	63
Figuur 66: Horizontaal gesloten WKO-systeem (Bron: Besteco duurzame energiesystemen).....	64
Figuur 67: Kleine boorinstallatie gesloten WKO-systeem (Bron: Albreco) .....	65
Figuur 68: Doorsnede Nieuwe kademuur Keizersgracht.....	76
Figuur 69: Doorsnede A-A': Nieuwe indeling Keizersgracht met stadswarmte .....	77
Figuur 70: Doorsnede B-B': Nieuwe situatie monobron WKO installatie met Oppervlaktewatersysteem .....	78
Figuur 71: : Hemelwaterafvoer diameter bepalen bij maatgevende afvoer van 74,4 l/s .....	79
Figuur 72: Nieuw rioolstelsel Keizersgracht .....	80
Figuur 73: Detail boombak achter kademuur (Bron: Ontwerptekening).....	82

Figuur 74: Bovenaanzicht indeling parkeervak langs de Keizersgracht (Bron: ontwerp-tekening bijlage)	84
Figuur 75: Nieuw straatprofiel Keizersgracht	85
Figuur 76: Putdeksel verscholen in maaiveld	86
Figuur 77: Aanleg riolering in waterkant grachtengordel Amsterdam	101
Figuur 78: Aanleg riolering in waterkant grachtengordel Amsterdam	101
Figuur 79: Aanleg riolering in waterkant grachtengordel Amsterdam	102
Figuur 80: Uitvergroting opbouw oude kademuur Keizersgracht (Bron: Gemeente archief Amsterdam)	102
Figuur 81: Sondering 1 Keizersgracht (Bron: Dinoloket)	104
Figuur 82: Sonderingen 2-6 Keizersgracht (Bron: Dinoloket)	104

## 8 Lijst met tabellen

Tabel 1: Toekomstige stroomsterkte in laagspanningskabel na stadsontwikkeling	38
Tabel 2: Aansluitingskosten duurzame energiesystemen	68
Tabel 3: Keuzematrix duurzame energiesysteem Keizersgracht	103
Tabel 4: Grondeigenschappen grondlagen	103

## 9 Bijlage

### 9.1 Definitieve ontwerptekening

Achter in de bijlage is een uitgeprinte versie van de definitieve ontwerptekening van de nieuwe Keizersgracht in Amsterdam.

#### Foto's aanleg riolering in de gracht 1989



*Figuur 77:  
Aanleg riolering  
in waterkant  
grachtengordel  
Amsterdam*

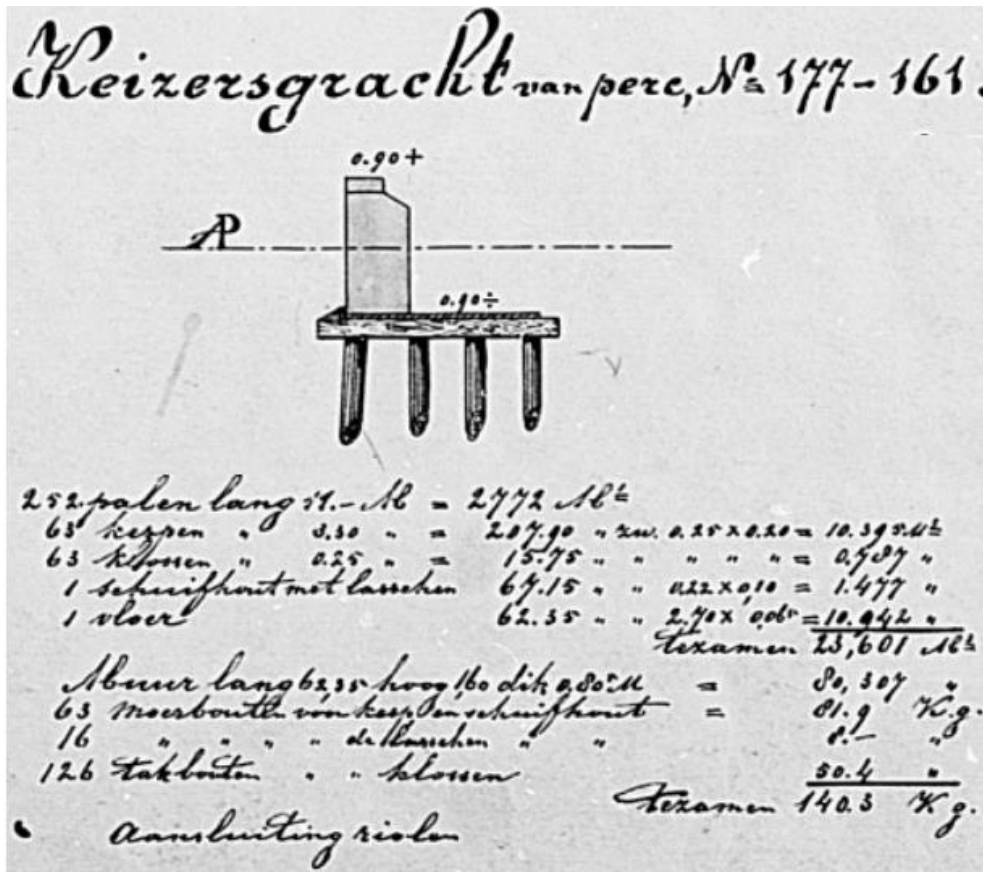


*Figuur 78:  
Aanleg riolering  
in waterkant  
grachtengordel  
Amsterdam*



Figuur 79: Aanleg riolering in waterkant grachtengordel Amsterdam

Constructietekening oude kademuur Keizersgracht



Figuur 80: Uitvergroting opbouw oude kademuur Keizersgracht (Bron: Gemeente archief Amsterdam)

**Keuzematrix duurzame energiesystemen.**

Tabel 3: Keuzematrix duurzame energiesysteem Keizersgracht

Keuzematrix duurzame energiesysteem		
	WKO + O.W.S*	Stadswarmte
<b>Bijdrage aan thema's:</b>		
<b>Het weer</b>	+	+
<b>Emissievrij</b>	++	+
<b>Leefbaarheid</b>	+	-
<b>Modernisering</b>	+	+
<b>Diameter leidingen</b>	+	-
<b>Warmte</b>	+	++
<b>Koude</b>	+	
<b>Fasering</b>	+	-
<b>ΔT</b>	+	++
<b>Niet geïsoleerde panden</b>	--	+

Toelichting: -- = heel slecht, - = slecht, + = goed, ++ = heel goed

\* Oppervlaktewatersysteem

9.2 Bodemonderzoek Keizersgracht

Na het onderzoeken van de huidige kademuur moet een ontwerp worden gemaakt van hoe de nieuwe kademuur eruit komt te zien. Voordat een nieuwe kademuurconstructie ontworpen kan worden is het belangrijk om te weten welke grondsoorten zich rond de kademuur bevinden. De kademuur moet bestand zijn tegen de krachten die geleverd worden door de grond. Door een bodemonderzoek kan bepaald worden welke grondsoorten en in welke diktes ze zich bevinden achter de kademuur.

De diepere grondlagen kunnen van belang zijn voor de fundering van de nieuwe kademuurconstructie. Omdat er funderingspalen gebruikt worden, is het belangrijk om te weten hoe dik de zandlagen zijn en tot welke diepte de palen zouden moeten reiken om de constructie te kunnen dragen.

Het bepalen van de grondlagen achter de kademuur wordt gedaan aan de hand van sonderingen. De sonderingen die gebruikt worden zijn afkomstig uit het Dinoloket (Dinoloket, 2019). Langs het tracé van de Keizersgracht zijn een aantal sonderingen gedaan die gebruikt kunnen worden in het bepalen van de

Type of soil						
Name	Admixture	Consistency 1)	γ (kN/m <sup>3</sup> ) 2)	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> ) 3)	qc (MPa) 3)6)	
Gravel	weak silty	loose moderate fixed/solid	17 18 19 or 20	18 20 20 or 21	15 25 30	
	strong silty	loose moderate fixed/solid	18 19 20 or 21	20 21 22 or 22.5	10 15 25	
Sand	clean	loose moderate fixed/solid	17 18 19 or 20	19 20 21 or 22	5 15 25	
	weak silty clayey		18 or 19	20 or 21	5 or 20	
	strong silty clayey		18 or 19	20 or 21	2 or 15	
Loam 4)	weak sandy	weak moderate fixed/solid	- - -	19 20 21 or 22	1 2 3	
	strong sandy		-	19 or 20	2	
	clean	weak moderate fixed/solid	- - -	- - 19 or 20	14 17 19 or 20	0,5 1 2
		weak sandy	weak moderate fixed/solid	- - -	15 18 20 or 21	0,7 1,5 2,5
strong sandy				-	18 or 20	1
organic	weak moderate		- -	13 15 or 16	0,2 0,5	
Peat	not preloaded	weak	-	10 or 12	0,1 or 0,2	
	moderate loaded	moderate	-	12 or 13	0,2	

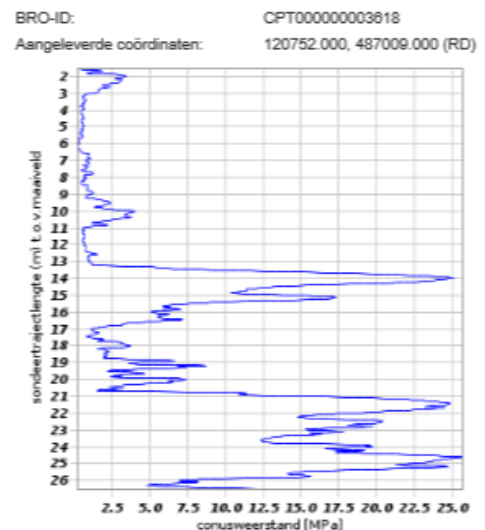
Tabel 4: Grondeigenschappen grondlagen



grondlagen achter de kademuur en daaronder. De sonderingen zijn uit verschillende jaren van 1999 tot 2007. Omdat de ondergrond niet of nauwelijks verandert zijn de gegevens van 1999 nog steeds te gebruiken. De volgorde die wordt aangehouden in dit hoofdstuk voor het aangeven van de sonderingen langs de Keizersgracht is tegen de klok in draaiend gezien vanaf het centraal station (Figuur 82). De horizontale pieken naar rechts geven conusweerstand weer in MPa. De conuswaarden van de grootste pieken wordt vergeleken met Tabel 4 waar de rechtse kolom (qc) de conusweerstand weergeeft van de verschillende grondtypen.

### Sondering 1:

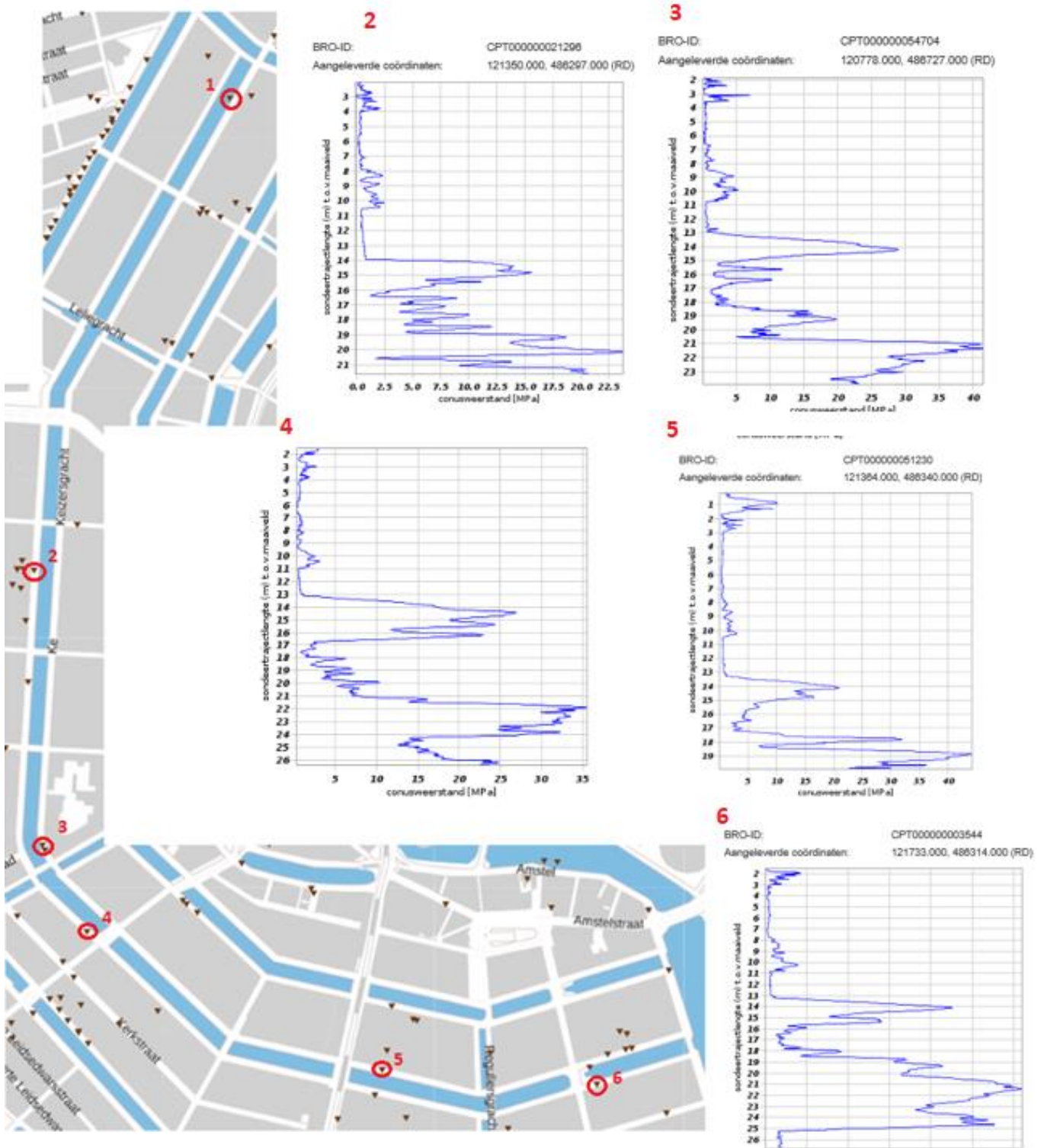
Sondering 1 bevindt zich aan het begin van de Keizersgracht (Figuur 82). In de eerste drie meter is een conusweerstand van drie MPa (Figuur 81 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Dit komt overeen met de tabel als een laag van sterk zandige klei. De eerste paar meter bestaat vaak uit een sterk zandige laag omdat er veel zand wordt gebruikt om straten te funderen en kabels en leidingen in te verwerken. Vanaf 3 tot 9,5 à 10 meter bestaat de ondergrond uit een laag van slappe, organische klei met een conusweerstand van onder de 1 MPa. Dit is geen draagkrachtige grondlaag. Worden er gebouwen op palen gefundeerd, zal je door deze laag heen moeten tot de grote piek die te zien is rond de 14 meter diepte. Daar komt een draagkrachtige gezette zandlaag met kans op grind naar voren. Op deze zandlaag, die tot 16 meter doorloopt, is het wel mogelijk om een funderingspaal te laten rusten. Na de piek op 16,5 meter is er een 5 meter dikke laag van afwisselend zand, klei en zandige klei. Vanaf de 21 meter diepte bestaat de grond vooral uit gezet zand. Deze laag is sterk genoeg voor funderingspalen die grotere en zwaardere gebouwen moeten kunnen dragen.



Figuur 81: Sondering 1 Keizersgracht (Bron: Dinoloket)

### Sondering 2,3,4,5,6:

Sondering 2 tot en met 6 bevinden zich verder langs de Keizersgracht en vertonen overeenkomsten met sondering 1. (Figuur 82). Net als bij sondering 1 zijn de 3,5 meter een mengsel van zand en zandige klei. Dat er kleilagen aanwezig zijn in de grond is te verklaren door de aanwezigheid van de rivier de Amstel. Dieper in de ondergrond in de grond kom je op dezelfde diepte van 14 meter een zandlaag tegen. In sondering 3 en 5 is de laag iets minder dik dan de andere zandlagen op die diepte. In sondering 2 tot en met 6 is te zien dat vanaf 19 meter diepte dikkere zandlagen aanwezig zijn waar zwaardere gebouwen op gefundeerd kunnen worden.



Figuur 82: Sonderingen 2-6 Keizersgracht (Bron: Dinoloket)

