

Optimalisatie Stedelijk Netwerk Amsterdam, interoperabiliteit Metro/Trein

Barth Donners – Royal HaskoningDHV – barth.donners@rhdhv.com

Merlijn van Beurden – Sweco – merlijn.vanbeurden@sweco.nl

Nicoline Dammers – TU Delft – nicolinedammers@gmail.com

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 22 en 23 november 2018, Amersfoort

Samenvatting

Het kriebelt in de stad. De mobiliteit rondom de grote steden staat onder druk, de netwerken raken vol en uitbreidingen zijn politiek moeilijk bespreekbaar en in de publieke opinie niet te verantwoorden door de hoge investeringskosten. Toch blijft de vraag naar mobiliteit toenemen als gevolg van de verdere verstedelijking en economische groei binnen de stedelijke gebieden. Dit vraagt om oplossingen om de steden bereikbaar te houden en de reiziger te voorzien in zijn behoeftes.

Voor Amsterdam lijkt dit probleem ook na de opening van de Noord/Zuidlijn te blijven bestaan en van verschillende kanten komen geluiden voor slimme en innovatieve oplossingen door gebruik te maken van bestaande infrastructuur van andere modaliteit. Interoperabiliteit zou hierbij als een afgeleide van het Karlsruhe model een oplossing moeten bieden op het raakvlak tussen stedelijke en regionale mobiliteit. Desalniettemin dient het OV-netwerk de reiziger ten dienst te zijn en zich te schikken naar de herkomsten en bestemmingen van de reiziger.

In een drietal onderzoeken is een optimalisatie van het stedelijke railnetwerk van Amsterdam (metro en trein) beschreven. Uitgangspunt hierin is dat interoperabiliteit kan en is gerealiseerd. Als startpunt is een theoretisch model opgesteld binnen het kader van het Transit Network Design Problem voor de optimalisatie van stoppatronen en frequenties binnen een netwerk met meerdere servicetypes: SPAFOM. Binnen het framework is rekening gehouden met capaciteitsrestrictie, maar in de initiële toepassing is juist de restrictie in de case-study van Amsterdam weggelaten om inzicht te krijgen in de discrepantie tussen gewenste en werkelijke capaciteit. Door de focus op maatschappelijke kosten van de reiziger, wachttijd en looptijd, bleek de vraag naar hoge frequenties dusdanig groot dat sommige stukken spoor 384 treinen per uur zouden moeten faciliteren. Dit roept echter wel de vraag op hoe om te gaan met dergelijke maatschappelijke kosten bij de reiziger in de afweging voor (nieuwe) infrastructuur.

Op basis van deze ervaringen is de capaciteitsrestrictie voor Amsterdam toegevoegd aan het optimalisatie model. Om rekentijd en model te optimaliseren is hierbij gekeken naar maatgevende bottlenecks in het railnetwerk. Verder is ook meer aandacht besteed aan de voertuigcapaciteit voor een betere passagierstoedeling.

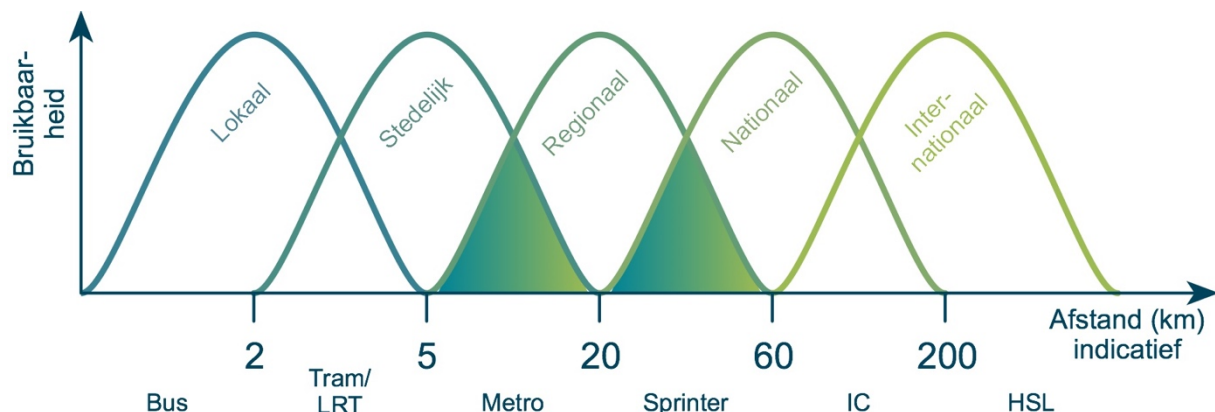
Resteert de vraag wat de invloed is op interoperabiliteit op het Amsterdamse netwerk en of interoperabiliteit daadwerkelijk ook een meerwaarde biedt. Hiervoor is het ook noodzakelijk om in kaart te brengen welke investeringen noodzakelijk zijn voor het doortrekken van de Noord/Zuidlijn naar Schiphol. Realisatie van interoperabiliteit vergt een investering van €56-65 miljoen tegenover €2,1-3,4 miljard aan investeringen voor traditionele verlenging van de Noord/Zuidlijn naar Schiphol. Het effect van interoperabiliteit is voor alle scenario's positief. Het meest in het oog springende resultaat is de verandering en verschuiving in stationsgebruik waardoor er veel minder belasting op de drukke punten in het netwerk komt te liggen, een van de aandachtspunten in de NMCA. De keuze voor interoperabiliteit dient wel te worden gefaciliteerd, met name bestuurlijk en in regelgeving.

1. Inleiding

De mobiliteit in grote steden staat onder druk als gevolg van verdere verstedelijking en de verwachte economische groei. Dit resulteert in meer druk op OV-lijnen en stations en in een grotere behoefte aan investeringen om de capaciteit te vergroten. De toename aan vervoervraag kan nog maar moeilijk worden opgevangen door een vergroting van het verkeersaanbod. Het Nederlandse spoornetwerk raakt vol (ProRail, 2018) en de grenzen van het spoorstelsel worden bereikt.

Toch is de behoefte naar mobiliteit onverminderd groot. De bevolkingsgroei in het stedelijk gebied rondom Amsterdam zal het grootste knelpunt in personenvervoer zijn in 2040 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). De opening van de Noord/Zuidlijn op 22 juli heeft enige verlichting en vernieuwing gebracht in het stedelijke railnetwerk. De lijnvoering van het tramnetwerk is meer Oost-West georiënteerd waar het metronetwerk een Noord-Zuid oriëntatie heeft. Een innovatieve benadering ten opzichte van openbaar vervoer in de toekomst zou kunnen bijdragen aan het oplossen van deze knelpunten.

De invulling van het railsysteem rondom Amsterdam staat ter discussie. Nog voordat de Noord/Zuidlijn werd geopend waren er geluiden om de lijn door te trekken naar Schiphol, (Koops, 2017). Hiermee zouden metro's van Amsterdam Centraal naar Schiphol over het spoornetwerk naar Schiphol rijden. Anderzijds bestaat er de visie om sprinters van Amsterdam Amstel naar Centraal via de metrotunnel te laten rijden. Randvoorwaarde hiervoor is de interoperabiliteit tussen het metro en treinnetwerk rondom Amsterdam.



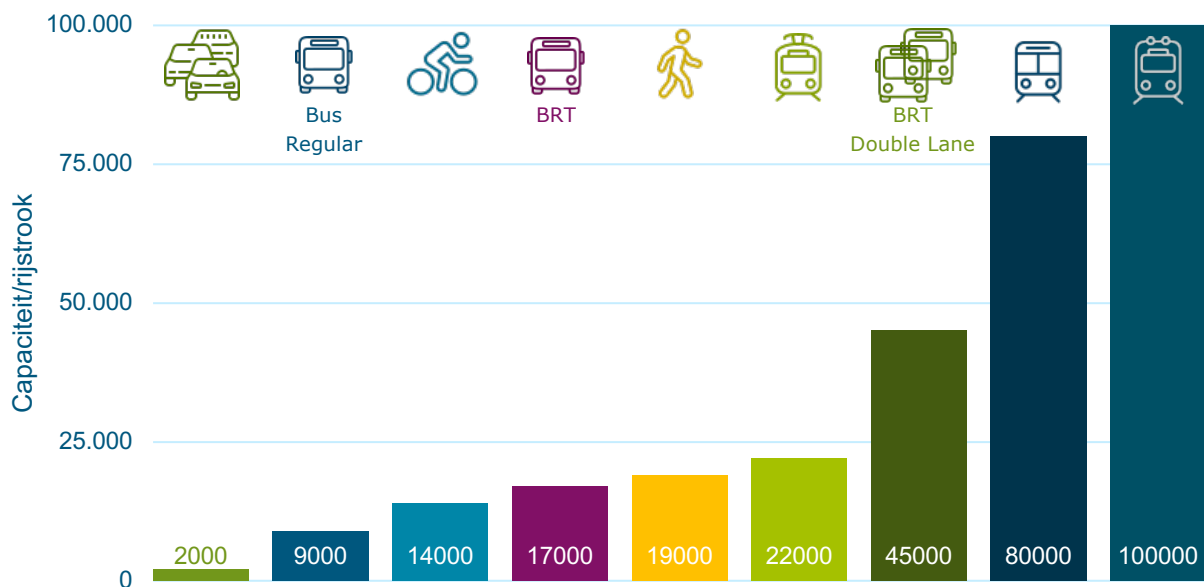
Figuur 1.1, Afstand/bruikbaarheid van modaliteiten, Adapted from: (Govers, 2017; Van Beurden, 2017)

De efficiëntie van het railsysteem is sterk afhankelijk van de verschillende karakteristieken van het materieel en de services. In een perfect homogeen systeem, zoals de metro, kan de capaciteit worden gemaximaliseerd. Voor het heterogene spoornetwerk wordt echter de bereikbaarheid geoptimaliseerd. In de stedelijke gebieden ontstaat echter een diffuus beeld voor de geschiktheid van vervoerwijzen. De stoppatronen en frequenties zijn door samenloop van infrastructuur vergelijkbaar. De reiziger maakt zijn keuze op basis van reistijd, beschikbaarheid en toegankelijkheid (van Nes and Bovy, 2000).

In hoofdstuk 2 is de probleemstelling verder uitgewerkt. In hoofdstuk 3 is ingegaan op de huidige state-of-the-art omtrent de optimalisatie van OV-netwerken. Het ontwikkelde model voor de optimalisatie is uitgewerkt in hoofdstuk 4. De invloed van capaciteit op het netwerk van Amsterdam is apart toegevoegd in de modellering met nieuwe resultaten, (hoofdstuk 5). Hoofdstuk 6 behandelt de scenario's en toetsing van interoperabiliteit.

2. Probleemstelling

Toekomstige ontwikkelingen sturen op een herstructurering van de verschillende bedieningsniveaus in de netwerken. Enerzijds definieert het Toekomstbeeld OV 2040 een vijftal netwerk niveaus, (Moreelse Tafel, 2016), om het beste bij de bruikbaarheid en de wensen van de reiziger aan te sluiten. Anderzijds is het lastig om verschillende stoppatronen die horen bij netwerkniveaus in te passen op het dichte en drukke Nederlandse spoornetwerk, (Donners and Leyds, 2017). Parallel spelen ook de innovaties en ontwikkelingen van automatische voertuigen. In de bestuurlijke discussies worden automatische voertuigen, in combinatie met de mogelijke inzet van Mobility as a Service (MaaS) als oplossing voor de mobiliteitsproblemen regelmatig genoemd. De beperkingen in de beschikbare fysieke ruimte en het gebruik daarvan, dicteert echter dat rail gebonden openbaar vervoer de grootste capaciteit kan bieden, zie Figuur 2.1. Een optimalisatie van het gebruik van de huidige railinfrastructuur in combinatie met interoperabiliteit tussen verschillende modaliteiten ligt daarmee het meest voor de hand.



Figuur 2.1, capaciteit per rijstrook (per uur per richting) van verschillende modaliteiten, (UITP; GIZ, 2015).

In opeenvolgende onderzoeken is gekeken naar de optimalisatie van het stedelijke spoornetwerk rondom Amsterdam. Allereerst is gekeken naar een algemeen framework om stoppatronen en frequenties te optimaliseren met in acht name van verschillende servicetypes en beperkte infrastructuur capaciteit, (Van Beurden, 2017). In de uitwerking van de case-study is hierbij bewust de keuze gemaakt om de beperking van capaciteit los te laten, voor een realistischer beeld is deze later toegevoegd, (Houtsma, 2018). Op basis van deze inzichten lijkt interoperabiliteit een zeer waardevolle oplossing om de infrastructuur rondom Amsterdam beter te benutten. Als laatste is gekeken wat de invloed is van interoperabiliteit van het netwerk (Dammers, 2018), waarbij ook nadrukkelijk is gekeken naar de technische uitwerking van interoperabiliteit tussen het Amsterdamse metrosysteem en de Nederlandse HRN.

Voor dit paper worden de bevindingen van deze onderzoeken gecombineerd en kan de hoofdvraag worden gesteld: Gegeven de vervoersvraag van Amsterdam in 2040, hoe ziet een geoptimaliseerd, interoperabel railnetwerk eruit en wat is dan de impact voor de reiziger?

3. Transit Network Design Problem

De optimalisatie van stoppatronen en frequenties in een openbaarvervoernetwerk is onderdeel van het Transit Network Design Problem (TNDP). Binnen het TNDP is het uitgangspunt dat reizigers op een zo efficiënt mogelijke wijze van herkomst naar bestemming dienen te komen met behulp van OV-lijnen. Ten opzichte van het traditionele *Transport Network Design* is het TNDP complexer omdat niet alleen naar het aanbod van een link wordt gekeken, maar ook naar de groepering van verschillende routes op een link.

Het ontwerp en de optimalisatie van een netwerk is een beoordeling op het hoogste, strategische niveau. Binnen dit niveau worden de lijnen en haltes gedefinieerd en geselecteerd en indien nodig ook een voorlopige keuze met betrekking tot frequenties. Binnen het onderzoek, (Van Beurden, 2017), is gekozen om vanuit de wetenschappelijke context op de meest relevante variabelen te optimaliseren.

3.1 Geselecteerde eigenschappen van de optimalisatie

In totaal is een set van 8 eigenschappen geselecteerd om de optimalisatie in een wetenschappelijke context te plaatsen. Het gaat hierbij om de volgende eigenschappen van het model: beslissingsvariabelen, passagierstoedeling, optimalisatiebeperkingen, beoordelingscriteria in de optimalisatie, verschillende services, optimalisatiemethode en toepassing van het model. Het beschikbare onderzoek op het gebied van TNDP is reeds zeer uitgebreid, het is echter de unieke combinatie van criteria waardoor nieuwe inzichten worden verkregen.

Ten opzichte van voorgaande studies is een van de meest afwijkende eigenschappen van dit onderzoek de manier van passagierstoedeling. De herkomsten en bestemming van passagiers zijn niet 1-op-1 gekoppeld aan stations maar aan zones. Daardoor kunnen reizigers op een realistische manier gebruik maken van het onderliggende netwerk.

3.2 Relevantie binnen TNDP

Optimalisaties van netwerken binnen het onderzoeksveld van TNDP blijven vaak steken op een gegeneraliseerd niveau, waarbij alleen wordt gekeken naar een fictief netwerk. Ook de mogelijkheid tot interoperabiliteit of de bepaling van servicetypes in de modellering wordt niet meegenomen in bestaande modellen. Hierbij wordt vaak uitgegaan van een reeds bestaande verdeling van stoppatronen of halteringen. Een dergelijke aanpak komt voort uit historische context en is vanuit het perspectief van de reiziger arbitrair. Het OV-netwerk moet de reiziger van dienst zijn in zijn reis van herkomst naar bestemming en dient niet te worden opgelegd. Steeds vaker is het uitgangspunt in de ontwikkeling van nieuwe verbindingen dat een lijn moet aansluiten bij de behoefte van de reiziger, (Gemeente Rotterdam, 2017; Gemeente Den Haag and MRDH, 2018).

Daarnaast draagt een optimalisatie op basis van zuiver mathematische functies bij aan het inzicht van het netwerk. De algemene opvattingen van experts en bestuurders kan worden getoetst binnen de uitgangspunten van het model. Het geeft daardoor nieuwe inzichten in de manier waarop reizigers zich trachten te gedragen. Deze modelmatige aanpak overstijgt ook de belangen van een enkele of groep stakeholders en kijkt meer naar het algemene maatschappelijke belang.

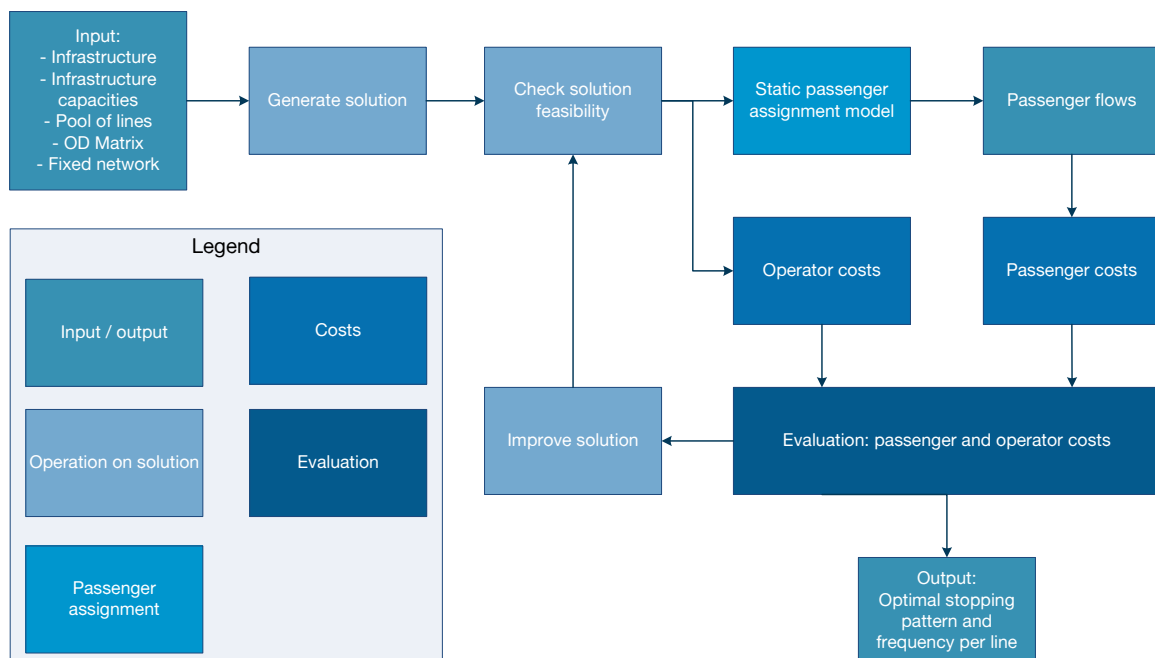
4. Stopping pattern and Frequency Optimization Model

De geselecteerde eigenschappen binnen het Transit Network Design Problem kunnen met een modelgebaseerde optimalisatiebenadering worden uitgewerkt. De reden voor de modelleeraanpak is dat op deze manier een vereenvoudigde versie van de situatie (zowel fictief als bestaand) kan worden gebruikt om de impact van een oplossing te beoordelen. Het ontwikkelde model is SPAFOM genoemd (Van Beurden, 2017), Stopping Pattern and Frequency optimization Model.

Voor dit paper zal een korte weergave van het framework worden gegeven, gevolgd door een uitwerking van de toepassing. Als test is eerst een fictief netwerk gebruikt voordat het stoppatroon en frequentie van het Amsterdamse netwerk is geoptimaliseerd.

4.1 Model framework

De opbouw van het model is in een framework vormgegeven, zie Figuur 4.1, hierin zijn de verschillende onderdelen van het model en de samenhang weergegeven.



Figuur 4.1, SPAFOM framework, (Van Beurden, 2017).

De input van SPAFOM bestaat uit de netwerktopologie, de lijn en stations infrastructuur en zijn respectievelijke capaciteiten, lijnvoering, een set van te optimaliseren lijnen, potentiële stations per lijn, een herkomst-bestemmingsmatrix en een vast onderliggend netwerk. Voor iedere lijn kan worden bepaald of en welke station in de optimalisatie moeten worden meegenomen. Het netwerk, de infrastructuur, stations en de vervoersvraag voor openbaar vervoer zijn gegeven. Het model deelt alleen de bestaande vraag toe, er is geen nieuwe generatie en distributie op basis van het nieuwe netwerk.

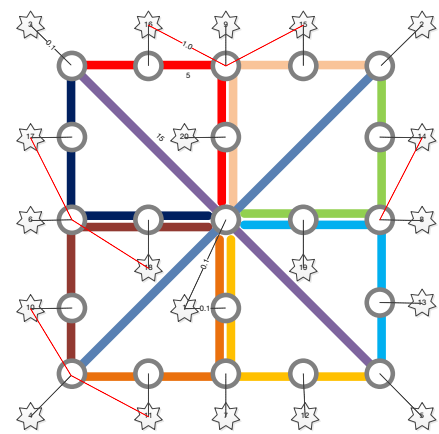
Het totale aantal oplossingen voor het netwerk van Amsterdam is door het grote aantal variabelen enorm groot. Er is onvoldoende rekenkracht beschikbaar om alle mogelijke oplossingen door te rekenen, daarmee is het ook niet mogelijk om tot een daadwerkelijke optimalisatie te komen. Er zal gebruik gemaakt moeten worden van een benadering van de optimale oplossing, een heuristische benadering van het probleem.

De optimalisatie van de stoppatronen en frequenties vindt plaats met behulp van een genetisch algoritme. Een genetisch algoritme volgt het concept van evolutie om oplossingen te verbeteren, goede oplossingen blijven en slechte sterven uit. Het proces begint met een initiële verzameling oplossingen. Deze oplossingen worden gecontroleerd en gerepareerd zodat stoppatronen en frequenties in beide richtingen hetzelfde zijn. Vervolgens wordt elke oplossing gecontroleerd of deze binnen de infrastructuurcapaciteit van het netwerk past. Oplossingen die niet passen, worden vervangen door een nieuwe willekeurige oplossing totdat de populatie is gevuld.

Voor elke oplossing wordt een statisch, deterministisch All or Nothing-toewijzingsmodel voor passagiers uitgevoerd. Op basis van de resultaten van het model van de passagierstoewijzing worden de passagierskosten berekend. Deze kosten zijn een monetaarisering van looptijd, wachttijd, reistijd, overstappen en niet bediende vraag. De som van passagiers- en exploitatiekosten is de fitness score van een oplossing. Deze score bepaalt de evolutie naar de volgende generatie.

4.2 Toepassing van het model

De werking van het model is getoetst op een simpel fictief netwerk, zie Figuur 4.2, bestaande uit twee diagonale lijnen en acht hoekige lijnen, die in totaal twintig zones met elkaar verbinden. Elke lijn en elk station maakt deel uit van de optimalisatie. De zones zijn zo vormgegeven dat er een grote centrumzone is en vier middelgrote (hoek)zones zijn. Dit netwerk is eenvoudig genoeg voor de test zonder compromissen te sluiten op functionaliteit. SPAFOM is getest met 6 scenario's, om inzicht te krijgen in de mogelijke invloed van een andere reizigers-, kostenverdeling of infrabeschikbaarheid.



Figuur 4.2, Testnetwerk SPAFOM, (Van Beurden, 2017).

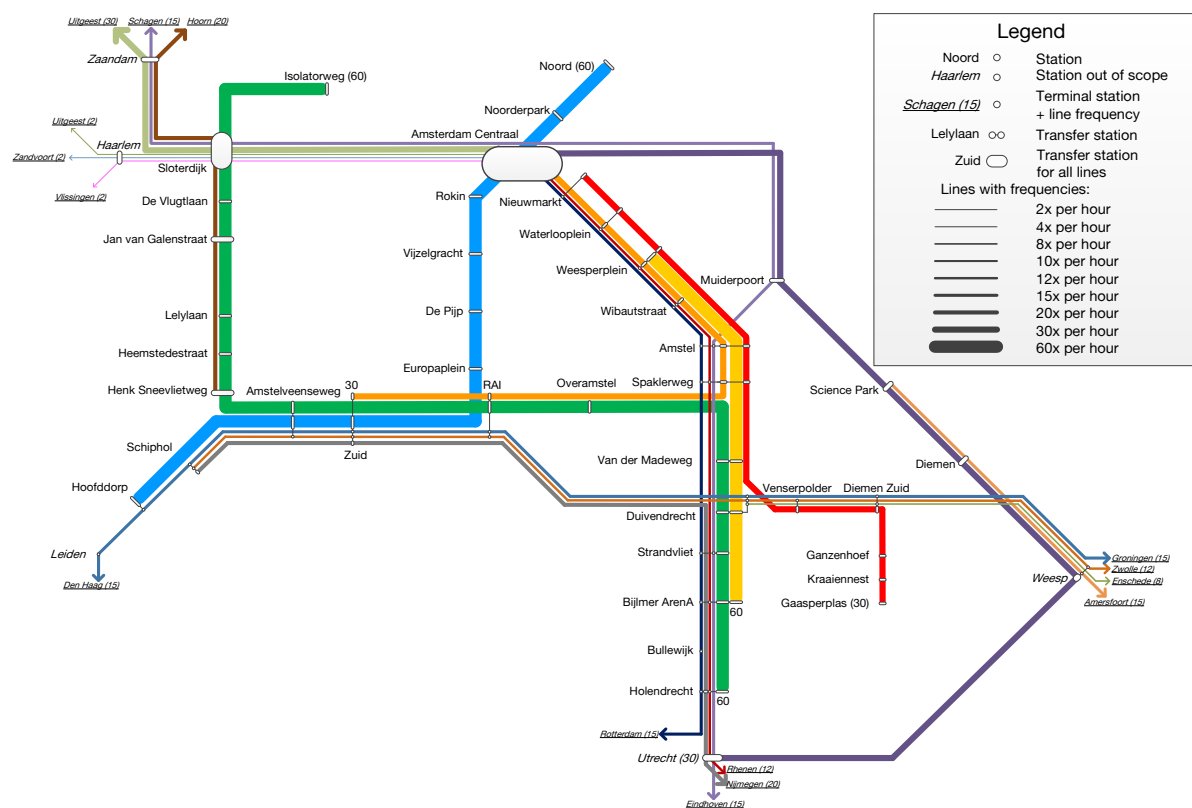
Uit de resultaten van de scenario's kan worden geconcludeerd dat wachttijd de belangrijkste factor is bij het verlagen van de totale kosten. Veranderingen van infrastructuur capaciteit liet zien dat doorgaande lijnvoeringen de voorkeur had tov korte kerende lijnen, vergelijkbaar met de huidige praktijk.

4.3 Resultaten van de case-study Amsterdam

Voor toepassing van SPAFOM op Amsterdam is gebruik gemaakt van VENOM2016, met daarin het prognosejaar 2040. Het bus- en tramnetwerk maakt ook deel uit van de passagierstoedeling, maar alleen als een onderliggend netwerk. De lijnvoering is op een aantal punten gewijzigd om aan te sluiten bij de meest recente inzichten omtrent de bereikbaarheid van Amsterdam. De Noord-Zuid metrolijn kan doorrijden naar Hoofddorp en regionale treinen tussen Amsterdam Centraal en Amstel maken gebruik van de metrotunnel. Bij deze eerste toepassing zijn geen capaciteitsbeperkingen toegepast, omdat de test aantoonde dat deze het resultaat significant beïnvloedden. Achterliggend idee was dat het netwerk zich tot 2040 aanzienlijk kan aanpassen en gebruik van de huidige capaciteit de uitkomst van het model meer dan noodzakelijk zou beperken. Kosten voor aanleg van infrastructuur zijn op die basis in de optimalisatie buiten beschouwing gelaten.

Het resulterende netwerk na 669 generaties, Figuur 4.3, vertoont dezelfde trend als het testnetwerk. Frequenties zijn tot in het extreme opgevoerd om de wachttijd en geassocieerde kosten te minimaliseren. Het gaat hier vooral om de korte metrolijn, met relatief lage exploitatiekosten ten opzichte van regionale en nationale lijnen. De oplossing toont geen stop van de Noord/Zuidlijn op Schiphol, maar deze bleek bij een nadere beschouwing wel een beter resultaat op te leveren. De oplossing was alleen nog niet gegenereerd, een gevolg van de heuristische aanpak.

De regionale spoorlijnen door de metrotunnel tussen Amsterdam Centraal en Amstel nemen een deel van de metro functionaliteit over. Opvallend is het inkorten van metrolijnen op de Oostlijn tot Nieuwmarkt en Weesperplein. Amsterdam Centraal is namelijk weliswaar een belangrijke overstapknoop maar geen bestemmingsgebied. Dit toont aan dat er zeker delen van Amsterdam zijn waar een ander type dienst de serviceprestaties voor passagiers kan verbeteren.



Figuur 4.3, Optimalisatie Amsterdamse netwerk na 669 generaties, (Van Beurden, 2017).

4.4 Beperkingen

Een van de grootste beperkingen in deze eerste toepassing is het ontbreken van infrastructuur capaciteit voor Amsterdam. Mede als gevolg van de grote impact van wachttijd is er een sterke voorkeur voor verhoging van de frequentie. Dit resulteert in een toedeling van 384 treinen per uur bij (metro)station Van der Madeweg. In de berekening van de wachttijden is een uniform aankomstpatroon aangenomen: bij toenemende frequentie wordt de verkorting van de wachttijd buitensporig meegenomen. Deze eerste toepassing geeft wel (1) een duidelijk beeld welke lijnen belangrijk zijn en (2) dat wellicht wachttijd verkorting een belangrijke (maatschappelijke) kostenpost is die iedere reiziger ervaart en in (M)KBA's niet wordt meegenomen.

5. Capaciteitsrestrictie voor Amsterdam

Het Stopping Pattern and Frequency Optimization Model (SPAFOM) is in staat gebleken om stoppatronen en frequenties systematisch te verbeteren voor een vooraf bepaalde set van OV-lijnen, rekening houdend met zowel passagiers- als exploitatiekosten en capaciteitsbeperkingen. Echter, als gevolg van de beperkingen in de eerste toepassing van SPAFOM binnen de case-study, zijn de uitkomsten niet praktisch relevant. Het is een proof-of-concept voor de toepassing op bestaande netwerken.

Ondanks de langere runtime voor een groter en complexer netwerk, kan het elk netwerk en elk willekeurig aantal lijnen aan, ongeacht het type voertuig dat de transitlijnen bedient. De resultaten kunnen worden gebruikt als een startpunt voor het gezamenlijk ontwerpen van openbaarvervoerdiensten, die tot nu toe gescheiden waren, in één geïntegreerd openbaar vervoersnetwerk. Een extra slag in de modellering is nodig om het praktisch toe te kunnen passen bij een verdere optimalisatie van het Amsterdamse railnetwerk.

Het framework van SPAFOM is ontwikkeld om capaciteitsrestrictie in de optimalisatie mee te nemen. Voor de koppeling met het Amsterdamse netwerk en met name de passagierstoedeling in VENOM is een additionele modelleer slag nodig. Het model is weliswaar voorbereid en getest met het testnetwerk op capaciteitsrestricties van de infrastructuur, de hoge frequentie maakt duidelijk dat de penalty als opgenomen voor crowding onvoldoende impact heeft voor een realistische modellering. Bij de eerste implementatie is de voertuigbelasting meegenomen als een discontinue functie voor de in-voertuigtijd, gebaseerd op beschikbare literatuur, (Cats, West and Eliasson, 2016). Bij een voertuigbelasting van 2x de capaciteit wordt de in-voertuigtijd maximaal verdubbeld. In combinatie met de stochastische toedeling is er onvoldoende terugkoppeling tussen netwerkbelasting en toedeling in de optimalisatie.

Beide beperkingen zijn aangepast in SPAFOM, (Houtsma, 2018). De implementatie van SPAFOM in combinatie met het Amsterdamse netwerk is aangepast inclusief de infrastructurele capaciteitsbeperking. Daarnaast is ook de functie voor in voertuigtijd aangepast. De functie is niet langer gemaximeerd op een belasting van 2x de capaciteit.

Gezien het belang van capaciteitsbeperkingen in de infrastructuur is SPAFOM zo ontworpen dat de capaciteit voor ieder link en ieder station (node) kan worden ingevoerd. Echter voor het netwerk van Amsterdam maakt dit de implementatie bewerkelijk. Voor iedere individuele, te optimaliseren link en station in het netwerk zal een goede inschatting van de beschikbare capaciteit moeten worden gemaakt. Het Amsterdamse netwerk kenmerkt zich echter door een aantal belangrijke en maatgevende bottlenecks of representatieve verbindingen. Voor de implementatie van de capaciteitsrestrictie zijn alleen deze maatgevende locaties meegenomen. Dit heeft als voordeel dat de check op capaciteit voor het Amsterdamse netwerk aanzienlijk minder rekenkracht vergt, een van de zorgpunten in de eerste toepassing om te kiezen voor een onbeperkte toedeling.

Voor de verdere toepassing zijn er vergelijkbare optimalisaties van het algoritme toegepast. Hierdoor is de rekentijd van SPAFOM verder verkort. Desalniettemin blijft de rekentijd een punt van aandacht. In de eerste toepassing van SPAFOM was per generatie 24 uur nodig, dit is teruggebracht naar ongeveer 1 uur door het toespitsen van VENOM op OV in het Amsterdamse netwerk (Van Beurden, 2017).

6. Interoperabiliteitsscenario's

Belangrijkste aanname in het opstellen van SPAFOM is de maakbaarheid van een interoperabel netwerk. Binnen de huidige inrichting van het Amsterdamse railnetwerk is interoperabiliteit niet mogelijk. Echter is het onderzoek ingestoken met een tijdshorizon gelijk aan toekomstbeeld OV, 2040. Dit biedt voldoende ontwikkelruimte.

Op basis van de voorgaande resultaten is de vraag hoe interoperabiliteit de prestaties van het railnetwerk beïnvloed (Dammers, 2018). Hierbij is de optimalisatie meegenomen in de vergelijking tussen verschillende scenario's en is een technische uitwerking gemaakt van hoe interoperabiliteit kan worden gerealiseerd. Voornaamste doel is de toetsing of interoperabiliteit een alternatief kan zijn voor uitbreidingen met nieuwe infrastructuur zoals opgenomen in de verkenning naar uitbreiding van het metronet (Garritsen *et al.*, 2017).

6.1 Interoperabiliteitissues

De haalbaarheid van interoperabiliteit en de compatibiliteitsproblemen die kunnen optreden tussen de systemen zijn geanalyseerd. Er zijn ontwerpalternatieven ontworpen met bijbehorende kosten en maatregelen om de verschillen te overbruggen.

De compatibiliteitsproblemen tussen metro- en treinsystemen zijn veelzijdig. Ze variëren van infrastructurele en technische tot operationele en zelfs politieke kwesties. Onderstaande tabel laat zien welke compatibiliteitsproblemen zullen optreden wanneer interoperabiliteit tussen een metro- en treinsysteem het doel is. De kolommen zijn respectievelijk metro treinen op hoofdspoor of omgekeerd.

Kenmerk	Compatibiliteit Metro → Trein	Compatibiliteit Trein → Metro
Spoorbreedte	Ja	Ja
Railprofiel	Nee	Nee
Aslast	Ja	Nee
Omgrenzingsprofiel	Ja	Nee
Kromtestraal	Ja (Afhankelijk van snelheid)	Ja (Afhankelijk van snelheid)
Tractiesysteem	Nee	
Stations en knopen	Nee	
Wissel en kruisingen	Nee (1:9 Engelse Wissel) Ja (alle andere wissel)	Ja
Veiligheid en communicatie	Nee	Nee
Stakeholders	Ja	Ja
Netwerk	Ja	Ja

Tabel 6.1, Compatibiliteit metro ↔ trein, (Dammers, 2018).

Compatibiliteit Trein → Metro is onoverkomelijk zonder drastische veranderingen aan de NS-vloot of de GVB-infrastructuur. Metro → Trein compatibiliteit lijkt wel mogelijk en is daarom verder bekeken met optimalisatie. Voor compatibiliteit zijn wel oplossingen nodig.

6.2 Interoperabiliteitoplossingen

De oplossingen om interoperabiliteit te realiseren zijn opgesteld op basis van praktische voorbeelden aangevuld met de kennis van experts binnen het vakgebied, ingenieurs van Royal HaskoningDHV. De ontwerprichtingen voor zaken die technisch onverenigbaar zijn, beperken zich tot aanpassingen in infrastructuur en rollend materieel, gegeven de tijdshorizon en de mogelijke uitbreiding van de vloot bij verlenging tot Hoofddorp ontstaat een logisch moment voor deze overgang.

Als volledige interoperabiliteit en naadloze spoorwegnetwerken echt het doel van de betrokken belanghebbenden is, moet er moeite worden gestoken in het opstellen van de noodzakelijke normen en wetten die de interoperabiliteit tussen de spoorwegsysteem beschrijven. De problemen tussen de veiligheids- en communicatiesystemen van de afzonderlijke systemen zijn aanzienlijk. De huidige juridische structuur beperkt spoorweginteroperabiliteit tussen hoofdlijnen en stedelijke systemen. Technische en regelgevingskwesties moeten worden opgelost voordat interoperabiliteit mogelijk is.

De totale investeringskosten voor interoperabiliteit liggen tussen €56-€65 miljoen, afhankelijk van het bereiken van volledige interoperabiliteit tussen CBTC en ERTMS. Het is interessant om te zien dat het merendeel van de kosten ligt in het verbinden van de twee netwerken, meer dan in het voorbereiden van elk afzonderlijk systeem op interoperabiliteit.

6.3 Scenario's



Tabel 6.2, configuraties van het netwerk. a) Totale railinfra; b) Metronetwerk 2019; c) Metronetwerk 2040; d) Metronetwerk 2040+ (interoperabel)

Voor de bepaling van de bijdrage van interoperabiliteit aan een verbeterde prestatie van het stedelijke spoorwegsysteem van Amsterdam, is een reeks scenario's bekeken.

Scenario 1: 2019 geplande dienstregeling. Dit scenario is als benchmark gebruikt en toets van het huidige netwerk met de toekomstige prognose. De infrastructuur en de dienstregeling van 2019 (Figuur 6.2b) zullen worden gebruikt in combinatie met de vervoersvraag voor 2040. De prestatie zal als basisjaar worden gebruikt in de vergelijking.

Scenario 2: 2040 geplande dienstregeling. Dit scenario bekijkt of de plannen van de gemeente Amsterdam voor 2040 (Figuur 6.2c, ontvlecht netwerk) de vervoersvraag voor 2040 aankunnen. Dit experiment toont de invloed van de huidige plannen op de prestaties van het stedelijke spoorwegnet in 2040.

Scenario 3: 2040+ geplande dienstregeling. In het derde scenario zal voor de eerste keer de interoperabiliteit van de railsystemen getest worden. In dit experiment worden de plannen voor 2040 uitgebreid met interoperabiliteit (2040+) tussen station Zuid en Hoofddorp (Figuur 6.2d).

Scenario 4: 2040 optimalisatie. Dit is een variatie op scenario 2, dat gericht was op de infrastructuur van 2040 met de geplande dienstregeling voor 2040, is dit experiment gericht op het optimaliseren van dat scenario met behulp van SPAFOM. De 2040-infrastructuur met onderliggend treinnetwerk (Figuur 6.2a) zal worden gebruikt in combinatie met de vervoersvraag voor 2040. Het scenario analyseert of het 2040 netwerk verder kan worden geoptimaliseerd.

Scenario 5: 2040+ optimalisatie. Het laatste scenario optimaliseert de frequentie en stoppatronen voor de interoperabele situatie (2040+). Dit scenario zal laten zien of een meer optimaal netwerk mogelijk is voor een toekomst met interoperabiliteit. Initiële resultaten lieten zien dat SPAFOM zeer vroeg in de optimalisatie de interoperabele uitbreiding naar Schiphol elimineerde. Om toch inzicht te krijgen in de invloed van interoperabiliteit bij optimalisatie is de deze geforceerd toegevoegd aan het uiteindelijke resultaat van de optimalisatie.

6.4 Invloed van interoperabiliteit

Prestatie categorieën	KPI
Toegankelijkheid	Aangeboden trein kilometres
	Stationsgebruik
	Onbediende vraag
Passagiers tevredenheid	Loopafstand
	Invoertuigtijd
	Wachttijd
	Overstappen
Kosten	Vervoerderskosten

Voor het bepalen van de invloed van interoperabiliteit zijn een aantal Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) gebruikt, zie tabel 6.3. Ieder scenario is geïndexeerd aan het 2019 basisscenario. Een score boven 100 is een verbetering van de algemene prestatie, onder 100 een verslechtering. Een deel van de KPI's is door SPAFOM bepaald een deel volgt uit het netwerk.

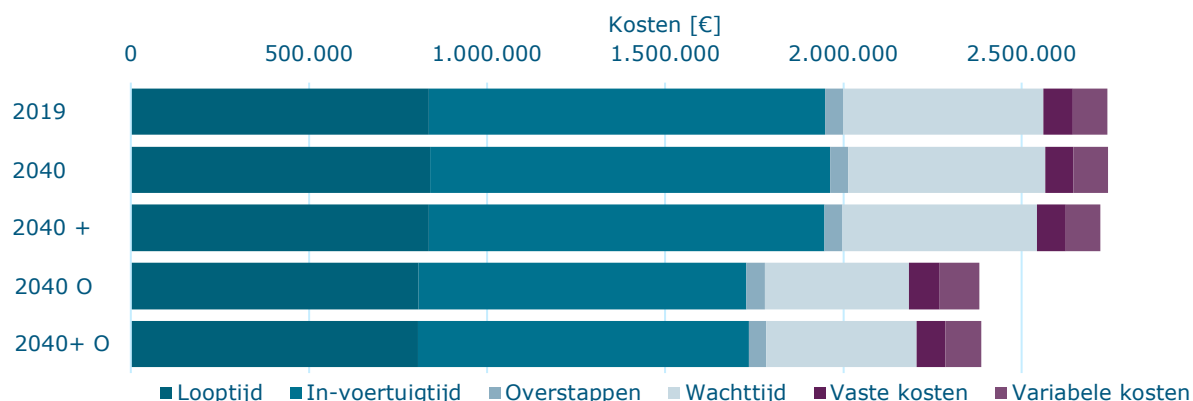
Tabel 6.3, prestatie categorieën en KPI's

De KPI stations gebruik gaat in op het aantal reizigers en transferpassagiers op een aantal kritische stations in het Amsterdamse netwerk. De NMCA benoemt Amsterdam Amstel, Sloterdijk, Zuid en Schiphol als stations met één of meer ernstige transferknelpunten in 2030 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). Deze analyse neemt de toekomstige capaciteitsuitbreidingen reeds mee, waardoor het huidige knelpunt Amsterdam centraal niet is opgenomen. Interoperabiliteit maar zeker de combinatie van interoperabiliteit en optimalisatie (scenario 6) laat spectaculaire verbeteringen zien voor de druk op de stations, Tabel 6.4. Alleen het aantal overstappers op Sloterdijk neemt toe ten opzichte van 2019, maar aanzienlijk minder dan met een ontvlecht metronetwerk als in de huidige plannen.

Scenario	1 (2019)	2 (2040)	3 (2040+)	4 (2040 O)	5 (2040+ O)
In- en uitstappers					
Amsterdam Amstel	100	105,95	109,2	150,95	128,92
Amsterdam Zuid	100	95,88	130,26	100,11	132,11
Schiphol Airport	100	99,93	100,35	103,01	104,8
Amsterdam Sloterdijk	100	108,18	105,06	108,17	106,01
Overstappers					
Amsterdam Amstel	100	134	135,17	200	189,24
Amsterdam Zuid	100	106,27	121,09	123,77	126,3
Schiphol Airport	100	101,68	48,71	24,53	145,9
Amsterdam Sloterdijk	100	88,86	94,56	22,44	48,1
Prestatie					
Stationsgebruik	100	105,09	105,55	104,12	122,67

Tabel 6.4, Prestatie stationsgebruik, uitgesplitst per station met een transferknelpunt in de NMCA.

Interoperabiliteit laat een kleine verbetering zien in de passagierstevredenheid en de exploitatiekosten. De grootste verbetering op deze twee KPI's komt van de optimalisatie door SPAFOM, figuur 6.5, waarbij dat met name maatschappelijke kosten als looptijd en wachttijd worden geminimaliseerd, echter niet meer zo excessief in de initiële toepassing. De resultaten zijn wel indicatief voor het spanningsveld tussen de maatschappelijke kosten bij reizigers en de directe kosten van investeringen en exploitatie.

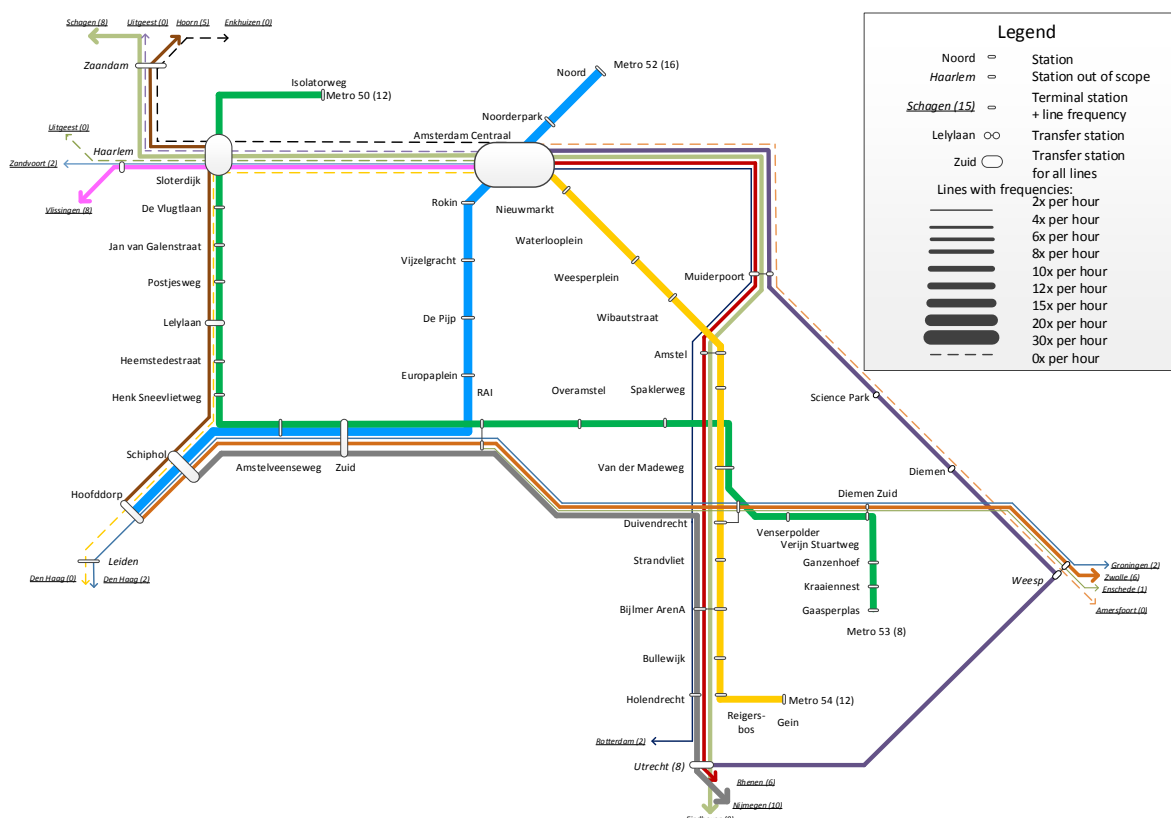


Figuur 6.5, Opbouw output SPAFOM, passagierstevredenheid en kosten, (Dammers, 2018).

Scenario	1 (2019)	2 (2040)	3 (2040+)	4 (2040 O)	5 (2040+ O)
Aangeboden treinkm	100	99,39	100,76	114,33	106,7
Onbediende vraag	100	99,76	99,92	98,8	95,68
Stationsgebruik	100	105,09	105,55	104,12	122,67
Loopafstand	100	99,55	100,14	103,49	103,76
Invoertuigtijd	100	99,12	100,04	117,26	116,39
Wachttijd	100	101,54	103,08	128,18	125,06
Overstappen	100	99,52	98,47	94,91	103,29
Kosten	100	102,15	100,41	89,48	98,43
Prestatie					
Overall score	100	100,76	101,05	106,32	109

Tabel 6.6, Prestatie score van alle KPI's, (Dammers, 2018).

De invloed van interoperabiliteit op de prestatie van het Amsterdamse railnetwerk is significant. In de vergelijking kunnen de eerste 3 scenario's met elkaar worden vergeleken, waarin het netwerk is ontworpen op basis van inzicht, en de laatste 3 scenario's met een geoptimaliseerd netwerk. Interoperabiliteit zorgt in beide netwerken voor een verbetering van de prestatie op nagenoeg alle indicatoren. De meerkosten van de operatie zijn minimaal en de onbediende vraag verplaatst naar het onderliggende netwerk. Het netwerk, figuur 6.7, richt zich rondom Amsterdam op metropole i.p.v. nationale verbindingen.



Figuur 6.7, Optimalisatie Amsterdamse netwerk scenario 6 2040++, (Dammers, 2018).

7. Conclusies

Een interoperabel netwerk voor Amsterdam is een kwestie van keuzes, niet alleen met betrekking tot de technische implementatie maar ook de bestuurlijke werkelijkheid en op het gebied van regelgeving. Optimalisatie van het netwerk rondom Amsterdam vraagt om een focus op metropolitane connectiviteit boven de prioritering van nationale verbindingen door de stad. Extra overstappen lijken hierbij een kleine rol te spelen als de lokale verbindingen maar zeer hoogfrequent worden aangeboden.

Het lijkt mogelijk om de netwerkprestatie van Amsterdam te verbeteren door de toepassing van interoperabele oplossingen met slechts een fractie van de investeringen van uitbreiding. Interoperabiliteit kan voor €56-€65 miljoen worden gerealiseerd, waarbij dat reguliere verlengingen van de Noord/Zuidlijn naar Amsterdam (varianten 1B & 1C uit de aanvullende verkenning uitbreiding metronet Amsterdam), €2,1-3,4 miljard aan investeringskosten vragen. Hiervoor dient wel aan de randvoorwaarde te worden voldaan dat interoperabiliteit ook juridisch mogelijk is. Veiligheid kan worden gegarandeerd, maar dient ook te worden geaccepteerd door de stakeholders.

Naast het belang van maatschappelijke kosten, als looptijd en wachttijd, die niet of nauwelijks worden meegenomen in (M)KBA's, blijkt ook dat de reiziger zich anders verdeelt over het Amsterdamse netwerk. Amsterdam Centraal is geen bestemmingslocatie, en dient daarom ook minder zwaar te worden bediend dan locaties langs de Oostlijn, Noord/Zuidlijn of rondom station Zuid. Deze verschuiving van Amsterdam Centraal als bestemming naar overstap knoop en in optimalisatie een verlaagde bediening zou mogelijk ook een oplossing kunnen zijn voor Schiphol, waar een dele van de vervoervraag wordt afgevangen zonder een compromis te sluiten op de economische meerwaarde van de hub. De keuze voor interoperabiliteit betekend wel iets voor de inrichting van de infrastructuur rondom Schiphol. Het is een lang gekoesterde wens om hier een additionele verbinding te realiseren via een ander alignment om bij grote verstoringen een alternatief te bieden, echter met interoperabiliteit wordt weliswaar een dezelfde fysieke infra gebruikt maar is er wel een fall-back optie.

Dankwoord

Dit paper is tot stand gekomen als samenvatting van de stage- en afstudeeronderzoeken van Merlijn van Beurden, Yoram Houtsma en Nicoline Dammers, als onderdeel van hun curriculum aan de TU Delft. Bijzondere dank gaat hierbij ook uit naar de begeleider van de TU Delft, Oded Cats. Op basis van de verkregen expertise in de verschillende projecten omtrent netwerk- en capaciteitsanalyse in een interoperabele context en de uitdagingen rondom het bestuurlijk proces van nieuwe OV-infra is dit onderzoek verder uitgewerkt. Centraal in de visie op OV staat voor ons de reiziger die optimaal in zijn behoefte van mobiliteit dient te worden voorzien in een voor de maatschappij efficiënte manier. Ook in innovatieve ontwikkelingen als MaaS en zelfrijdende voertuigen zal OV een integraal onderdeel vormen om reizigers snel en efficiënt te kunnen verplaatsen.

Referenties

- Van Beurden, M. (2017) Stopping pattern and frequency optimization for multiple public transport services. TU Delft.
- Cats, O., West, J. and Eliasson, J. (2016) 'A dynamic stochastic model for evaluating congestion and crowding effects in transit systems', *Transportation Research Part B: Methodological*, (89), pp. 43–57. doi: 10.1016/j.trb.2016.04.001.
- Dammers, N. (2018) Interoperability in Rail Systems, The Influence of Interoperability on the Performance of an Urban Rail System. TU Delft.
- Donners, B. and Leyds, W. (2017) 'InterRegio terug op de rails , een corridor microsimulatie voor Toekomstbeeld OV', in *Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Gent: CVS. Available at: https://www.cvs-congres.nl/e2/site/cvs/custom/site/upload/file/cvs2017/sessie_b/b1/id_093_barth_donners_interregio_terug_op_de_rails.pdf.
- Garritsen, M. et al. (2017) Uitbreiding metronet Amsterdam, aanvullende verkenning 2017. Amsterdam. Available at: https://wijnemenjemee.nl/admin/wp-content/uploads/2017/07/II__Uitbreiding_metronet_Amsterdam_-_aanvullende_verkenningen_2017.pdf.
- Gemeente Den Haag and MRDH (2018) 'Schaalsprong openbaar vervoer Den Haag en regio'.
- Gemeente Rotterdam (2017) 'Openbaar vervoer als drager van de stad: OV-visie Rotterdam 2018 - 2040', (november 2017).
- Govers, B. (2017) Europees Spoor in drie scenario's. Utrecht.
- Houtsma, Y. (2018) Line planning optimisation for the rail bound network of Amsterdam. TU delft.
- Koops, R. (2017) 'Geen Noord/Zuidlijn naar Schiphol, wel sprinters', *Het Parool*, 23 December.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017) Nationale Markt- Markt en Capaciteitsanalyse 2017 (NMCA) Hoofdrapport. Den Haag. Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/05/01/nationale-markt-en-capaciteitsanalyse-2017-nmca>.
- Moreelse Tafel (2016) 'Toekomstbeelden spoor 2050 door Moreelse Tafel', in Govers, B. et al. (eds) *Reader Congres Toekomstbeelden*. Utrecht: Railforum, pp. 1–77. Available at: <https://www.ovmagazine.nl/wp-content/uploads/2016/01/Toekomstbeelden-Moreelse-Tafel.pdf>.
- van Nes, R. and Bovy, P. H. L. (2000) 'Importance of Objectives in Urban Transit-Network Design', *Transportation Research Record*, 1735. doi: 10.3141/1735-04.
- ProRail (2018) Recordaantal treinkilometers in nieuwe dienstregeling 2019, ProRail.nl. Available at: <https://www.prorail.nl/nieuws/recordaantal-treinkilometers-in-nieuwe-dienstregeling-2019> (Accessed: 11 September 2018).