

Tonnetje minder: Afweging brugherstel op basis van datagedreven impactanalyse voor bereikbaarheid.

Carlijn van der Sluijs – Gemeente Amsterdam – c.sluijs@amsterdam.nl

Lara Borst – Gemeente Amsterdam – l.borst@amsterdam.nl

Kobus Zantema – Gemeente Amsterdam – k.zantema@amsterdam.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 23 en 24 november 2023, Brussel

Samenvatting

Een groot aantal bruggen en kademuren in Amsterdam is in slechte staat. Daarom heeft de gemeente het programma Bruggen en Kademuren opgetuigd om circa 800 bruggen en 200 kilometer kademuur te onderzoeken, en waar nodig veilig te stellen en/of te herstellen.

Vooraf het herstel, door renovatie of sloop-nieuwbouw, vormt een fikse uitdaging die meer tijd, geld en capaciteit kost dan er voorhanden is. Daarnaast gaat een traditionele aanpak van de opgave gepaard met veel CO2 uitstoot en gebruik van primaire grondstoffen. Daarom zoekt de gemeente Amsterdam naar alternatieven om dit probleem op te lossen.

Een van deze alternatieven is om de functie van deze assets (permanent) te herwaarderen. Kan het een tonnetje minder? Kunnen we het vracht- en autoverkeer (gewicht) van bepaalde bruggen af halen, zodat ze in de huidige constructieve staat langer mee kunnen? En hoe doe je dit zonder de bereikbaarheid van de stad (te zeer) te compromitteren?

Dit artikel laat zien hoe we het basisidee van functionele herwaardering hebben uitgewerkt tot een afwegingskader om deze oplossing in de praktijk toe te kunnen passen. Verder gaan we technisch met name in op de resultaten van het verkeerskundig onderzoek dat hieraan ten grondslag ligt.

Voor dit laatste hebben we met behulp van het Dijkstra-algoritme op het wegennet van Amsterdam gekeken welke bruggen in de stad essentieel zijn om alle adressen bereikbaar te houden. Daarnaast is een 'rangschikking' gemaakt op basis van de extra reistijd die het herwaarderen van een brug voor het verkeer in Amsterdam kan hebben. Aanvullende analyses gaan in op bereikbaarheid voor groot en zwaar verkeer (logistiek) en effecten van wegwerkzaamheden.

Het resultaat van de bovengenoemde analyses biedt een visueel en snel overzicht in het effect op bereikbaarheid en reistijd van bruggen waar functieherwaardering overwogen wordt. Kansen en beperkingen worden direct inzichtelijk en geeft feitelijke input voor het gesprek met stakeholders. Het proces met stakeholders zal meeromvattend zijn, zoals bijvoorbeeld beleid, locatie specifieke kennis, etc. Maar met de analyses beschreven in dit artikel kan de eerste schifting eenvoudiger en sneller worden gemaakt.

1. Aanleiding en context functieherwaardering van bruggen

'Amsterdam is nog niet jarig'

*Ik ben oud, ik ben jong, ik ben Amsterdam
Amsterdam, de stad waar alles kan
Amsterdam, Amsterdam
En ik besta al eeuwenlang
Binnenkort vier ik groot feest
Dan word ik 750 jaar
Ze noemen mij het Venetië van het noorden
Maar ik denk, waarom noemen ze Venetië niet het Amsterdam van het zuiden?
[...]
Smettelos was ooit mijn aangezicht
En nu, rimpels, adertjes en kraaienpootjes
De eeuwen tellen mee, en weet je, dat is oké
Maar, trek ik krom? Zak ik scheef? Ga ik naar de ratsmodee?
Die tand des tijds wil ik verslaan
Als ik straks jarig ben, wil ik op mijn allermooist zijn,
En niet half ingestort, een ruïne
Wie bekommert zich nog om mij?*

(Amsterdam is nog niet jarig, 2021)

Amsterdam is onlosmakelijk verbonden met het water. De vele bruggen en kademuren verbinden de wijken en buurten met elkaar, en geven de stad haar karakter. Maar de laatste decennia is er sterk ingeboet op beheer en onderhoud van deze beeldbepalende assets. Na een aantal incidenten heeft de gemeente in 2019 Programma Bruggen en Kademuren opgericht. Met als primaire doelen om de bruggen en kademuren veilig en de stad bereikbaar te houden.

Hiertoe voert het programma onderzoek en inspecties uit om de staat van het areaal te bepalen en de risico's op bezwijken te beoordelen. Verder zijn constructies waarbij deze risico's bij de eerste inspecties urgent bleken, direct in hoog tempo veiliggesteld door afzettingen, beperkingen of het plaatsen van versterkingsconstructies.

Maar uiteindelijk zullen deze en ook veel andere constructies gerenoveerd of volledig vervangen moeten worden als de gebruiksfunctie hetzelfde blijft. Dit volledig vervangen van assets is een enorme opgave die een grote ecologische voetafdruk heeft, veel geld kost, lang duurt en veel overlast geeft in de buurt.

Kan het ook een tonnetje minder? Wat als de levensduur van een brug of kademuur met jaren verlengd kan worden als de gebruiksfunctie aangepast wordt door het verkeer en dus gewicht van de brug te halen? Wat als deze functieverandering de leefbaarheid in een gebied verbetert, door meer ruimte te maken voor verblijven, groen, lopen en fietsen? En wat als deze functieverandering ook nog eens een kostbare herstelmaatregel bespaart, gebruik van primaire grondstoffen terugdringt en de overlast die met de herstelwerkzaamheden gepaard gaat?

Dit artikel geeft inzicht in de methodiek (een datagedreven impactanalyse) die is toegepast om te bepalen wat het effect van een functieverandering van een brug is op de

bereikbaarheid in de stad. Om dit in de context te plaatsen, lichten we eerst de opgave en het proces toe. Natuurlijk zijn er meer aspecten relevant om tot de afweging tot functieherwaardering te komen. Deze aspecten komen voornamelijk in het proces naar voren.

1.1 Opgave functieherwaardering bruggen

Met de kennis van een paar jaar geleden was het uitgangspunt dat nagenoeg alle bruggen vernieuwd moesten worden. Dit werkpakket was groot en gegeven de financiële middelen, duurzaamheidsdoelstellingen en krapte op de arbeidsmarkt niet haalbaar wanneer we alleen de bestaande gemeentelijke werkwijze hanteren. De opdracht voor 'een tonnetje minder' werd verstrekt, een onderzoek naar de potentie van functieherwaardering. Anno 2023, met de nieuwste constructieve onderzoeksresultaten, blijkt dat de vervangingsopgave kleiner is geworden. Anderzijds zijn de beschikbare middelen en doelstellingen scherper geworden, waardoor dit onderzoek zijn waarde houdt.

Met functieherwaardering verandert de (verkeers)functie van de brug (permanent dan wel tijdelijk) door een gewichtsbepanking op te leggen en deze daardoor ontoegankelijk voor autoverkeer te maken. Indien de brug hier constructief gezien geschikt voor is, hoeft de brug door deze gewichtsbepanking niet vernieuwd te worden. Hierover wordt verdere toelichting gegeven in sectie 2.3.

Functieherwaardering sluit aan bij de lijn die is ingezet met het Amsterdams Akkoord (Anon., 2022), het coalitie akkoord 2022 – 2026. We moeten scherpe keuzes maken over hoe we de schaarse financiële middelen besteden én of we niet innovatieve kostenbesparende maatregelen kunnen treffen. We accepteren meer overlast en achterstallig onderhoud en de stad zal de effecten hiervan gaan merken. Daarnaast wordt met functieherwaardering ook invulling gegeven de doelstellingen op het gebied van circulariteit, het terug dringen van CO2 en gebruik van primaire grondstoffen. Bovendien draagt het bij aan de leefbaarheid door waarde aan de openbare ruimte toe te voegen.

Dit alles vraagt om nieuwe manieren van denken over mobiliteit en de inrichting van de openbare ruimte, zowel op het gebied van beleid als voor de uitvoering van het PBK. In de uitwerking van de Omgevingsvisie Amsterdams voor mobiliteit en openbare ruimte, wordt op een nieuwe manier naar mobiliteit en de openbare ruimte gekeken. Het huidige verkeerssysteem, het gebruik van materialen en de benodigde voorzieningen in de openbare ruimte lopen tegen ecologische en sociale grenzen aan. Mobiliteit kan niet meer ongelimiteerd gefaciliteerd worden. Hierbij kiezen we nadrukkelijk voor ruimte-efficiënte vormen van mobiliteit zoals lopen, fietsen en OV, en ook voor nabijheid in de ruimtelijke ordening en andere reispatronen.

2. Van idee tot afwegingscriteria (doorlopen proces)

2.1 Eerste verkenning

De eerste verkenning, om de potentie van het idee van functieherwaardering in te schatten, is in klein team verband gedaan. Hierin zijn drie parallelle sporen gekozen: vanuit verkeerskundig oogpunt, vanuit constructief oogpunt en vanuit oogpunt van inrichting van de openbare ruimte.

Verkeerskundig onderzoek

De verkeerskundige verkenning richtte zich op wat het betekent voor de bereikbaarheid, de robuustheid en reistijd als bruggen (op zichzelf en in combinatie met een andere brug) niet langer toegankelijk zijn voor autoverkeer. Op basis van deze criteria zijn, van de circa 800 verkeersbruggen in de scope van het onderzoek, circa 200 bruggen als essentieel geclassificeerd. Dat betekent ook dat de overige 600 bruggen, een noemenswaardig aantal, in aanmerking komen voor vervolgonderzoek naar functieherwaardering. De techniek wordt uitgelegd in hoofdstuk 3. De resultaten zijn aan het directieteam van het PBK gepresenteerd met het advies om vervolgonderzoek te starten.

Constructief onderzoek

Om te bepalen of de levensduur van een brug daadwerkelijk wordt verlengd wanneer deze een functieherwaardering krijgt naar een fiets- en voetgangersbrug is vanuit constructief onderzoek een uitspraak nodig. De afgelopen jaren is er veel kennis vergaard over de constructieve staat van de bruggen en kademuren en zijn toetsingskaders geoptimaliseerd. Met de kennis van nu blijkt de vervangingsopgave van bruggen een stuk kleiner dan aanvankelijk gedacht. Door de inzet van andere maatregelen, zoals monitoring, versterken en functieherwaardering kan de veiligheid van de stad nog steeds gewaarborgd worden.

Afhankelijk van de constructieve staat van bruggen en kademuren verschilt de toegestane permanente belasting om een levensduur van nog minimaal 30 jaar te borgen. In sommige gevallen kan het ook voorkomen dat enkel het zware verkeer niet langer is toegestaan om de veiligheid te garanderen. In andere gevallen is vervangen van de brug de enige optie, omdat het eigen gewicht van de brug al de toegestane permanente belasting overschrijdt.

Inrichting openbare ruimte: 'what if lab'

Het 'What If Lab' is een initiatief van de Dutch Design Foundation dat langdurige samenwerking faciliteert tussen ontwerpers en organisaties met complexe vraagstukken. De gemeente Amsterdam stelde binnen het 'What If Lab Overbruggen' de vraag: wat als bruggen multifunctionele ruimtes worden voor het stedelijke leven? (What if lab, 2023) Een onderliggende vraag daarbij was: 'hoe kan een nieuwe invulling van een brug zo worden vormgegeven dat de verandering als meerwaarde wordt ontvangen door de gebruikers ervan?'. Over deze vragen bogen twee ruimtelijk ontwerpers en een sociaal ontwerper¹ zich. Voor drie locaties ontwikkelden zij doormiddel van participatie drie verschillende concepten voor multifunctionele bruggen. In het ontwerpproces werd co-

¹ Sociaal collectief PLYGRND.city en architectenduo Ivanka Bakker en Florian Eckardt.

creatief ontworpen, vanuit de behoeften van de mensen en met het bestendigen van draagvlak (Heus, et al., 2023).

De drie opgeleverde concepten zijn modulair, combineerbaar, duurzaam en onderhoudsarm. Een aantal basis ideeën komen uit de participatie, aangevuld met de ontwerpstrategie. De concepten en ontwerpen zijn in een steeds andere samenstelling toepasbaar op de vele bruggen. De ontwerpen vormen samen een herkenbare identiteit (Heus, et al., 2023).

Met de oplevering van deze concepten werd de eerste fase afgerond. PBK wil deze ideeën verder uitwerken en uitproberen in een proeftuin.

Samenvattend

De eerste verkenning liet zien dat er potentie is in het onderwerp functieherwaardering. Er is ruimte en interesse om inhoudelijk en procesmatig het onderwerp verder te onderzoeken.

2.2 Verkeerskundig vervolgonderzoek

Het verkeerskundig vervolgonderzoek richtte zich op wat het betekent voor de (robuustheid van de) bereikbaarheid als een brug niet langer toegankelijk is voor groot en zwaar verkeer. Ook werd gekeken naar de afsluiting van een brug in combinatie met fictieve werkzaamheden, om een realistischere situatie na te bootsen.

Om juiste aannames, classificaties en criteria toe te passen zijn specialisten logistiek vanuit de gemeente betrokken. Dit was ook het moment om breder draagvlak te zoeken binnen de gemeente Amsterdam. Bij andere thema's zijn de onderzoeksresultaten gepresenteerd. De doelen van deze presentaties zijn:

- input op te halen voor het vervolgonderzoek;
- peilen hoe er tegen functieherwaardering aan wordt gekeken, en;
- de juiste stakeholders aan tafel te hebben voor het besluitvormingsproces van functieherwaardering.

Een veel genoemd discussiepunt bij deze presentaties was het perspectief van waaruit de verkeersanalyse is gedaan: de huidige context. De aanname is gedaan dat het herwaarderen van een brug geen invloed mag hebben op de bereikbaarheid van adressen. Echter, zoals ook genoemd in paragraaf 1.3 is de mobiliteitsvisie aan het veranderen, waarbij de auto een minder prominente rol krijgt in de stad. Dit is meegenomen in het ATH-proces, beschreven in de volgende paragraaf.

2.3 Integrale afweging toekomstbestendig herstel (ATH)

Parallel aan de bovengenoemde ontwikkelingen werd ook de aanpak van PBK doorontwikkeld aan de hand van een nieuw actieplan voor 2023 tot en met 2026: gefundeerd herstellen (Gemeente Amsterdam, 2022). Hierin staat hoe het programma streeft naar het maken van een optimale afweging tussen kosten, prestaties (functionaliteit) en risico's bij de keuze voor een passende maatregel: afsluiten, versterken, herwaarderen, renoveren of vervangen. Deze integrale afweging wordt per

brug of kademuur gemaakt, bij voorkeur in clusters om de opgave gebiedsgericht aan te vliegen.

De constructieve staat is leidend voor de mogelijke oplossingsrichtingen voor toekomstig herstel (functieherwaardering, renovatie, sloop-nieuwbouw). De oplossingsrichtingen worden vervolgens afgewogen ten opzichte van omgevingsimpact, kosten & duurzaamheid.

De impact van een mogelijke functieherwaardering wordt inzichtelijk gemaakt in een omgevingsadvies. De verkeerskundige analyse vormt het startpunt van dit omgevingsadvies en geeft antwoord op de vraag of functieherwaardering nader verkend kan worden met stakeholders in het gebied. Denk aan noord- en hulpdiensten, OV bevoorrading, bouwlogistiek en afval & grondstoffen.

Verkeerskundig onderzoek in ATH-proces

De verkeersanalyse biedt direct en snel inzicht in de mogelijkheden en potentiële knelpunten. Het is niet de bedoeling dat de uitkomst van de analyse aangeeft wanneer functieherwaardering wel of niet mogelijk is, maar waar het gesprek met stakeholders over moet worden gevoerd om te komen tot een gezamenlijk besluit. Door snel inzicht in de situatie en de interactie vanuit verschillende disciplines groeit het (in)zicht in elkaars belangen waardoor het begrip en draagvlak groeit. Ook kunnen bezwaren en andere pijnpunten worden beslecht.

Indien gewenst kan de analyse worden uitgebreid met:

- Vanuit ATH een suggestie voor specifieke brug:
 - Alle combinaties met twee extra bruggen
 - Combinaties met (potentieel) toekomstig beleid
 - In combinaties met geplande omgevings-werkzaamheden
 - Specifieke vragen vanuit bijvoorbeeld een Stadsdeel
- Vanuit ATH een suggestie voor een set aan bruggen:
 - Deze combinatie aan bruggen doorrekenen
 - In combinatie met meerdere andere bruggen

Beleidsmatige toets in ATH-proces

Functieherwaardering staat in relatie tot verschillende beleidskaders en -doelstellingen van de directie Verkeer en Openbare Ruimte. Het is daarom belangrijk om de consequenties (positief en negatief) daarop in kaart te brengen. Voor uitvoering van de functieherwaardering van een brug wordt getoetst of dit past binnen de geldende kaders. Dit wordt gedaan door te kijken naar bestaand beleid als de nieuwe kijk op mobiliteit. Het kan dus zijn dat een brug niet langer in aanmerking komt voor herwaardering omdat het botst met de toekomstvisie. Maar het kan juist ook zo zijn dat een brug waarvan de potentie tot herwaardering laag wordt geacht juist wel in aanmerking komt omdat deze past bij de toekomstvisie, welke nog niet is opgenomen in de verkeersanalyse.

3. Methodiek verkeerskundig onderzoek

Het verkeerskundig onderzoek is onderdeel van het proces, met twee hoofdstappen. In dit hoofdstuk wordt het totale onderzoek weergegeven, onafhankelijk van het moment in het proces.

Tijdens de datagedreven impactanalyse is onderzocht wat de invloed is van iedere brug op twee criteria: bereikbaarheid en reistijd.

Voor de bereikbaarheid van adressen:

- Is ieder adres nog bereikbaar als één of twee bruggen uit het netwerk worden gehaald?
- Is ieder adres ook nog bereikbaar voor groot en zwaar verkeer?
- Zijn tijdens werkzaamheden aan de Amsterdamse hoofdverkeersstructuur adressen die bij brugherwaardering onbereikbaar worden?

Voor de reistijd:

- Hoeveel extra reistijd levert het op voor het autoverkeer als een brug uit het netwerk wordt gehaald?

In dit hoofdstuk wordt eerst de scope van analyse beschreven, gevolgd door de datapreparatie. Daarna staan de analyses zelf beschreven.

3.1 Scope van analyse

De scope van de analyse zijn de 852 bruggen uit PBK. Hiervan zijn 62 bruggen niet meegenomen in de analyse. Daarvoor bestaan de volgende redenen:

- In het gebruikte model loopt er geen wegvak voor autoverkeer over de brug omdat deze een ondergeschikte rol speelt in het autoverkeersnetwerk.
- Bruggen die in Weesp liggen. Deze bruggen zijn geclusterd en los te beschouwen van de overige bruggen in Amsterdam. Ook omdat deze later aan de scope PBK zijn toegevoegd is besloten deze bruggen in dit stadium niet mee te nemen.

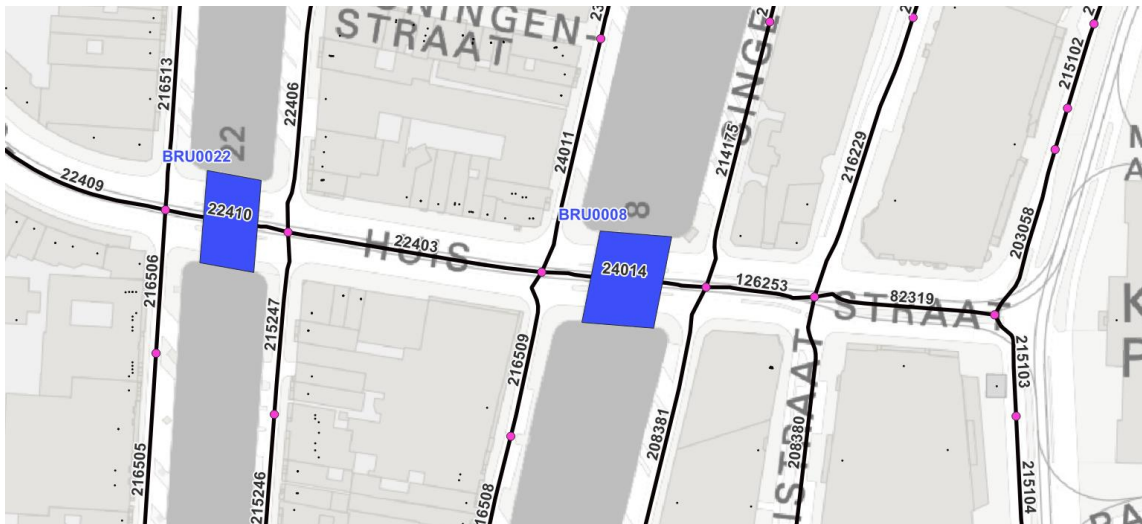
Voor het verkeersnetwerk wordt gebruik gemaakt van het autonetwerk uit het Verkeersmodel Amsterdam (VMA) (Amsterdam, 2022). Uit dit netwerk zijn de wegvakken gebruikt die in en om de gemeente Amsterdam liggen.

3.2 Prepareren data

In drie stappen wordt de data klaargezet om de analyses mee uit te voeren.

Stap 1:

Alle bruggen binnen de scope van het Programma Bruggen & Kademuren zijn gekoppeld aan het betreffende wegvak. In Figuur 1 is als voorbeeld te zien dat brug 22 is gekoppeld aan wegvak 22410 en brug 8 aan 24014.



Figuur 1: Koppeling bruggen en adressen aan relevant wegvak.

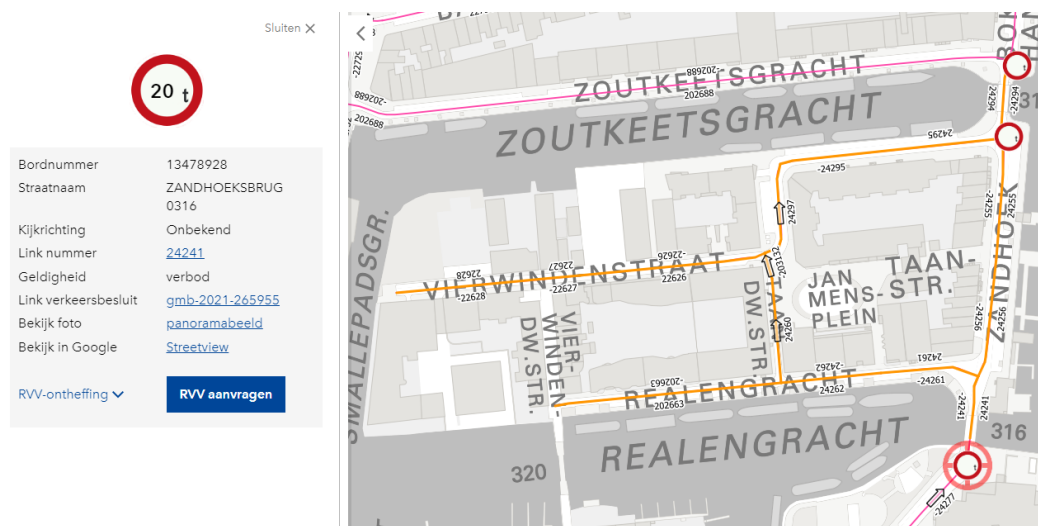
Stap 2:

De geolocaties van alle adressen in Amsterdam zijn bepaald en gekoppeld aan het dichtstbijzijnde wegvak. De adressen zijn de kleine zwarte puntjes in Figuur 1. Hierbij zijn de volgende aannames gebruikt:

- Elk adres is gekoppeld aan de dichtstbijzijnde link met dezelfde straatnaam
- De overgebleven adressen zijn gekoppeld aan de dichtstbijzijnde link
- Adressen die meer dan 50m van een wegvak liggen zijn niet gekoppeld

Stap 3:

Relevante verkeersborden voor zwaar verkeer (lastbeperking, hoogtebeperking, aslastbeperking) zijn handmatig gekoppeld aan het wegvak waar ze betrekking op hebben. In Figuur 2 is het verkeersbord met een 20 ton lastbeperking gekoppeld aan wegvak 24241.



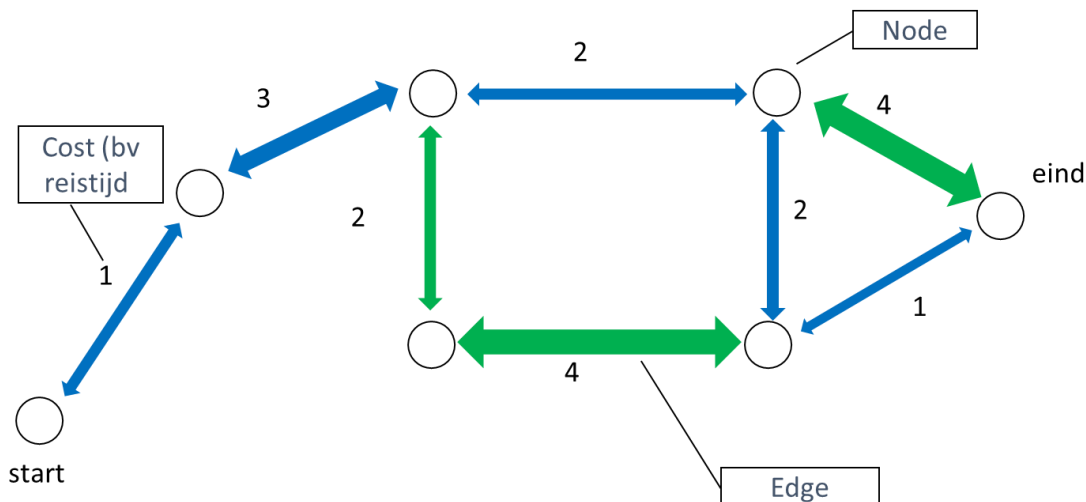
Figuur 2: Koppeling verkeersborden aan wegennetwerk.

3.3 Algoritme bereikbaarheid

De basis voor de analyse is het Dijkstra's Shortest Path algoritme (Dijkstra, 1959), waarmee in een netwerk berekend kan worden wat de kortste route is om van punt a

naar punt b te komen. Met het algoritme kan ook worden vastgesteld of er überhaupt een route mogelijk is naar een punt in het netwerk. Door een koppeling te maken van de bruggen aan het verkeersnetwerk van Amsterdam is het mogelijk één voor één alle bruggen uit het netwerk te halen en te berekenen of er dan nog een route mogelijk is. Door de koppeling van adressen aan het netwerk kan zo ook berekend worden hoeveel adressen dan onbereikbaar worden.

In Figuur 3 staat een versimpelde versie van een netwerk zoals deze door het algoritme wordt gebruikt.



Figuur 3: Schematisch overzicht van Dijkstra's Shortest path (Dijkstra, 1959). In dit geval gaat de kortste route over de blauwe pijlen omdat in dit geval de geaggregeerde cost het laagst is.

In bovenstaand voorbeeld wordt een specifieke route gevraagd tussen twee nodes. Zoals gezegd kan met het algoritme ook worden vastgesteld of er überhaupt een route mogelijk is van een node naar de andere nodes in het netwerk. Hiervan zijn twee varianten gebruikt in het onderzoek:

- Dijkstra's One to many: Het algoritme zoekt naar een route vanaf een startnode naar alle andere nodes in het netwerk. In onze context is bepaald of het mogelijk was om vanuit de startnode op de A10 naar alle overige nodes in het netwerk te komen.
- Dijkstra's Many to one: Het algoritme zoekt naar een route vanaf alle nodes naar een eindnode in het netwerk. In onze context is voor iedere node in het netwerk vastgesteld of het mogelijk was om vanuit die node naar een eindnode op de A10 snelweg te komen.

De richtingsgevoeligheid is van belang omdat er meerdere 1-richtingswegen in Amsterdam zijn.

In de analyse wordt herhaaldelijk gebruik gemaakt van het Dijkstra algoritme

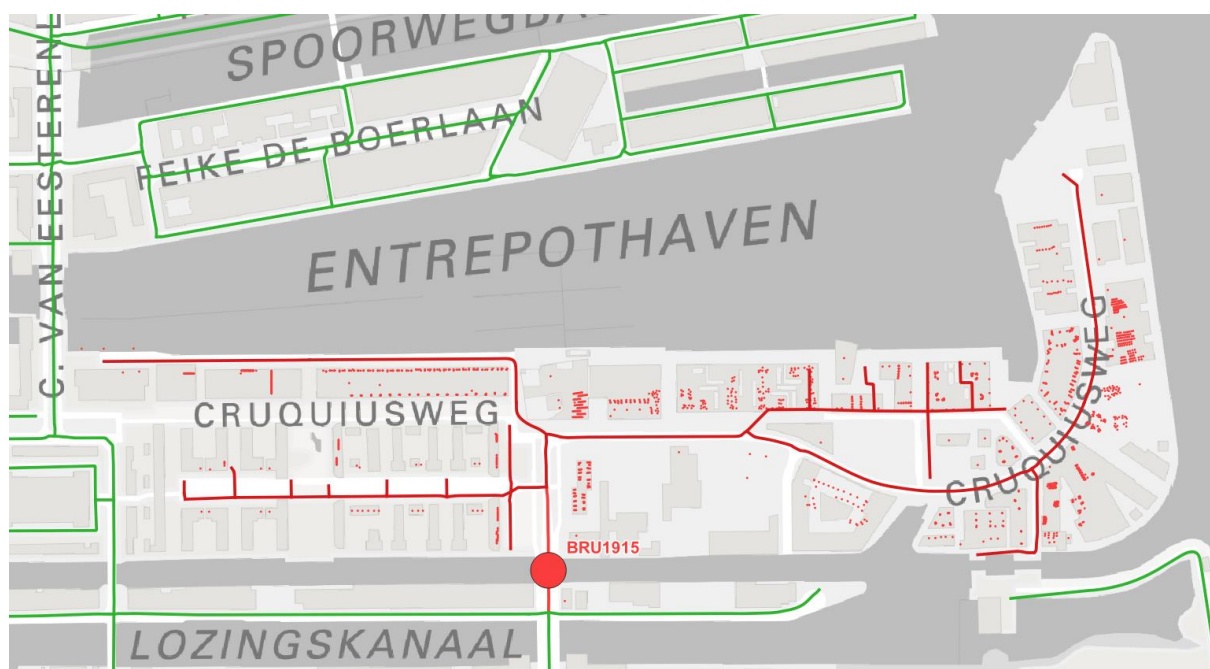
3.4 Analyse bereikbaarheid

Er zijn 4 verschillende analyses uitgevoerd met als doel het bepalen van de bereikbaarheid. In deze paragraaf staan ze chronologisch beschreven.

Om te kunnen weten of een onbereikbaar adres wordt veroorzaakt door een aanpassing in het netwerk (verwijderen brug) is eerst de 'nulwaarde' van het netwerk bepaald. Er zijn adressen die altijd onbereikbaar zijn vanwege foutjes in het netwerk, een model is een versimpelde versie van de werkelijkheid. Iedere berekening n.a.v. verwijderen van een brug geeft een aantal onbereikbare adressen als resultaat. Door hier de nulwaarde vanaf te trekken blijft het aantal adressen over dat onbereikbaar wordt door de uitval van de brug. Als hier onbereikbare adressen uit volgen, geeft dit aan dat de brug essentieel is.

Analyse 1: algemene bereikbaarheid.

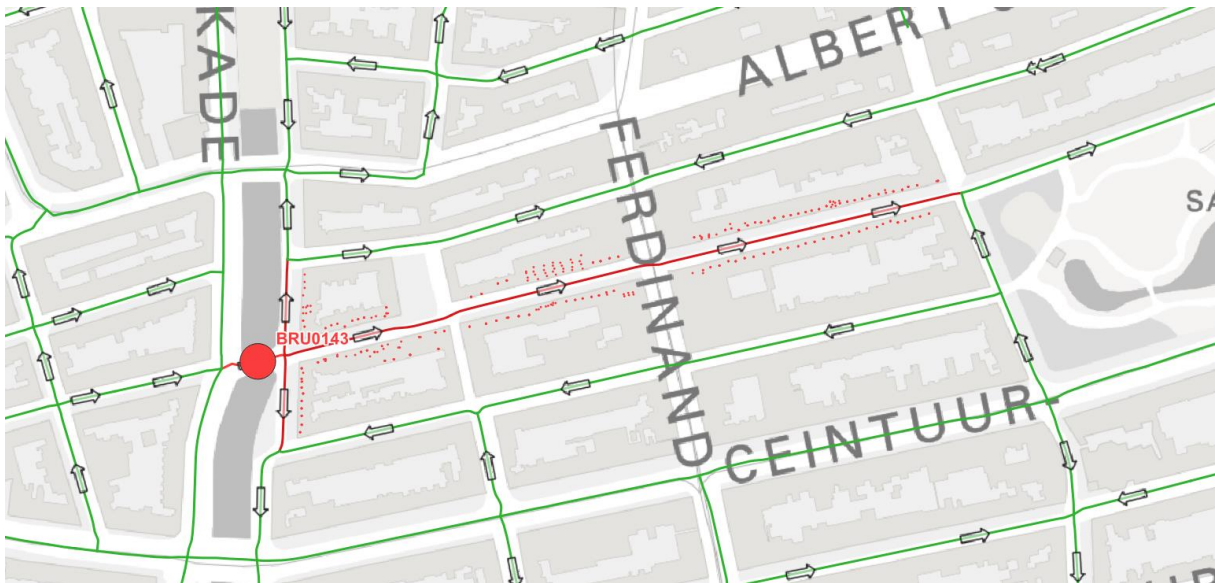
Eén voor één worden alle bruggen uit het netwerk gehaald en berekend welke adressen dan niet bereikbaar zijn voor autoverkeer. In eerste instantie is geen rekening gehouden met de rijrichting van straten (undirected netwerk). Op deze manier konden bruggen worden gevonden die ongeacht de rijrichting essentieel zijn voor het ontsluiten van adressen. In latere stappen is hier wel rekening mee gehouden (directed netwerk). In Figuur 4 is als voorbeeld brug 1915 uit het netwerk gehaald, hierin is geen rekening gehouden met de rijrichting van straten. Dit leidt tot meer dan 2000 onbereikbare adressen op Cruquius eiland.



Figuur 4: Brug 1915 en dus het wegvak wordt uit het netwerk gehaald en vanaf de startnode op de A10 wordt gekeken of alle andere nodes in het netwerk nog bereikt kunnen worden. Alle rode wegen en adressen worden zo onbereikbaar.

Door in de analyse wél rekening te houden met de rijrichting komen nog aanvullende bruggen naar voren. In Figuur 5 is brug 143 uit het netwerk gehaald en is berekend of er een route gevonden kan worden naar alle wegen (De richting van de pijlen geeft de rijrichting aan). In dit geval is dat niet mogelijk voor de rode wegen, wat resulteert in een paar honderd onbereikbare adressen.

Met een soortgelijke methode is onderzocht of het mogelijk is om weg te komen vanaf alle adressen.



Figuur 5: Brug 143 en het onderliggende wegvak worden uit het netwerk gehaald.

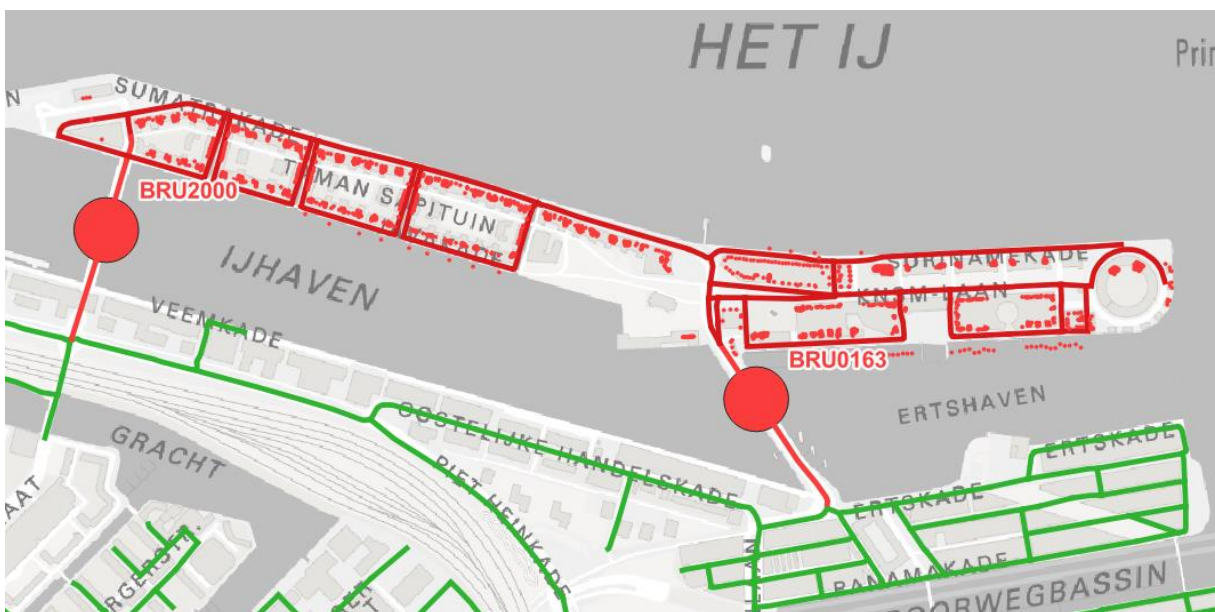
Analyse 2: bereikbaarheid bij combinaties van bruggen.

In deze stap alle combinaties van 2 bruggen uit het netwerk gehaald en doorgererekend.

In deze analyse zijn de volgende bruggen opgenomen:

- alle bruggen uit de scope.
- minus de bruggen die op zichzelf essentieel zijn, onafhankelijk van de rijrichting.

Doel hiervan was het onderzoeken van de robuustheid van de bereikbaarheid in het netwerk. In totaal ging dit om 755 bruggen, wat leidde tot $755 \times 754 / 2 = 284.835$ combinaties. In Figuur 6 is een voorbeeld te zien bij Javaeiland, waarbij de uitval van twee bruggen leidt tot 3000 onbereikbare adressen. Uitval van 1 van deze 2 bruggen leidt tot slechts één alternatieve route, die over de andere brug gaat.



Figuur 6: De combinatie van brug 2000 en brug 163 is uit het netwerk gehaald en doorgererekend. Uitval van beide bruggen geeft duizenden onbereikbare adressen.

Analyse 3: bereikbaarheid voor groot en zwaar verkeer.

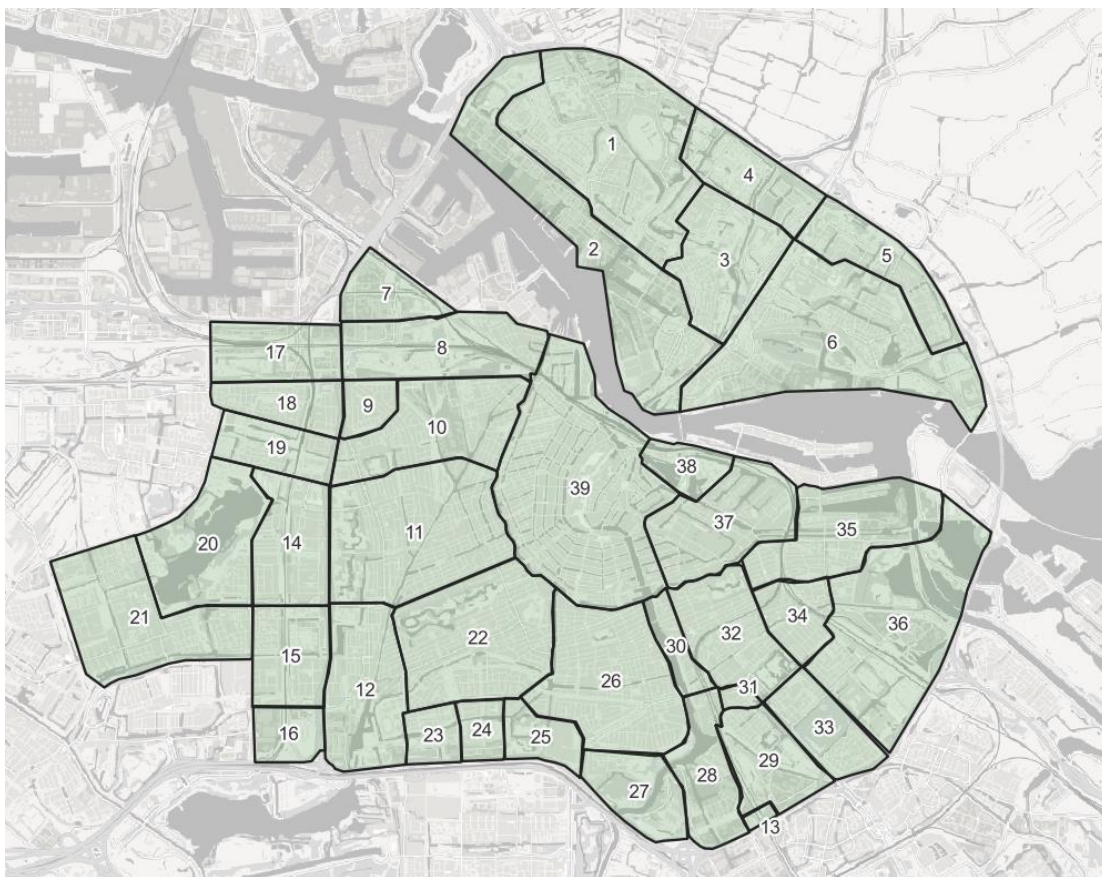
In analyse 1 en 2 is uitgegaan van personenautoverkeer en is geen rekening gehouden met specifieke verkeersborden op straat voor grote en zware voertuigen. Om te bepalen of alle adressen nog bereikbaar zijn voor grote en zware voertuigen is in deze stap bepaald wat het effect is als bruggen uitvallen en er rekening moet worden gehouden met aanvullende beperkingen voor groot en zwaar verkeer. Alle bruggen zijn doorgerekend met verschillende combinaties van restricties voor grote en zware voertuigen. In Figuur 7 is een voorbeeld te zien van een situatie die dan inzichtelijk wordt. Brug 318 is essentieel voor voertuigen hoger dan 3,8m, aangezien bij uitval van brug 318 de enige alternatieve route onder het spoor aan de zuidkant is.



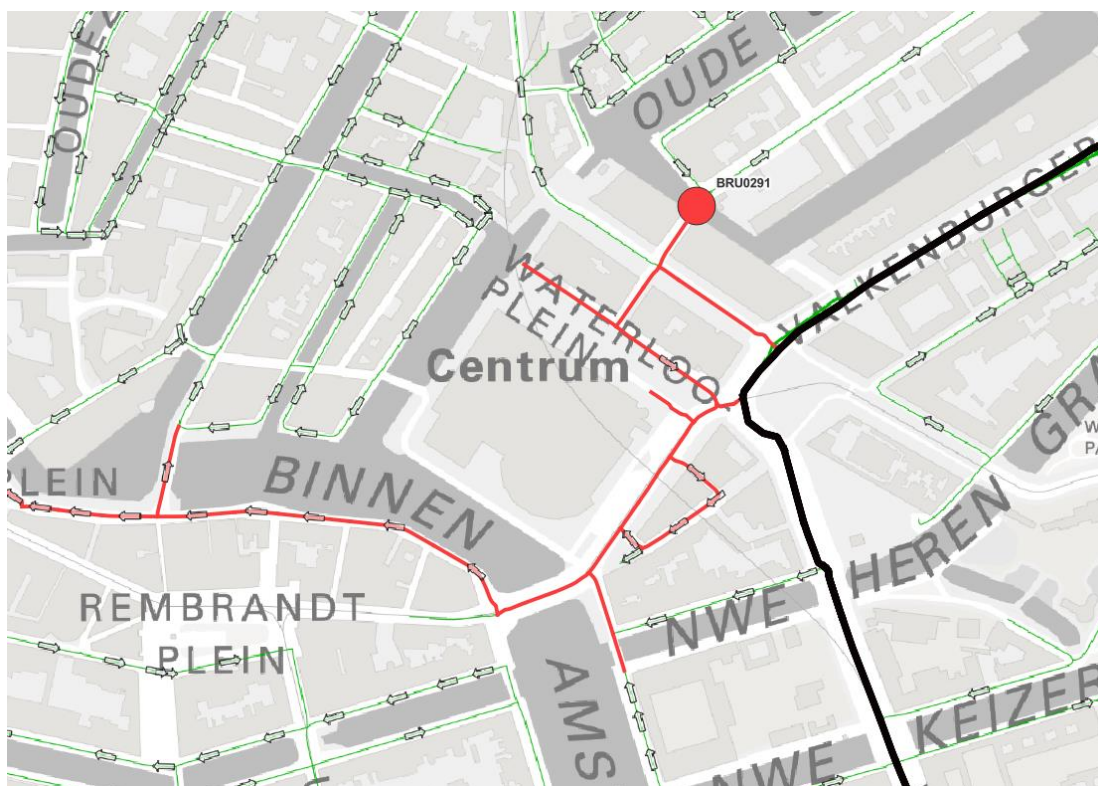
Figuur 7: Brug 318 ligt Noordelijk van de Westelijke eilanden. Uitval van deze brug zorgt ervoor dat er slechts 2 alternatieve routes overblijven via de zuidkant. Deze route is echter niet toegestaan voor voertuigen hoger dan 3,8m.

Analyse 4: brug in combinatie met werkzaamheden.

Doel van deze stap is bepalen welke bruggen essentieel zijn voor bereikbaarheid in combinatie met het wegvallen van wegvakken op het hoofd- en plusnet. Het doel is om aan te tonen dat de bereikbaarheid tijdens wegwerkzaamheden gewaarborgd kan worden. Er wordt nu dus niet gekeken naar brug/brug combinaties maar naar brug/wegvakcombinatie. De gebieden die we bekijken zijn omsloten door hoofd- en plusnetten. Zie Figuur 8. We sluiten alleen bruggen af in de twee aan het wegvak grenzende gebieden, er vanuit gaande dat hoofd- en plusnetten altijd op een manier bereikbaar moeten zijn. De bereikbaarheid wordt rijrichting specifiek met het Dijkstra algoritme gecontroleerd.



Figuur 8: Overzicht zones en wegsegmenten zoals gebruikt in de analyse.



Figuur 9: De rode wegen worden onbereikbaar doordat zowel brug 291 als het zwarte wegsegment is gestremd.

In Figuur 9 is brug 291 uitgevallen in combinatie met het gehele wegsegment in zwart. Zoals te zien is leidt dit tot onbereikbare wegen rondom het Waterlooplein. Indien er werkzaamheden zouden zijn op dit wegsegment betekent het dus dat brug 291 een essentiële rol krijgt in het netwerk.

Tot slot is dezelfde analyse nog een keer uitgevoerd met twee bruggen en een wegsegment.

3.5 Analyse reistijd

Om te berekenen wat het effect is van het uitvallen van een brug op de reistijd is de Urban Strategy Tool (UST) (Lohman, et al., 2023) gebruikt. De UST is een versimpelde versie van het VMA en maakt het mogelijk om snel de effecten van verkeersmaatregelen te berekenen. Het is mogelijk om de veranderde verkeersvolumes als gevolg van afsluitingen, capaciteitsbeperkingen en mobiliteitsmaatregelen in kaart te brengen. Door de snelheid van het model zijn makkelijk veel varianten door te rekenen en vergelijken met elkaar. Dit wordt over het algemeen uitgevoerd via een website, waarin de resultaten grafisch worden weergegeven.

Voor deze studie is gebruikt gemaakt van een REST API waarmee netwerkaanpassingen door een stukje software worden doorgegeven en een nieuwe toedeling wordt gemaakt (Mozilla, 2023). Deze resultaten worden vervolgens door de software weer opgehaald. Deze resultaten worden dan automatisch verwerkt met een script tot voertuigverliesuren. Deze functionaliteit is ontwikkeld door TNO en voor het eerst gebruikt in deze studie.

In deze analyse zijn één voor één de bruggen uit het netwerk gehaald en berekend wat de nieuwe totale reistijd is van al het autoverkeer in het netwerk. Bruggen die in de bereikbaarheidsanalyse leiden tot onbereikbare adressen zijn buiten beschouwing gelaten. Dit is vergeleken met de totale reistijd van het referentienetwerken om de voertuigverliesuren van het scenario zonder brug vast te stellen. Op basis hiervan is een rangorde gemaakt, waarbij de brug met de meeste voertuigverliesuren het minst in aanmerking komt voor functieherwaardering, en de brug met de minste voertuigverliesuren het minste effect heeft voor de gemiddelde weggebruiker in Amsterdam.

4. Resultaten

4.1 Effect bereikbaarheid

Voor alle bruggen binnen de scope van het programma Bruggen in Kademuren (zie sectie 3.1) is bepaald in hoeverre deze essentieel zijn voor de bereikbaarheid van adressen in de stad en de robuustheid van het netwerk. Dit is samengevat in Tabel 1: Samenvatting resultaat algemene bereikbaarheid. In Figuur 10, aan het einde van deze paragraaf staat het totale overzicht van de resultaten. De rode bruggen tonen de bruggen die onafhankelijk van de rijrichting op het netwerk voor onbereikbare adressen zorgen. De bruggen waarbij de rijrichting op het netwerk relevant is voor de bereikbaarheid zijn oranje weergegeven. De gele bruggen zijn de bruggen die in combinatie met 1 andere

brug en afhankelijk van rijrichting zorgen voor adressen die niet meer bereikt kunnen worden. Dit zijn de resultaten van analyse 1 en 2 uit sectie 3.1.

Tabel 1: Samenvatting resultaat algemene bereikbaarheid.

Algemene bereikbaarheid

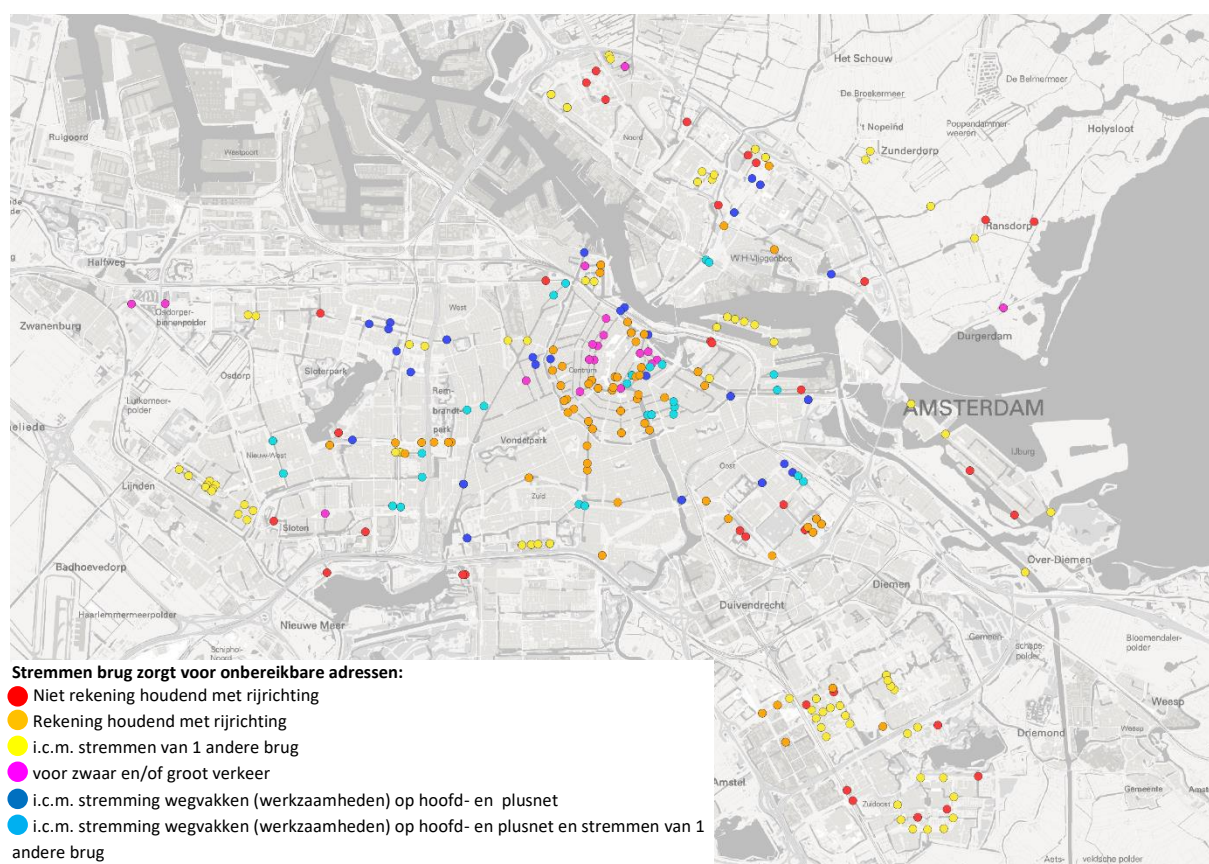
Enkele brug - ongeacht rijrichting	35
Enkele brug - in achtneming rijrichting	63
Combinatie van 2 bruggen	89
Totaal unieke bruggen	175

Voor analyse 3, 4 en 5 uit sectie 3.1 wordt gekeken naar zwaar verkeer of de combinatie van werkzaamheden op het hoofd- en plusnet in combinatie met afgesloten bruggen. In Tabel 2 staan de resultaten van deze 3 analyses opgenomen. In Figuur 10 komen de essentiële bruggen voor zwaar verkeer terug in magenta, en de bruggen essentieel bij werkzaamheden terug als donker- en lichtblauw.

Tabel 2: Samenvatting resultaat vervolgonderzoek bereikbaarheid.

Vervolgonderzoek bereikbaarheid

Groot en zwaar verkeer	22
Werkzaamheden – enkele brug	34
Werkzaamheden – combinatie van 2 bruggen	21



Figuur 10: Resultaten van bereikbaarheidsanalyse

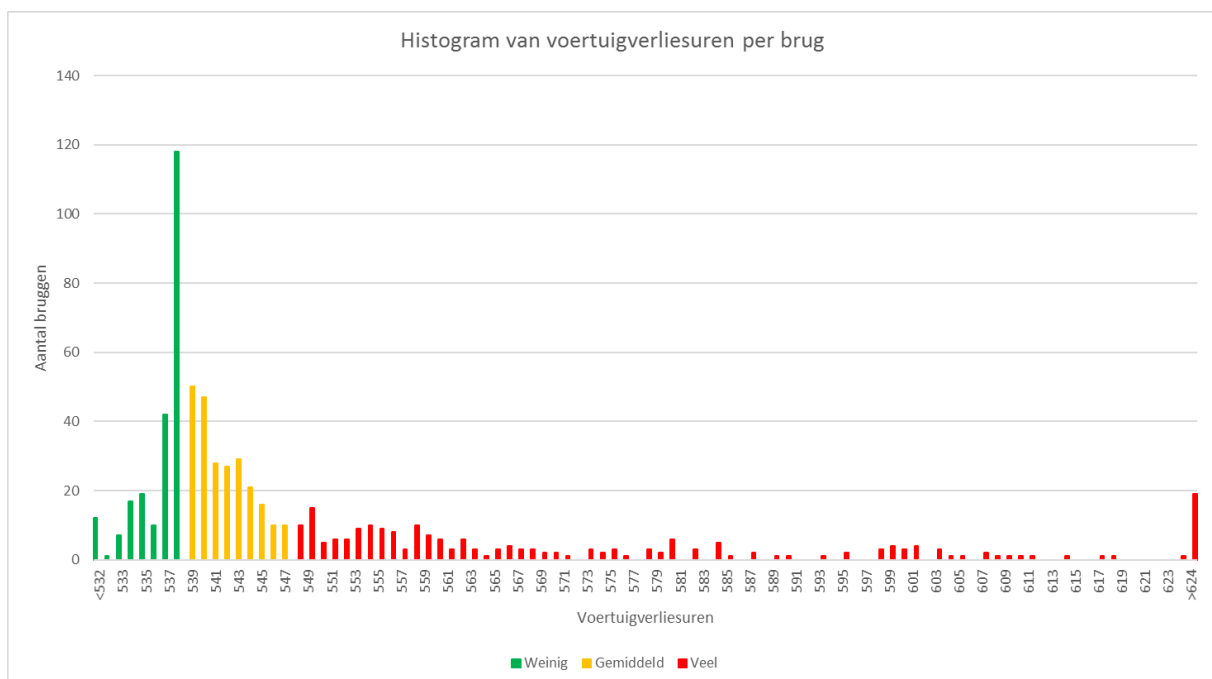
Interpretatie van de resultaten

Er is in deze analyse uitgegaan van 1 specifiek verkeersnetwerk. Dat het wegnemen van een brug zorgt voor onbereikbare adressen betekent niet dat er geen oplossingen mogelijk zijn. Denk bijvoorbeeld aan het omdraaien van de rijrichting of van een fietspad een verkeersweg te maken. Echter zijn we in deze analyse bij het specifieke verkeersnetwerk gebleven en hebben we niet naar maatwerkoplossingen gezocht. Een rode brug in Figuur 10 is dus niet per definitie onmogelijk in functie te wijzigen, het geeft wel aan dat de uitdaging groter is.

4.2 Effect reistijd

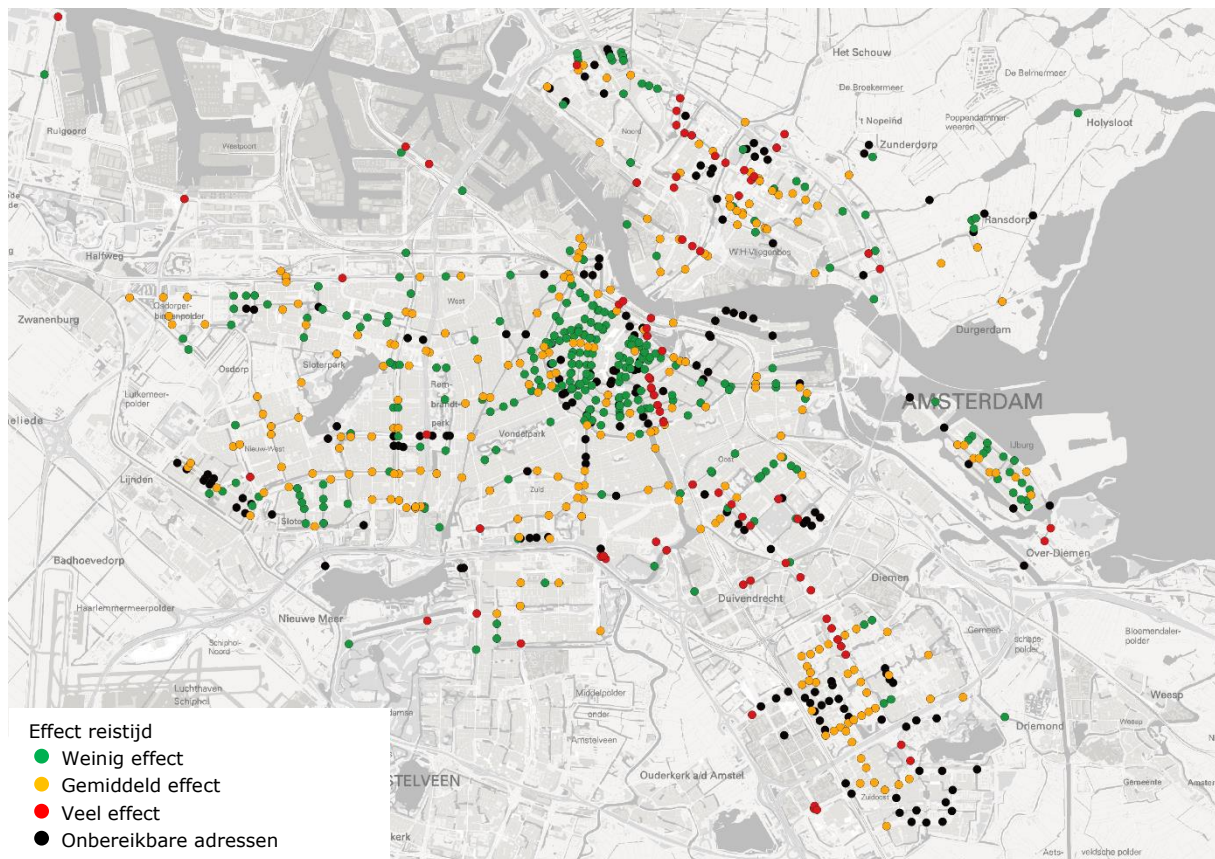
Met de Urban Strategy Tool is voor iedere brug berekend hoeveel extra reistijd het kost wanneer deze brug niet beschikbaar is.

In Figuur 11 is de extra reistijd voor iedere brug uitgezet in een histogram. Wat opvalt is dat de extra reistijd voor veel bruggen dicht op elkaar ligt met een lange staart met veel extra reistijd: Er zijn 224 van de 607 doorerekende bruggen met een extra reistijd tussen de 534 en 539 uur. Een verklaring hiervoor kan zeer waarschijnlijk gevonden worden in de fijnmazigheid van de verkeersbruggen in het netwerk. Doordat er veel bruggen dicht op elkaar liggen is het effect op de totale reistijd van de ene of andere brug nauwelijks verschillend.



Figuur 11: Histogram van voertuigverliesuren per afgesloten brug

Voor de presentatie van de resultaten willen we de bruggen indelen in een beperkt aantal categorieën, namelijk groen (weinig effect reistijd), oranje (gering effect reistijd) en rood (veel effect op de reistijd). Door de scheve verdeling worden deze grenzen echter al snel arbitrair. De gekozen verdeling, samen met de essentiële bruggen in het zwart, levert het overzicht op uit Figuur 12.



Figuur 12: Resultaat reistijd- en bereikbaarheidsanalyse

Gezien de arbitraire grenzen voor de voertuigverliesuren worden de reistijden in het proces nu niet als harde eis gehanteerd. Tussen twee bruggen is het wel mogelijk om te kijken welke brug er meer effect heeft op de reistijd. Maar als twee bruggen naast elkaar zitten in de rangorde dan is het model niet nauwkeurig genoeg om een brug als minder effect dan de andere brug te bestempelen.

5. Conclusies

De opgave voor de Gemeente Amsterdam ten aanzien van bruggen en kademuren die in mindere staat verkeren is onverminderd actueel. Daarnaast dagen duurzaamheidsdoelstellingen de Gemeente uit om op een andere manier naar deze opgave te kijken. In plaats van altijd over te gaan op vervanging wordt nu ook gekeken naar functieherwaardering. Met de analyse uit 'tonnetje minder' worden oplossingsrichtingen visueel en worden handvatten geboden om snel inzicht te krijgen in het bereikbaarheidseffect van bruggen waar functieherwaardering overwogen wordt. Aanvullende analyses blijven natuurlijk altijd mogelijk. Maar met de behaalde resultaten kan een eerste schifting worden gemaakt. Maar ook de kansen en beperkingen worden direct inzichtelijk en geeft feitelijke input aan het gesprek met de stakeholders. Hiermee gaat de opvolgende discussie ook over de feiten en mogelijkheden.

Functieherwaardering vraagt om een uitgebreid proces. Er zijn veel belanghebbenden en meer aspecten van belang dan bereikbaarheid van adressen. Door de opdracht 'tonnetje

minder' is een eerste slag geslagen in directie overstijgend werken, waarin meerdere ambities, ontwikkelingen en opgaven worden geraakt.

Met een bekend en relatief eenvoudig algoritme als Dijkstra is een methodiek ontwikkeld om snel bereikbaarheidseffecten van verschillende varianten van stremmingen (tijdelijk of permanent) door te rekenen. De informatie is daarmee voor de hele stad beschikbaar en niet slechts voor 1 brug. Binnen Amsterdam is deze methodiek voor het eerst toegepast en heeft tijdens het gebruik potentie laten zien voor toepassing bij meerdere doeleinden. Zo wordt er bijvoorbeeld gesproken om een vergelijkbare analyse toe te passen voor de kademuren in Amsterdam.

Deze methodiek kan ook worden toegepast in andere steden. Als er informatie beschikbaar is over het wegennetwerk en locaties van bruggen, dan kan de analyse worden uitgevoerd.

6. Referenties

Amsterdam is nog niet jarig. 2021. [Film] Regisseur: Simone de Vries, Dieuwke Wynia. Nederland: sn

Amsterdam, G., 2022. *Uitgangspunten Verkeersmodel Amsterdam 4.0*, Downloaden via <https://api.data.amsterdam.nl/dcatd/datasets/zTHEXVzwMqQI9w/purls/2>: sn

Anon., 2022. *Amsterdams Akkoord*. Amsterdam: sn

Dijkstra, E., 1959. A note on two problems in connexion with graphs. Volume 1.

Gemeente Amsterdam, 2022. *Gefundeerd herstellen, actieplan bruggen en kademuren 2023-2026*. sl:sn

Heus, A., Bakker, I. & Eckardt, F., 2023. *Eindpresentatie: Over bruggen*. Amsterdam: sn

Lohman, W. et al., 2023. *Building digital twins of cities using the Inter Model Broker framework.*, sl: Future Generation Computer Systems, 148, 501-513.

Mozilla , 2023. *Introduction to web API's*. [Online]

Available at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Client-side_web_APIs/Introduction

[Geopend 28 08 2023].

What if lab, 2023. *multifunctionele bruggen voor het stadsleven*. [Online]

Available at: <https://whatiflab.nl/multifunctionele-bruggen-voor-het-stadsleven/>
[Geopend 10 08 2023].