

**Lijnvoering van de toekomst voor het Nederlandse spoornetwerk
Verkenning met een genetisch optimalisatiemodel**

Niek Guis
Technische Universiteit Delft / Nederlandse Spoorwegen
niekguis@gmail.com

Bart de Keizer
Nederlandse Spoorwegen
Bart.deKeizer@ns.nl

Rob van Nes
Technische Universiteit Delft
r.vannes@tudelft.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
24 en 25 november 2011, Antwerpen**

Samenvatting

Lijnvoering van de toekomst voor het Nederlandse spoornetwerk - Verkenning met een genetisch optimalisatiemodel

De Intercity lijnvoering is in Nederland in 40 jaar nauwelijks veranderd. Er is steeds voortgeborduurd op de bestaande lijnvoering. Ondertussen is de vervoersvraag in deze tijd wel veranderd. Het is onduidelijk in hoeverre de bestaande lijnvoering nog aansluit bij de vervoersvraag. In dit onderzoek wordt gebroken met de bestaande lijnvoering en wordt *from scratch* een nieuwe lijnvoering ontworpen. Het uitgangspunt voor deze nieuwe lijnvoering is de vervoersvraag. Politieke en operationele overwegingen worden buiten beschouwing gelaten.

De bestaande vervoersvraag is voor een deel het gevolg van de bestaande diensten. Om die reden moet een *potentiële* vervoersvraag bepaald worden, onafhankelijk van de bestaande diensten. Hiervoor worden twee methoden gepresenteerd. Eén methode maakt gebruik van NS prognoses en veronderstelt een zo kort mogelijke reistijd op alle relaties. Met behulp van de reistijdelasticiteit wordt vervolgens de potentiële vervoersvraag in kaart gebracht. De tweede methode maakt gebruik van LMS-prognoses en gebruikt de modal split van goed verbonden relaties ook bij slechter verbonden relaties, op basis van het type relatie en de hemelsbrede afstand. Beide methoden hebben voor- en nadelen en geven verschillende resultaten. Wel geven beide methoden aan dat vooral in de Randstad een grote potentiële groei is.

In de volgende stap wordt met behulp van een genetisch algoritme een nieuwe lijnvoering ontwikkeld. Een genetisch algoritme gebruikt de principes van de evolutietheorie. Er wordt een set met oplossingen gegenereerd en vervolgens worden steeds twee oplossingen gecombineerd en gemuteerd, zodat een nieuwe *generatie* ontstaat. De nieuwe generatie wordt getoetst op een aantal kenmerken. Hoe beter een oplossing scoort, hoe groter de kans dat deze het *overleeft*. De overgebleven set van oplossingen wordt weer gecombineerd en gemuteerd. Dit proces gaat door tot de oplossing niet verder verbetert.

Er zijn vier verschillende varianten doorgerekend, waarbij het aantal vrijheidsgraden varieerde. De basisvariant gaat uit van het huidige netwerk met de huidige intercitystations. De resultaten zijn daardoor snel toepasbaar. De variant met de meeste vrijheidsgraden is een toekomstvisie met nieuwe stations en nieuwe verbindingen.

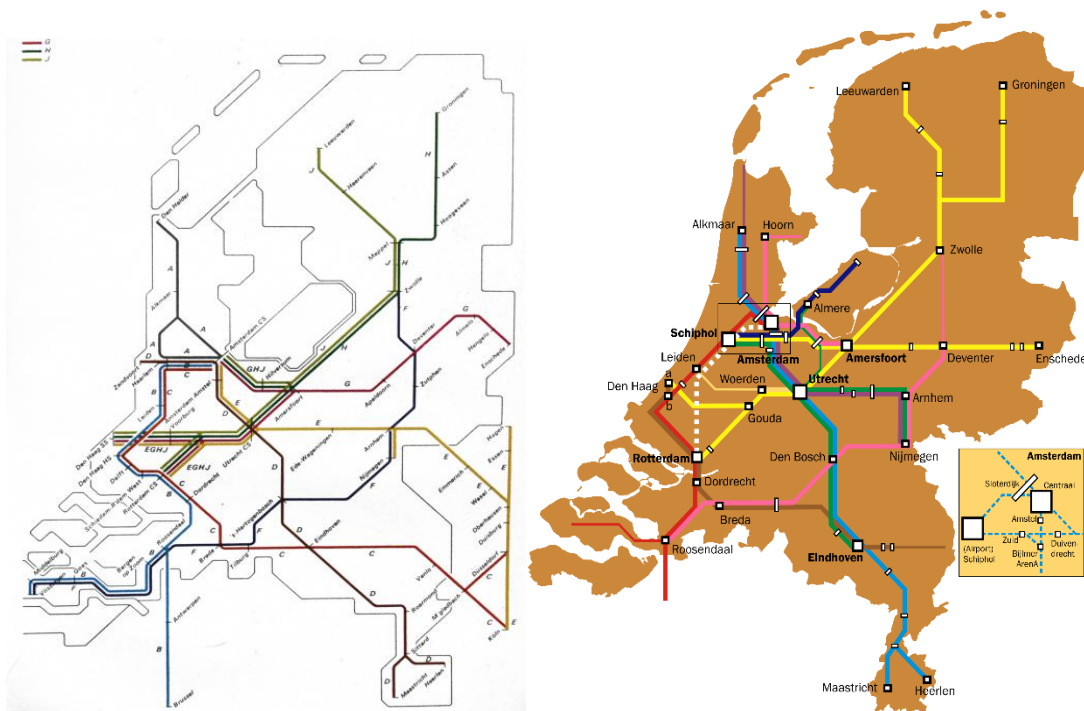
Ondanks deze verschillende uitgangspunten laten de resultaten vaak dezelfde patronen zien. Zo blijken ringlijnen vaak goed te scoren, worden vaak dezelfde nieuwe doorkoppelingen gevonden, worden regelmatig pendeltreinen ingezet tussen twee steden, worden frequenties in de Randstad hoger en in de rest van het land lager.

1. Introductie

Het is voor ontwerpers van openbaar vervoer netwerken een blijvende uitdaging om het netwerk goed af te stemmen op de vervoersvraag. Als vervoerder is het van groot belang om de beste diensten aan te bieden waar de vraag het grootste is. Ontwerpers ondervinden hierbij echter vele restricties, waaronder beperkingen in budget, infrastructuur, materieel en personeel. Daarom is het erg belangrijk om een goede balans te vinden tussen het aanbieden van deze diensten en de restricties. Ook de Nederlandse Spoorwegen ondervinden dit dilemma in het ontwerpen van een goede lijnvoering.

Een lijnvoering wordt gedefinieerd als een set van lijnen, die de treinen planmatig rijden. In drukke netwerken als dat van Nederland heeft de lijnvoering vaak een cyclisch karakter, met lijnen die ieder uur terugkomen. Een lijn heeft een start- en een eindpunt en een zekere route daartussen met vaste tussenstations. Iedere lijn heeft daarnaast een frequentie.

In het Nederlandse treinnetwerk zijn de afgelopen 40 jaar slechts een handvol grote wijzigingen geweest, waarbij in de dienstregeling werd voortgeborduurd op het basisontwerp uit 1970. Zie figuur 1. Ondertussen is de vervoersvraag niet meer hetzelfde als in 1970. Het is onduidelijk in hoeverre de bestaande lijnvoering nog aansluit bij de vervoersvraag van vandaag. Wanneer de dienstregeling helemaal 'from scratch' wordt ontworpen, in plaats van als uitbreiding op het bestaande, kan dit leiden tot nieuwe inzichten. In dit onderzoek wordt gebroken met de oude traditionele methode voor het ontwerpen van de lijnvoering. Er wordt een nieuwe methode ontwikkeld voor het ontwerpproces, gericht op de vervoersvraag van nu en de toekomst, vanuit een theoretisch perspectief. Hierbij worden invloeden van politiek en historische keuzes zoveel mogelijk weggelaten.



Figuur 1: Intercitylijnvoering 1970 (links) en 2010 (rechts)

1.1 Onderzoeksvragen

Het onderzoek gebruikt 3 onderzoeksvragen als kapstok:

1. Hoe ziet de potentiële vervoersvraag er in de toekomst uit, onafhankelijk van de bestaande diensten?
2. Hoe ziet een optimale lijnvoering eruit, gebaseerd op deze potentiële vervoersvraag?
3. Wat kunnen we hiervan leren voor de lijnvoering in de toekomst?

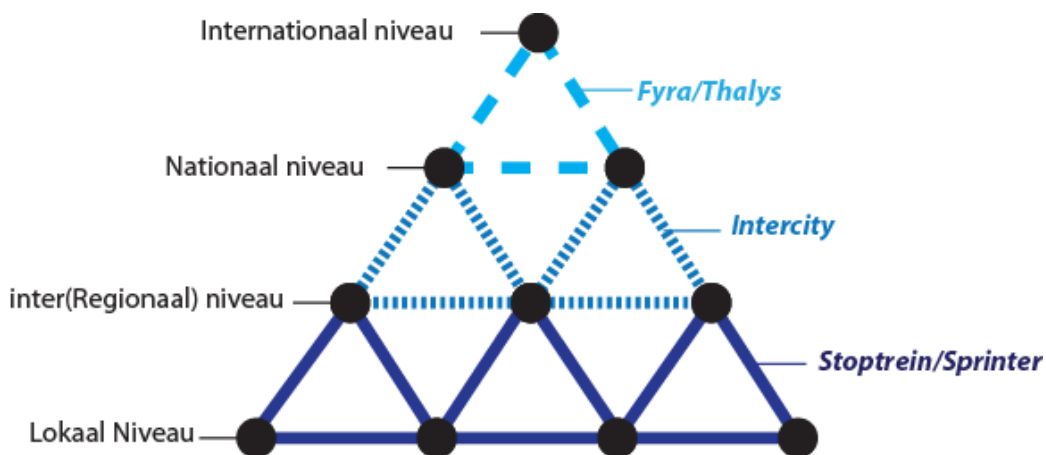
Ad 1: Tussen sommige stations wordt nu een zeer goede verbinding geboden, wat geresulteerd heeft in een grote vervoersvraag. Er zijn echter ook stationsparen met een slechtere verbinding. Hier is mogelijk wel een grote potentiële vervoersvraag, maar wordt deze nu niet gefaciliteerd. Om een goed ontwerp te kunnen maken, moet de vervoersvraag onafhankelijk worden gemaakt van de kwaliteit van de huidige verbinding. Zo kan de potentiële vervoersvraag in kaart gebracht worden.

Ad 2: Om tot een objectief resultaat te komen, is het belangrijk om de lijnvoering from scratch te ontwerpen, met een leeg infrastructuur netwerk en de berekende potentiële vervoersvraag.

Ad 3: Wanneer een optimale lijnvoering bekend is, kan men deze vergelijken met het bestaande ontwerp. Waar vinden we de overeenkomsten en waar de verschillen? Op die manier kunnen ideeën voor een lange termijn visie ontwikkeld worden.

1.2 Kader

In dit onderzoek is alleen het vervoer over middel- tot lange-afstand onderzocht. In het huidige netwerk wordt dit vervoer verzorgd door de Intercity-treinen en enkele treinen van een hoger netwerkniveau (Thalys, Fyra en ICE). Zie figuur 2. Het ontwerp richt zich op het jaar 2020. Toch kan de kennis van deze resultaten al een belangrijke input leveren voor het ontwerp van lijnvoeringen op de kortere termijn (2013-2020).



Figuur 2: Theoretische ideale structuur, (vrij naar Van Nes (2007))

Verder bevindt het onderzoek zich in de strategische fase van het ontwerpproces. Zie figuur 3. De vervoersvraag en de lijnvoering worden onderzocht. Het verder uitwerken tot een dienstregeling met materieel- en personeelroosters valt buiten de scope van het onderzoek. Dit betekent dat het onderzoek geen kant-en-klare dienstregeling zal opleveren. Dit geldt ook voor de toets of er voldoende capaciteit op de infrastructuur beschikbaar is. Het doel van het onderzoek is immers het ontwerpen van een toekomstvisie, zoveel mogelijk onafhankelijk van de beperkingen van vandaag.

2. De potentiële vervoersvraag

Bij NS zijn betrouwbare prognoses bekend voor 2020.

Deze gegevens hebben als nadeel dat hierin geen vervoersvraag is opgenomen in gebieden waar NS geen diensten biedt. Het Landelijk Model Systeem, ontwikkeld door Rijkswaterstaat, bevat wel de vervoersvraag in het hele land, maar is minder nauwkeurig omdat het hier om een modelstudie gaat.

Er wordt daarom met 2 verschillende methoden een schatting van de potentiële vervoersvraag gemaakt:

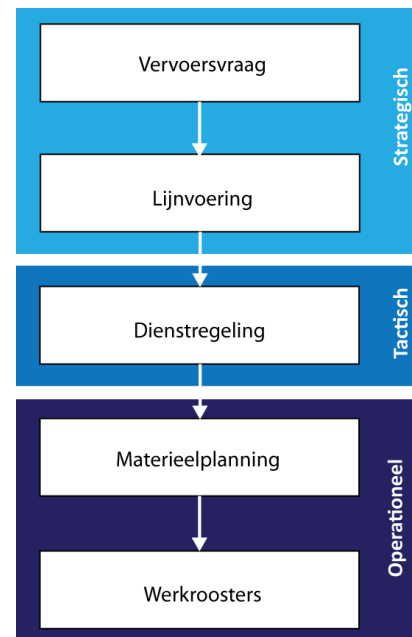
1. Elasticiteit-methode
2. LMS-methode

2.1 Elasticiteitsmethode

De eerste methode maakt gebruik van een door NS geschatte vervoersvraag voor 2020. Voor iedere stationsrelatie wordt de gegeneraliseerde reistijd (GRT) berekend van de meest waarschijnlijke dienstregeling in 2020. De GRT is een indicator voor het disnut dat een reiziger ervaart in een reis. De GRT omvat de reistijd in de trein, maar voegt hier een straftijd aan toe bij wachttijden en overstappen.

Vervolgens wordt een virtuele dienstregeling aangenomen. In deze dienstregeling wordt tussen ieder stationspaar een directe lijn over de beschikbare infrastructuur verondersteld. Deze lijn heeft een frequentie van 6 treinen per uur en kent geen tussenstops. Uiteraard is deze situatie een theoretisch experiment. Het zou immers betekenen dat van ieder station ongeveer 2500 treinen per uur vertrekken en aankomen. Nu wordt ook voor deze situatie de GRT bepaald. Met behulp van een functie voor de reistijdelasticiteit, wordt nu een schatting gemaakt van het aantal reizigers in deze ideale situatie. Stationsparen met een slechte verbinding in de huidige situatie zullen een grote groei kennen, terwijl bij stations die nu al goed verbonden zijn een kleine krimp wordt waargenomen. Omdat het niet wenselijk is dat stationsparen hun goede verbinding verliezen, wordt in deze gevallen een correctie toegepast en de bestaande vervoersvraag behouden.

Het resultaat van dit model is een grote groei. De meeste stationsparen kennen een groei van meer dan 100%. Op sommige relaties is de groei zelfs meer dan 300%. Het gaat



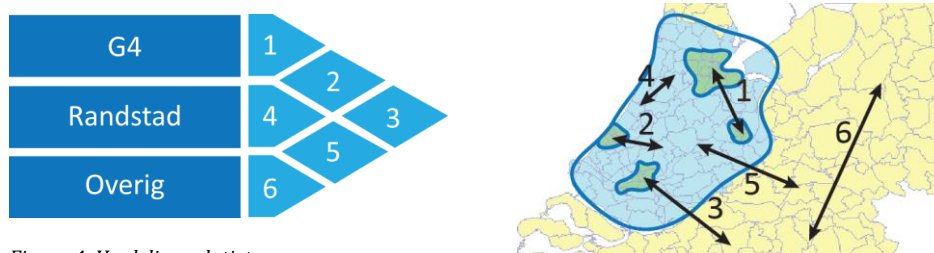
Figuur 3: Ontwerpproces dienstregeling

daar echter vaak om stationsparen met minder dan 1 reiziger per dag. Wanneer we alleen de 30 drukste stations selecteren, dan blijkt dat de grootste groei in twee regio's gevonden wordt. Ten eerste zijn dit verschillende stationsparen in de regio Amsterdam. Hier zijn veel stations op relatief korte afstand van elkaar. Toch is er vaak geen directe treinverbinding tussen deze stations. Zo wordt een grote groei gevonden tussen Amsterdam Amstel en Amsterdam Zuid. Deze stations liggen op slechts enkele kilometers van elkaar, maar er is geen directe verbinding. Het is echter de vraag in hoeverre deze markt door NS bediend zou moeten worden. Ten tweede zijn dit stationsrelaties in het oosten van het land. Er zijn veel missende verbindingen tussen de regio Enschede en Arnhem/Nijmegen en tussen Apeldoorn, Arnhem en Zwolle. Wanneer hier directe verbindingen zouden zijn, zou het aantal reizigers volgens deze benadering sterk toenemen.

Wanneer naar absolute groei wordt gekeken, blijkt dat de toename in reizigers bij de meeste stationsparen slechts enkele reizigers per dag omvat of zelfs minder dan 1. De grootste absolute groei wordt gevonden in de nu al drukke stationsparen in de Randstad. Ook wanneer naar reizigerskilometers gekeken wordt, wordt de grootste groei hier gevonden.

2.2 LMS-methode

De tweede methode gebruikt data van het Landelijk Model Systeem, ontwikkeld door Rijkswaterstaat, als input. Dit model omvat alle verplaatsingen binnen Nederland, van alle belangrijke vervoerswijzen. Hiertoe is Nederland opgedeeld in 345 zones. Aangenomen wordt dat het potentiële aandeel van de trein binnen de totale vervoersvraag afhankelijk is van de afstand tussen de steden en het type relatie (niet Randstad naar Randstad, Randstad naar grote stad, etc). Zie figuur 4. Een haalbaar aandeel binnen de vervoersvraag wordt geschat door de modal split van stationsparen te vergelijken met goed verbonden relaties van dezelfde afstand en hetzelfde type. Hiervoor wordt met behulp van een regressieanalyse een lineaire relatie verondersteld tussen de afstand en het treinaandeel voor ieder relatietype. Vervolgens wordt deze lineaire relatie gebruikt om de potentiële vervoersvraag op alle relaties te bepalen. Net als bij de elasticiteitsmethode wordt gecorrigeerd voor dalende vervoersvraag. In die gevallen wordt de door het LMS voorspelde vervoersvraag gehandhaafd.



Figuur 4: Verdeling relatietypes

In tegenstelling tot de elasticiteitsmethode is de relatieve groei met deze methode soms zeer groot. Op sommige relaties is het geschatte aantal verplaatsingen zelfs 1000 keer groter dan het originele aantal verplaatsingen. Opnieuw wordt deze groei gevonden op de zoneparen met een klein aantal verplaatsingen. Opvallend is dat vooral van en naar de Rotterdamse haven een grote groei mogelijk is in dit model.

De grootste absolute groei wordt gevonden tussen de grote steden en hun voorsteden, zoals tussen Rijswijk en Den Haag, Amstelveen en Amsterdam, etc.

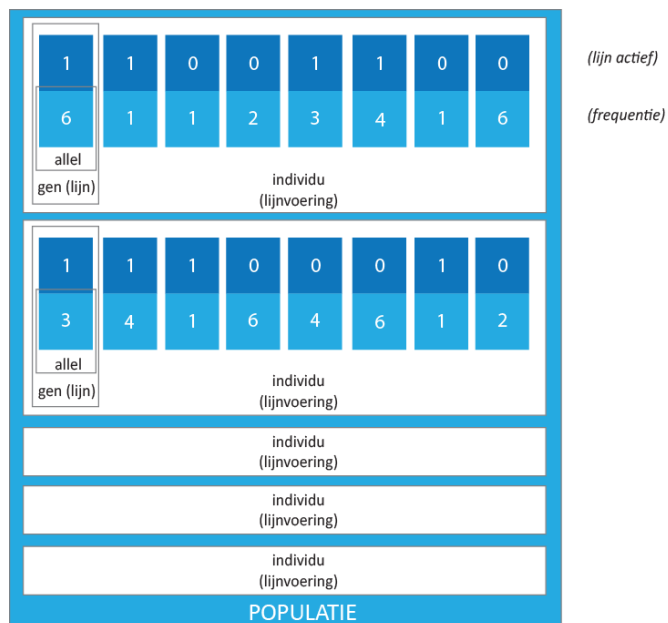
3. Genetisch algoritme

Het lijnvoeringsprobleem is NP-volledig. Dat wil zeggen dat het met exacte oplossingsmethoden niet oplosbaar is. Een zeer compleet bewijs hiervoor wordt gegeven door Bussieck (1998). Om deze reden wordt gezocht naar een heuristische methode om het probleem op te lossen. Na een literatuuronderzoek is gekozen voor het gebruik van een genetisch algoritme. Deze techniek gebruikt de principes van de evolutieleer om een optimale oplossing te vinden. Bielli et al. (2000) hebben met succes een genetisch algoritme toegepast op een busnetwerk. Deze methodiek is door G. van Eck (2010) in aangepaste en zeer uitgebreide vorm gebruikt voor een optimalisatie van het busnetwerk van Utrecht. Deze techniek is echter zondermeer ook bruikbaar voor spoornetwerken. Ook in dit onderzoek wordt het werk van Bielli et al. dan ook als basis aangehouden.

3.1 Terminologie

Genetische algoritmen hebben hun eigen terminologie: een lijnvoering is in dit model een chromosoom of individu. Elk chromosoom bestaat uit genen, die de lijnen in de lijnvoering representeren. Ieder gen bestaat in deze opzet weer uit twee allelen. Het eerste allel bepaalt of de lijn actief is in de lijnvoering (0/1) en het tweede allel bepaalt de frequentie (1, 2, 3, 4 of 6 per uur). Zie ook figuur 5.

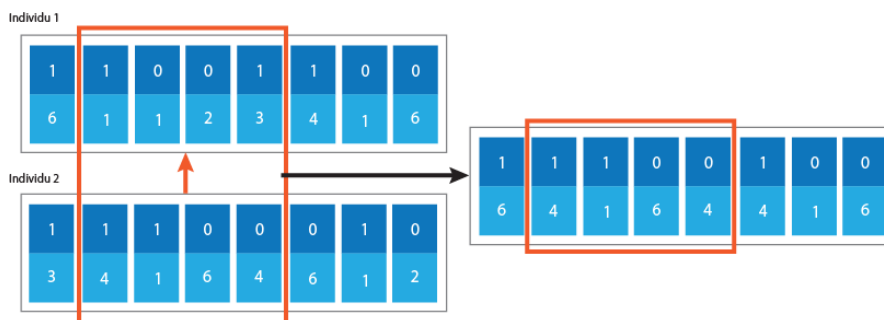
Alle lijnen (actief of niet-actief) kunnen worden gezien als kandidaatlijnen. Voor iedere kandidaatlijn geldt dat deze wel of niet kan worden opgenomen in de lijnvoering. De set van kandidaatlijnen moet dan ook zoveel mogelijk alle mogelijke lijnen omvatten.



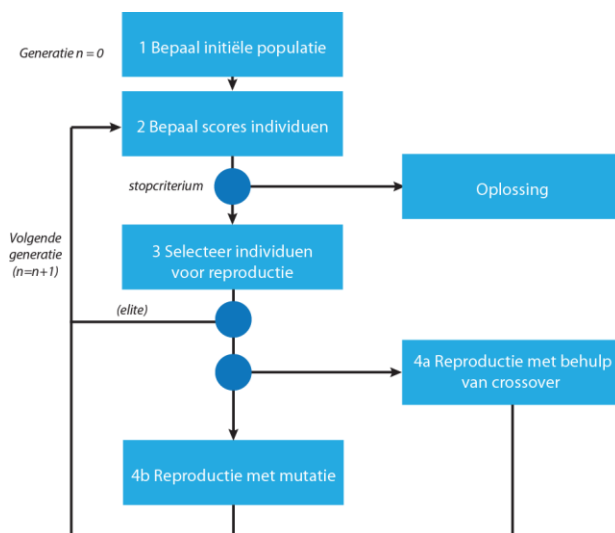
Figuur 5: Terminologie Genetisch Algoritme

3.2 Het proces

Eerst wordt een initiële populatie gegenereerd. Deze populatie bestaat uit een set van oplossingen (lijnvoeringen/individuen/chromosomen). Deze lijnvoeringen zijn willekeurig opgebouwd, door een willekeurig aantal kandidaatlijnen te activeren en willekeurige frequenties toe te delen aan de lijnen. Ieder individu wordt vervolgens met behulp van het beoordelingsmodel (zie hoofdstuk 5) geëvalueerd en krijgt een score toegekend. Vervolgens kiest een selectie-algoritme willekeurig een aantal oplossingen uit de set voor reproductie, waarbij de kans om gekozen te worden toeneemt met de score. De best scorende oplossingen hebben zo de grootste kans om gereproduceerd te worden. Sommige oplossingen gaan onveranderd door naar de volgende generatie. De meeste oplossingen krijgen echter een kleine genetische aanpassing: crossover of mutatie. In het geval van crossover worden twee oplossingen gecombineerd. Uit deze twee oplossingen ontstaat een "kind" dat van beide ouders eigenschappen heeft. Zie figuur 6. In het geval van mutatie wordt een willekeurig allel veranderd: de frequentie van een lijn wordt verhoogd of verlaagd of de activatie van een lijn verandert. Na deze stap wordt het hele proces herhaald met de volgende generatie. Het beoordelingsmodel zal uitwijzen of de nieuwe oplossingen beter zijn dan de oude oplossingen. Door steeds de best scorende oplossingen onveranderd naar de volgende generatie door te laten gaan wordt gegarandeerd dat de beste oplossing nooit slechter wordt. Dit proces gaat door tot een zeker stopcriterium bereikt wordt. Zie figuur 7.



Figuur 6: Voorbeeld van reproductie met genetische modificatie: crossover

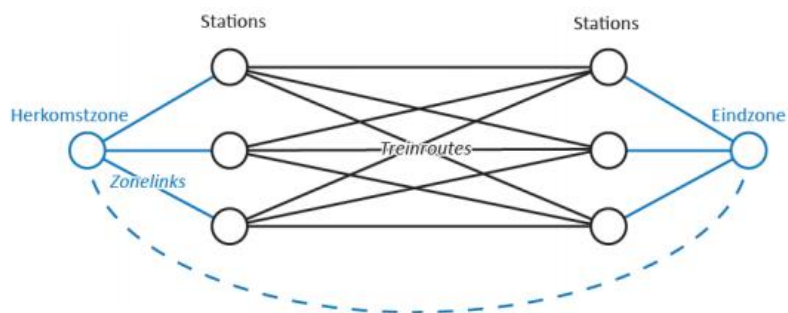


Figuur 7: Doorloopschema Genetisch Algoritme

4. Beoordelingsmodel

4.1 Netwerk specificatie

Het model gebruikt een gerichte graaf-representatie van het netwerk, met stations als knopen en de baanvakken ertussen als schakels. In iedere richting is 1 schakel. Zie figuur 8. De vervoersvraag bij gebruik van de LMS-methode is gemodelleerd van zone naar zone. Daartoe wordt aan iedere zone een set van kandidaatstations toegewezen. Vanuit de zones kunnen reizigers zo verschillende stations in de omgeving als toegangspunt gebruiken. De schakels tussen de zones en stations hebben een reistijd, als functie van de afstand.



Figuur 8: Opbouw routekeuzeset

4.2 Reisgedrag

Het reisgedrag wordt gemodelleerd met behulp van een logit keuzemodel (Ben-Akiva en Lerman (1985)). De reiziger kan kiezen uit de verschillende kandidaatstations bij de herkomstzone en verschillende de kandidaatstations bij de bestemmingszone. Tussen deze stations wordt de kortste route berekend met een kortste pad algoritme. Daarnaast wordt er ook altijd een directe schakel tussen herkomst- en bestemmingzone toegevoegd, zodat de reiziger ook de keuze heeft om de trein niet te gebruiken. De verdeling van de reizigers over de routes wordt bepaald aan de hand van het disnut van de reis. In het disnut zijn zaken opgenomen als reistijd in voor- en natransport, rijtijd in trein, halteertijd en strafpunten voor overstappen.

4.3 Beoordelingsmodel

Het beoordelingsmodel evalueert de individuen (lijnvoeringen) op de volgende minimalisatie criteria:

- Gemiddelde generaliseerde reistijd
- Totale kwadratische omreis (om lange omreizen te voorkomen)
- Gemiddeld aantal overstappen
- Totaal aantal niet-treinreizen
- Aantal benodigde treinen

Vier van de 5 optimalisatiecriteria zijn gericht op de reiziger. Dit sluit aan bij de ontwerpfilosofie van het onderzoek, waarbij gezocht wordt naar een lijnvoering gericht op het zo goed mogelijk aansluiten bij de vervoersvraag. Voor het vinden van realistische oplossingen is het echter ook noodzakelijk om een criterium toe te voegen dat doorwerkt aan de kostenkant van het model. In dit geval is dit het aantal benodigde treinen.

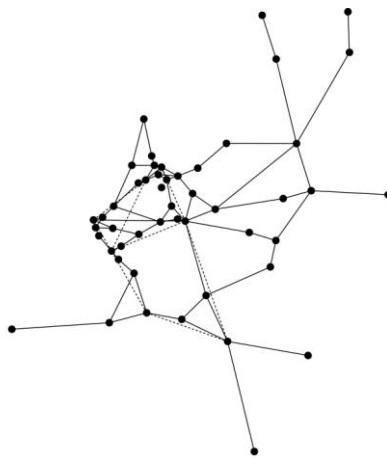
5. Toepassing

5.1 Ontwerpvarianten

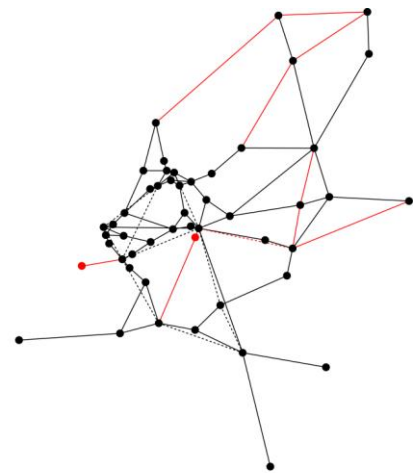
Om de resultaten een brede toepassing te geven, worden vier verschillende varianten ontwikkeld. De resultaten van de eerste variant kunnen relatief snel worden toegepast. De laatste variant moet gezien worden als een lange termijn visie (na 2020). Variant 1 (figuur 9) gebruikt de vervoersvraag uit de LMS-methode en bestaande Intercity stops. Het bestaande hogere netwerkniveau van Fyra en Thalys wordt als randvoorwaarde meegenomen. De tweede variant is identiek aan de eerste, maar gebruikt de vervoersvraag uit de elasticiteitsmethode, om de verschillen te onderzoeken. In de derde (figuur 10) en vierde variant (figuur 11) wordt een nieuwe selectie toegangspunten (stations) gebruikt met een grotere afstand tussen de halteringen. In het hogere netwerkniveau worden potentiële schakels aan het netwerk toegevoegd (op basis van bestaande infrastructuur) en de huidige treinlijnen (Fyra, Thalys) op dit niveau hoeven niet per definitie onderdeel van de oplossing te zijn. Beide varianten gebruiken de vervoersvraag uit de LMS-methode. In de vierde variant wordt het netwerk met nieuwe potentiële schakels uitgebreid, die niet bestaan in de huidige infrastructuur. Deze schakels zijn voor een deel gekozen omdat over deze schakels een lopende discussie is. De overige schakels volgen uit een onderzoek van zwakke punten in het bestaande netwerk.



Figuur 9: Netwerkvariant 1 & 2



Figuur 10: Netwerkvariant 3



Figuur 11: Netwerkvariant 4

	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Agglomeratie schaalniveau (Fyra)	Randvoorwaarde	Randvoorwaarde	Simultaan ontwerp	Simultaan ontwerp
Knopen	Huidige intercitystatus	Huidige intercitystatus	Nieuw ontwerp	Nieuw ontwerp
Schakels	Bestaande schakels	Bestaande schakels	Bestaande schakels	Nieuwe schakels
Verplaatsingspatroon	LMS-methode	Elasticiteitsmethode	LMS-methode	LMS-methode
Termijnvisie	Korte termijn (2013)	Korte termijn (2013)	Middellange termijn (2015-2020)	Lange Termijn (> 2020)

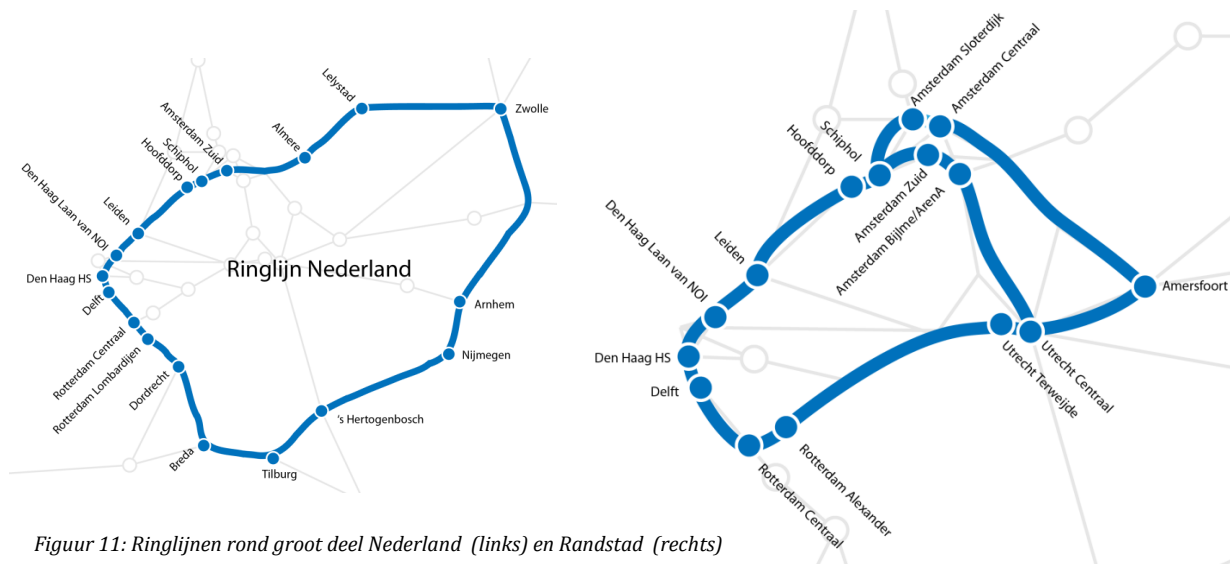
Tabel 1: Overzicht uitgangspunten varianten

6.2 Opvallende resultaten

Wanneer de resultaten van de varianten bekeken worden, valt op dat de overeenkomsten met de huidige lijnvoering redelijk groot zijn. Ook opvallend is dat de resultaten van de varianten grote overeenkomsten met elkaar vertonen. Op enkele te verwachten verschillen na, laten alle varianten dezelfde patronen zien. Dit ondanks het feit dat de vrijheidsgraden voor het ontwerp tussen de varianten sterk verschillen.

Ringlijnen

Het meest opvallende resultaat is het verschijnen van ringlijnen. Hoewel slechts 3 kandidatringlijnen in het model zijn opgenomen, verschijnt in iedere oplossing minstens 1 ringlijn en soms zelfs alle drie. De eerste ringlijn (zie figuur 11 links) omcirkelt een groot deel van het land via Amsterdam, Zwolle, Arnhem, 's Hertogenbosch, Breda, Rotterdam, Den Haag, Schiphol en terug naar Amsterdam. Deze ringlijn is fysiek mogelijk dankzij de opening van de Hanzelijn tussen Lelystad en Zwolle. De andere twee cirkellijnen (zie figuur 11 rechts) omcirkelen de Randstad via Amsterdam, (Amersfoort), Utrecht, Rotterdam, Den Haag, Schiphol en terug naar Amsterdam.



Figuur 11: Ringlijnen rond groot deel Nederland (links) en Randstad (rechts)

Voordeel van de grote ringlijn via de Hanzelijn is dat er niet gekeerd hoeft te worden. Voor alle ringlijnen geldt bovendien dat er nieuwe directe verbindingen ontstaan, zoals Gouda – Rotterdam – Delft en Amsterdam Bijlmer – Leiden. Welke impact een ringlijn heeft op betrouwbaarheid en bijstuurbaarheid is niet onderzocht omdat de focus van het onderzoek op strategisch niveau ligt, maar verdient in een nadere uitwerking zeker aandacht.

Nieuwe doorkoppelingen

Voor een aantal stationsparen blijkt dat er genoeg vervoersvraag is om ze onderdeel van een directe lijn te maken, waaronder:

- 's Hertogenbosch – Utrecht – Amersfoort
- Tilburg – Utrecht (direct)
- Amsterdam – Zwolle – Deventer – Enschede (met gebruik van Hanzelijn)

Pendeltreinen

Op enkele trajecten worden vaak pendeltreinen gevonden, waaronder:

- Rotterdam Centraal – Den Haag Centraal
- Arnhem – Nijmegen

Voor beide stationsparen geldt dat er een relatief grote vervoersvraag is, maar de locatie van de stations is te complex om de vraag met andere lijnen te verwerken. Extra pendeltreinen worden ingelegd om aan de vraag te voldoen.

Focus op de Randstad

In het algemeen ziet men een verhuizing van treinen naar de Randstad. Het blijkt dat wanneer puur naar de vervoersvraag gekeken wordt, het het meest effectief is om meer treinen in de Randstad te laten rijden, omdat daar de vraag het grootst is. Er wordt dan een mindere dienstverlening geboden aan de minder stedelijke gebieden in het noorden, oosten en zuiden van het land. Dit sluit aan bij de grote absolute groei in de vervoersvraag in de Randstad, zoals gevonden in hoofdstuk 2.

7. Toepasbaarheid en aanbevelingen

7.1 Beoordelingsmodel

Het belangrijkste aandachtspunt bij de verdere ontwikkeling van de methodiek is het beoordelingsmodel. Het beoordelingsmodel dient de juiste elementen in de juiste verhoudingen te bevatten. Deze functie dient naast de marktvraag ook de andere relevante aspecten voor de 'business' van het OV-bedrijf te bevatten. Het huidige beoordelingsmodel dient verder verfijnd te worden om scherpe conclusies aan de resultaten te kunnen verbinden.

7.2 Brondata

Hoewel de resultaten bij verschillende brondata sterk overeen kwamen, moet zorg besteed worden aan de gebruikte brondata. De NS-gegevens en LMS-gegevens hebben beide hun voor- en nadelen wat betreft betrouwbaarheid en volledigheid. Mogelijk worden betrouwbaardere resultaten behaald met de nieuwe LMS-gegevens.

7.3 Uitbreiding stoptreinen / sprinters

Verder kan de exercitie ook uitgebreid worden met stoptreinen / sprinters. Er moet dan onderzocht worden of het beter is om dit simultaan of in 2 stappen uit te voeren. Wanneer dit simultaan gebeurt wordt de uitwisseling tussen verschillende schaalniveaus goed gemodelleerd. De zoekruimte wordt echter zeer groot. Dit maakt de rekentijd langer en het zoeken naar het optimum lastiger. Men kan er ook voor kiezen om de gevonden resultaten in dit onderzoek als randvoorwaarde op te nemen in het ontwerp van de lijnvoering van de stoptreinen. In deze topdown benadering wordt de uitwisseling tussen schaalniveaus weliswaar minder goed gemodelleerd, maar worden eerst de hoofdstromen gefaciliteerd door het intercity-netwerk en vervolgens de stoptrein verbindingen hieraan aangepast.

7.4 Algemeen

De toegepaste methodiek toont aan dat het mogelijk is om nieuwe dienstregelingen op een objectieve wijze vanuit de vervoersvraag op te bouwen. De resultaten leiden tot nieuwe inzichten die met gebruik van de klassieke methode (voortborduren op de bestaande lijnvoering) niet gevonden zouden worden: nieuwe doorkoppelingen en concepten als ringlijnen en pendellijnen. Hiermee is de methodiek een waardevol instrument in de beginfase van de ontwikkeling van een nieuwe dienstregeling. OV-bedrijven zouden een dergelijke exercitie ca. 1 x per 5 jaar en vaker in het geval van wijzigingen in het infrastructuurnetwerk uit moeten voeren.

Literatuur

Ben-Akiva en Lerman (1985) *Discrete Choice analysis: theory and application to travel demand*, Massachusetts: The Massachusetts Institute of Technology.

Bielli, M., Caramia, M. en Carotenuto, P. (2000) *Genetic Algorithms in bus network optimization*, Transport Research Part C (10), pp. 19-34.

Bussieck, M. (1998) *Optimal Lines in Public Transport*, Universität Braunschweig.

Eck, G. van (2010) *Ontwerp van stedelijke openbaar vervoer netwerken*, bijdrage CVS 2010.

Van Nes, R. (2002) *Design of multimodal transport networks*, Technische Universiteit Delft.