

Hoogfrequente treinoperatie in de randstad

Onderzoeksopdracht

Frans De Kok

Technische Universiteit Delft

Hoogfrequente treinoperatie in de randstad

Onderzoeksopdracht

door

Frans De Kok

in overeenstemming met de vereisten voor het verkrijgen van de graad van

Master of Science

in Mechanical Engineering

aan de Technische Universiteit Delft,

Studentnummer: 4174100
Projectduur: 23 Augustus 2017 – 21 November 2017
Begeleider: Dr. Ir. H.P.M. Veeke

Een elektronische versie van dit verslag is beschikbaar op

<http://repository.tudelft.nl/>.

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
2	Achtergrond	3
2.1	Groei	3
2.2	Deelnetwerk De Randstad	5
2.3	Aansturing	5
3	Basisontwerp	7
3.1	Gekozen stations	7
3.2	Rijtijden	8
3.3	Capaciteit	9
3.4	Infrastructuur	10
4	Model	13
4.1	Input model	13
4.1.1	Startende reizigers	13
4.1.2	Overstappende reizigers	16
4.1.3	Naar model	16
4.1.4	Bestemming	17
4.1.5	Treinen	18
4.1.6	Besturingsstrategieën	18
4.2	Output Model	18
4.2.1	Capaciteit	19
4.2.2	Effectiviteit	20
4.3	Model	21
4.3.1	PDI	22
4.3.2	Naar Delphi	24
4.4	Controle	25
4.4.1	Steady-state gedrag	25
4.4.2	Verificatie	27
4.4.3	Validatie	30
5	Resultaten	33
5.1	Capaciteit	33
5.1.1	Tijdsonafhankelijke output	33
5.1.2	Netwerkparameters	33
5.1.3	Trajectspecifieke parameters	36
5.2	Effectiviteit	38
6	Conclusie	43
7	Aanbevelingen	45
	Bibliografie	47
A	Assignment Description	49

B	Summary	51
C	Resultaten Steady-state	57
D	Code Delphi	59

1

Introductie

Wie kent het niet? Treinen die overvol zijn in de spits. Veel mensen hebben nagedacht over oplossingen om dit te voorkomen. Allerlei voorstellen om mensen te verleiden om buiten de spits te reizen zijn waardevol maar hebben momenteel nog niet het effect dat er sprake is van een 'rustige reis' in de spits. En tot nu toe neemt elk jaar het aantal gebruikers van de trein toe[1].

In dit onderzoek wordt er gekeken naar een oplossing die ervoor zorgt dat de capaciteit van het netwerk toe kan nemen. Dit idee is een gescheiden hoogfrequent intercitynetwerk in de randstad (Utrecht, Amsterdam, Rotterdam en Den Haag). In het onderzoek wordt uitgewerkt hoe dit netwerk eruit kan zien, welke aanpassingen hiervoor nodig zijn en wat nu eigenlijk de belangrijkste verschillen zijn met het huidige netwerk.

Voor dit onderzoek is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Wat is de invloed van een gescheiden hoogfrequent deelnetwerk binnen de randstad op de capaciteit en effectiviteit van reizigerstransport?

Daarvoor dienen de volgende deelvragen beantwoord te worden:

1. Wat is het basisontwerp voor een hoogfrequente route binnen de randstad?
2. Wat zijn de randvoorwaarden voor een goede operatie van dit hoogfrequente deelnetwerk?
3. Wat is het verschil in capaciteit tussen het hoogfrequente netwerk en het huidige netwerk?
4. Wat is het verschil in effectiviteit tussen het hoogfrequente netwerk en het huidige netwerk?
5. Wat is de invloed van de verschillende besturingsstrategieën op de capaciteit van de effectiviteit van het hoogfrequente netwerk?

Om een goed inzicht in dit gescheiden hoogfrequente netwerk te krijgen zal eerst bepaald worden wat de (vaste) route van deze trein wordt. Voor deze route zullen alle benodigde specificaties worden vastgesteld. Voorbeelden van specificaties zijn reizigersaantallen en rijtijden.

Zodra het ontwerp duidelijk is zal dit ontwerp vertaald worden naar een simulatiemodel. Dit simulatiemodel is bedoeld om inzicht te geven in de verwerking van de reizigers. Dit model dient te resulteren in kwantitatieve gegevens over de capaciteit en de effectiviteit van het netwerk. Hierna zullen de resultaten worden gerapporteerd en zullen er conclusies worden getrokken.

De opdrachtschrijving voor dit project is gegeven in Bijlage [A](#) en de Engelse samenvatting is gegeven in Bijlage [B](#). Het rapportnummer van dit onderzoek is 2017.TEL.8186.

2

Achtergrond

Per december 2017 willen de Nederlandse Spoorwegen (NS) 'spoorboekloos rijden' invoeren op het traject Amsterdam – Utrecht – Eindhoven. In de praktijk betekent dat, dat er elke 10 minuten een intercity rijdt op dit traject. Op een deel van het traject (Utrecht – Houten Castellum) rijden er in de spitsrichting tegelijkertijd ook 6 sprinters per uur. [2] Deze wijzigingen zijn noodzakelijk door de toenemende drukte in de trein. De huidige tussentijd van een kwartier voldoet niet meer: De treinen zijn al ingericht op maximale capaciteit, terwijl de treinen nog overvol zijn.

2.1. Groei

De toenemende drukte is ook te zien in de statistieken. In figuur 2.1 zijn de gegevens van het aantal in- en uitstappers per station weergegeven voor de tien drukste stations.

Station	InUit2016	InUit2015	InUit2014	InUit2013
Utrecht Centraal	181644	176552	176292	170207
Amsterdam Centraal	174179	167427	162103	168800
Rotterdam Centraal	91750	85246	81811	80015
Den Haag Centraal	82057	77783	76216	71997
Schiphol Airport	78896	71585	68689	69437
Leiden Centraal	75699	71100	71680	70905
Eindhoven	61844	60450	59466	59782
Amsterdam Sloterdijk	50611	47615	47804	45194
Amsterdam Zuid	45771	43716	42265	41389
Hertogenbosch 's	45397	43172	41953	41962

Figuur 2.1: Top 10 in- en uitstappers per station [1]

Dit laat zien dat er een grote stijging is van het aantal in- en uitstappers per station in de afgelopen vier jaar. Deze trend zorgt voor grote vraagstukken rond het verwerken van het

toenemende aanbod aan reizigers. Het beschikbare spoor moet alle beschikbare treinen kunnen verwerken. Daarbij is het noodzakelijk dat er voldoende afstand zit tussen de treinen. De volgende twee factoren maken het complex om zoveel mogelijk treinen met het beschikbare spoor te verwerken:

1. De afwisseling tussen intercitymaterieel en sprintermaterieel. Doordat een sprinter op veel meer locaties stopt is de gemiddelde snelheid langzamer. Hoe gelijkwaardiger de snelheid van het verschillende materieel hoe meer treinen in te plannen zijn op een gedeelte spoor.
2. Het gehele netwerk van de NS is verknoopt met elkaar. Een voorbeeld is het traject Den Haag HS – Rotterdam Centraal. De treinen die binnenkomen in Den Haag HS komen vanuit de richting van Den Haag Centraal, Haarlem/Amsterdam Centraal en Schiphol/Lelystad. Vanuit Rotterdam Centraal rijden de treinen in de richting van Eindhoven (via de hogesnelheidslijn) en in de richting van Dordrecht/Vlissingen. Als een trein uit één van de richtingen een vertraging heeft beïnvloedt het de treinen in de andere richtingen. Daardoor kan een vertraging zich gemakkelijk uitbreiden naar verschillende delen van het land. Er moet dus voldoende buffer aanwezig zijn om vertragingen te kunnen oplossen.

Voor de tram en de metro geldt dat (in de meeste gevallen) er sprake is van een gelijk stoppatroon voor alle voertuigen op één lijn. Hierdoor is de gemiddelde snelheid gelijk voor alle voertuigen. Voor operatie met hoge frequentie dient het stoppatroon van de treinen op een uniek spoor dan ook gelijk te zijn. Een voorbeeld hiervan is viersporigheid met unieke sporen voor intercity's en sprinters.

In de huidige dienstregeling wordt voor treinen met een gelijk stoppatroon een tussentijd van 3 minuten gehanteerd. Een voorbeeld hiervan zijn de intercity's tussen Gouda en Utrecht^[3]. Als er geen interferentie is met ander treinverkeer zou dit kunnen leiden tot een frequentie van 20 treinen per uur. Dat betekent een grote toename is van de capaciteit van het netwerk. Officieel dient de afstand tussen treinen minimaal twee bloksecties te zijn ^[4]. Dit betekent een minimale afstand van 3 km op gedeeltes waar de maximale snelheid gereden mag worden. Dit kan resulteren in een nog hogere frequentie van zelfs 53 treinen per uur voor operatie met 160 km/h en maximale snelheid. Vanwege noodzakelijke buffers en gedeeltes waar niet de maximale snelheid gereden wordt is een maximale frequentie van 20 treinen per uur aangenomen.

hoge frequentie is echter momenteel niet mogelijk door de genoemde oorzaken. De afwisseling van intercity- en sprintermaterieel zou (door veel investeringen) kunnen worden verholpen met viersporigheid en passende infrastructuur in stations. Het probleem van verknoping van het netwerk blijft. Dit is voornamelijk een probleem als een trein vertraging oploopt en daarmee invloed heeft op het gehele netwerk. Dit is voornamelijk een probleem als een deel van de treindienst hoogfrequent is. In het hoogfrequente deel is er geen herstel van de dienstregeling mogelijk vanwege korte opvolgtijden.

2.2. Deelnetwerk De Randstad

Voor het slagen van hoogfrequente treinoperatie is het nodig om het hoogfrequente deel van het netwerk te laten functioneren als een deelnetwerk zonder koppeling aan het andere deel van het netwerk. Dit is mogelijk door gescheiden infrastructuur en gescheiden treindiensten/materieelinzet. In de randstad in Nederland is er de grootste vraag naar treincapaciteit. Dit geldt voornamelijk voor het verkeer tussen de grote steden Utrecht, Amsterdam, Rotterdam en Den Haag.

In dit onderzoek wordt het idee uitgewerkt om een hoogfrequente treindienst via de steden Utrecht, Amsterdam, Den Haag en Rotterdam te laten rijden. Als de trein weer terug rijdt van Rotterdam naar Utrecht kan de trein blijven rijden in dezelfde dienst. De trein rijdt dan een ronde. Dit is de basis van de hoogfrequente circulaire treinroute. Deze dienst kan in twee richtingen worden uitgevoerd.

Het voorstel voor een hoogfrequente treindienst is niet nieuw. Al in 1993 werd er al een dergelijk voorstel gedaan^[5]. Wetenschappers van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft betogen de waarde van een hoogfrequente snelle verbinding tussen de belangrijkste locaties in de randstad. Zij stellen dat door een zeer snelle, betrouwbare en frequente verbinding tussen de verschillende steden, deze steden zullen ontwikkelen tot een randstad die kan concurreren met grote metropolen als Londen en Parijs.

De randstad kan worden vergeleken met een metropool met verschillende kernen. Vergeleken met andere metropolen is de afstand tussen de kernen groter en de bebouwing tussen de kernen minder. In metropolen als Parijs is een metronetwerk dat de diverse kernen van de stad verbindt. Om acceptabele reistijden te realiseren zal de verbinding snel moeten zijn (dit kan vanwege de grote afstand) en zal de trein op weinig locaties moeten stoppen (dit kan vanwege de lage vervoersvraag tussen de kernen).^[5] Een randvoorwaarde is wel dat de plaatsen die zich tussen de kernen bevinden (zoals bijv. Gouda en Cappelle aan de IJssel) wel bereikbaar blijven.

Door de bouw van een hoogfrequent netwerk worden de verschillende steden van de randstad beter met elkaar verbonden. Hierdoor kan de randstad gaan functioneren als één belangrijke metropool. Het idee stamt al vanuit 1993^[5]. Het is echter nog steeds een ambitieuze toekomstgedachte. Dit onderzoek onderzoekt hoe realistisch het is om een dergelijke treindienst te ontwikkelen. De sterk toegenomen vervoersvraag maakt het onderzoek steeds complexer.

2.3. Aansturing

Als een trein vertraging oploopt bij hoogfrequente treinoperatie beïnvloed dit alle treinpaden van de opvolgende treinen. Daarom moet over de aansturing van deze treinen goed nagedacht worden. Andere bijsturingsopties zijn het uit laten vallen van een trein (De volgende trein rijdt toch binnenkort) of het laten wisselen van treinpad (elke trein rijdt één of meer treinpaden later dan gepland).

Doordat de dienstregeling van weinig belang is, is het ook mogelijk om voor een geheel andere aansturing te kiezen. Dit is gebaseerd op recent onderzoek naar de aansturing van bussen

op hoogfrequente lijnen. De proef is gehouden bij een buslijn in Stockholm[6]. Het probleem aldaar was dat bij vertraging de bussen niet juist verdeeld waren over de tijd. Soms kwamen er twee of meer bussen tegelijk aan op een bushalte. Doordat alle mensen in de voorste bus stapten werd dit probleem alleen maar groter.

Tijdens deze proef is geen dienstregeling gebruikt. De aansturing werd gedaan op basis van gelijke afstand (in tijd) tussen de bussen. Op basis hiervan werden bijsturingsmaatregelen (met behulp van ingebouwde software) gegeven. Het voordeel hiervan is de mogelijkheid om vertragingen rustig op te vangen en het feit dat bij gunstige verkeersomstandigheden de dienstregeling geen belemmering vormt voor de totale rijtijd. Het onderzoek kan als geslaagd gezien worden. De reacties waren positief en de gemiddelde vertraging is gedaald met 18 procent.[6] Bij de aansturing van een hoogfrequent circulair treinnetwerk is dit een mogelijkheid die meegenomen kan worden.

In dit hoofdstuk zijn een aantal recente ontwikkelingen geschetst die de achtergrond vormen voor dit onderzoek. In het volgende hoofdstuk wordt dit in meer detail uitgewerkt.

3

Basisontwerp

In dit onderzoek wordt een voorbeeld uitgewerkt van een hoogfrequent treinnetwerk in de randstad. Het treinnetwerk loopt via de steden Utrecht, Amsterdam, Den Haag en Rotterdam. In dit onderzoek wordt gefocust op snel vervoer tussen de grote steden. Alle kleinere stations worden overgeslagen zodat de rijtijd beperkt blijft. Als aanvulling op dit snelle (intercity) netwerk tussen de grote steden dient een onderliggend ov-netwerk te zijn dat de reizigers transporteert van de knooppunten naar andere delen van het netwerk.

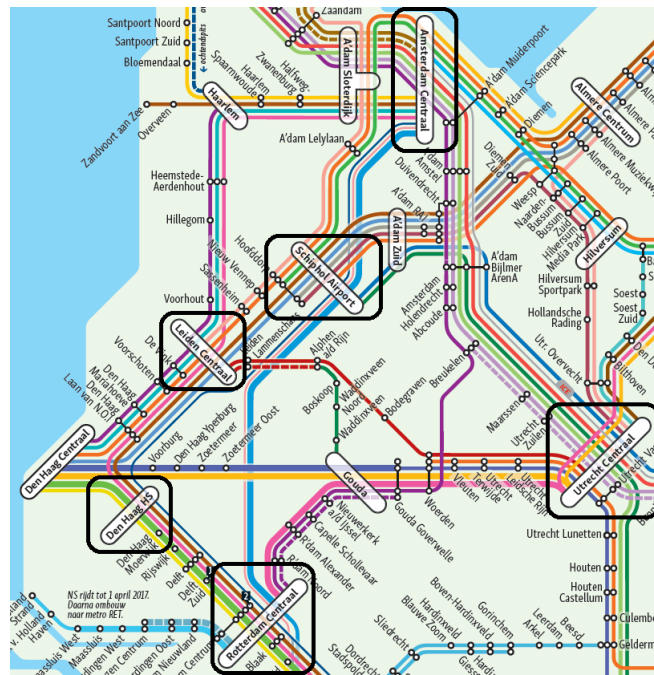
3.1. Gekozen stations

Al in het voorstel van de wetenschappers van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft uit 1993 [5] worden de steden Amsterdam, Rotterdam, Utrecht en Den Haag als de belangrijkste steden genoemd die verbonden moeten worden met het hoogfrequente netwerk. Zij stellen voor om station Schiphol Airport als vijfde knooppunt toe te voegen aan het netwerk. In dit onderzoek is gekozen om naast deze vijf belangrijke stations ook het station Leiden Centraal toe te voegen aan het netwerk. Dit is gedaan om de volgende twee redenen:

- Leiden is een belangrijke plaats in het netwerk. Vanuit Leiden kunnen de steden Alphen aan de Rijn en Gouda relatief snel bereikt worden.
- Leiden Centraal is het 6e station van Nederland wat in- en uitstappers betreft. Het aantal reizigers neemt snel toe (zie figuur 2.1)

Er is gekozen om het aantal niet uit te breiden met nog meer stations. Het volgende station dat in aanmerking komt (en op de route ligt) is station Amsterdam Sloterdijk. Dit station heeft echter beduidend minder reizigers dan station Leiden Centraal. Het uitbreiden van het aantal stations heeft ook een negatief effect op de gemiddelde snelheid van de trein.

Station Den Haag Holland Spoor heeft een relatief laag aanbod van reizigers (34.946). Station Den Haag Centraal heeft een veel groter aanbod (82.057). [1] Echter vanwege de plaats in het netwerk heeft station Den Haag Holland Spoor de voorkeur. Vanwege de geringe afstand wordt aangenomen dat de trein stopt in Den Haag Holland Spoor en het aantal in- en uitstappers opvangt van zowel Den Haag Centraal als van Den Haag Holland Spoor.



Figuur 3.1: Route circulair netwerk



De stations worden in de vaste volgorde aangegaan: Utrecht Centraal (Ut) - Amsterdam Centraal (Asd) - Schiphol Airport (Shl) - Leiden Centraal (Ledn) - Den Haag Holland Spoor (Gv) - Rotterdam Centraal (Rtd) - Utrecht Centraal. De afkortingen zijn algemeen gebruikte afkortingen binnen de spoorwereld. De route wordt zowel in deze richting als in tegenovergestelde richting gereden. In Figuur 3.1 is een overzicht gegeven van de verschillende stations die deel uitmaken van het netwerk.

3.2. Rijttijden

In het model wordt ervan uit uitgegaan dat er gebruik gemaakt wordt van nieuw, snel intercitymaterieel. Dit materieel moet een snelheid kunnen halen van 160 km/h. De spanning van de bovenleiding wordt aangenomen als 25 kV. Momenteel heeft alleen de hogesnelheidslijn een bovenleidingspanning van 25 kV. Dit vereist een flinke wijziging van de infrastructuur. Zonder deze wijzigingen is het echter niet mogelijk om een dergelijke hoge snelheid te halen.

De aanname is dat er gebruik gemaakt wordt van het huidige spoor. De afstand tussen de verschillende stations is bekend en wordt gebruikt om de rijttijd te berekenen^[8]. Met behulp van bekend optrek- remgedrag zijn de rijttijden berekend^[9]. Eerst zijn de technische rijttijden berekend. De technische rijttijd is de minimale tijd die een trein doet over het traject. Vervolgens is de rijttijd berekend die gebruikt wordt voor het model. Dit is de rijttijd inclusief de marge die gebruikt wordt in de modellen van de NS. De marge is 5% van de rijttijd plus 30 seconden^[10]. In Tabel 3.1 zijn de berekende rijttijden gegeven.

Wat betreft de stations wordt de aanname gedaan dat er op elk station een wachttijd is van één minuut. Momenteel variëren de wachttijden op stations van (afgerond) 0 minuten tot

Tabel 3.1: Rijtijden

Traject	Afstand (km)	Tech. rijtijd (min)	Rijtijd met marge (min)
Utrecht Centraal - Amsterdam Centraal	35	14,68	15,91
Amsterdam Centraal - Schiphol Airport	8	4,56	5,28
Schiphol Airport - Leiden Centraal	16	7,56	8,43
Leiden Centraal - Den Haag HS	16	7,56	8,43
Den Haag HS - Rotterdam Centraal	23	10,18	11,19
Rotterdam Centraal - Utrecht Centraal	57	22,93	24,58

6 minuten [3]. Dit is vereenvoudigd tot een gelijke behandeltijd van 1 minuut voor de stations. De behandeltijd is gelijk aan het verschil in aankomsttijd en vertrektijd. De som van de verschillende rijtijden resulteert in een totale rijtijd van 80 minuten voor de ronde. Dit is beduidend minder dan de nu benodigde tijd van 143 minuten voor de ronde [3].

Op vier van de zes stations is er sprake van doorgaand verkeer. De treinen komen aan de ene kant van het station binnen en verlaten het station aan de andere kant. Dit is echter niet mogelijk bij de stations Rotterdam Centraal en Utrecht Centraal. In beide stations moet de trein kopmaken: De trein vertrekt in dezelfde richting als waar de trein vandaan komt. Normaal wordt hiervoor een behandeltijd van 6 minuten gerekend [3]. Voor een hoogfrequent en snel randstadnet zou dit een groot knelpunt betekenen. Daarom wordt de aanname gedaan dat ook hier een behandeltijd van 1 minuut geldt.

Een mogelijke oplossing is dat er een wisseling van machinist optreedt. Een machinist staat gereed aan de goede kant van de trein waardoor de trein snel kan vertrekken. Een andere oplossing is de aanpassing van de infrastructuur waardoor de trein niet meer hoeft te kopmaken. Dit vereist echter een forse investering. In Rotterdam is het ook mogelijk om gebruik te maken van station Schiedam Centrum in plaats van station Rotterdam Centraal.

3.3. Capaciteit

Bij de treinen wordt aangenomen dat er gebruik gemaakt wordt van de Intercity Nieuwe Generatie: De trein die momenteel is besteld door de NS. Deze trein is enkeldeks. Dat is voordelig voor een snel instaproces van de reizigers. Dit is positief voor de gemiddelde snelheid. Voor de treinen wordt aangenomen dat twee ICNG-VIII combinaties gekoppeld worden. Dit leidt tot een totaal van 800 zitplaatsen. [3]

Bij de berekeningen van de benodigde capaciteit wordt uitgegaan van het aantal zitplaatsen. Het kan echter zijn dat er een piek aanwezig is in het aantal reizigers. In dat geval moeten er reizigers staan. Voor de dubbeldekker VIRM geldt een maximumcapaciteit van 146% [1]. De aanname is dat het aantal mogelijk staanplaatsen vergelijkbaar is met het aantal staanplaatsen van de VIRM-intercity. Daarom wordt een aantal van 46% staanplaatsen aangenomen.

3.4. Infrastructuur

Wat betreft de infrastructuur is de eerste noodzakelijkheid de beschikbaarheid van twee sporen voor de hoogfrequente intercitydienst. Omdat de intercitydienst veel kleinere stations overslaat dient er ook spoor gereserveerd te worden voor sprinters die de kleinere stations aandoen. Doordat de meeste sprinters op de trajecten rijden met een frequentie van 4 maal per uur is enkelspoor onvoldoende. Hierdoor dienen er twee sporen gereserveerd te worden voor sprintermaterieel. Dit resulteert in een minimaal aantal van vier sporen die noodzakelijk zijn om een volledig gescheiden infrastructuur te garanderen.

In het te onderzoeken traject is op veel locaties al viersporigheid aanwezig. Echter, op de volgende locaties dient extra spoor aangelegd te worden om tot viersporigheid te komen.

- Hoofddorp - Leiden Centraal
- Rijswijk - Schiedam Centrum
- Rotterdam Centraal - Gouda
- Gouda Goverwelle - Woerden
- Leidsche Rijn - Utrecht Centraal

Op het traject van Leidsche Rijn naar Utrecht Centraal wordt momenteel gewerkt om viersporigheid aan te leggen [12]. Er zijn ook plannen om het gedeelte tussen Rijswijk en Delft Zuid te voorzien van viersporigheid [13]. Voor goed functioneren van een hoogfrequent circulair netwerk zullen ook de overige delen uitgebreid moeten worden naar vier sporen.

Door een strikte scheiding van treindiensten op de sporen tussen de stations zullen de treindiensten niet met elkaar interfereren. Op de verschillende stations komen treindiensten uit verschillende richtingen. De eis van de strikte scheiding van infrastructuur is ook van toepassing voor de stations.

De hoogfrequente circulaire route komt in plaats van (delen van) de huidige treinseries. De huidige treinseries dienen te stoppen aan de rand het netwerk. Door deze eis is er geen interferentie van treinseries op een station.

De stations dienen zo te worden ingericht dat er aparte sporen beschikbaar zijn voor de doorgaande hoogfrequente treindienst en de verschillende overige treindiensten. Voor station Leiden Centraal zou dat er als het volgt uitzien:

- De meest westelijke sporen zijn bestemd voor treinseries uit de richting Haarlem.
- De middelste sporen zijn bedoeld voor de doorgaande hoogfrequente dienst.
- De oostelijke sporen zijn bedoeld voor treinverkeer in de richting van Alphen aan de Rijn.

Om een dergelijke lay-out van een treinstation te realiseren zijn enkele aanpassingen nodig. Doordat er geen interferentie van treinseries is kan het aantal wissels beperkt blijven. Dit is passend in de trend om te groeien naar robuuste systemen met zo min mogelijk wissels en zoveel mogelijk eigen treinpaden (Zie bijvoorbeeld de recente aanpassing van Utrecht Centraal [14])

In het geval van kopmaken in Utrecht Centraal en Rotterdam Centraal zullen enkele Dive-unders of Fly-overs noodzakelijk zijn om de vier verschillende sporen zonder interferentie terug te laten keren op een eigen uniek spoor. Dit zal de noodzakelijke kosten met zich mee laten brengen.

Als er sprake is van een strikte scheiding zal de vertraging van het hoogfrequente deel niet uitbreiden naar de overige treinseries en vice-versa. De kosten die alle aanpassingen met zich meebrengen zullen hoog zijn. Daarmee is het wel mogelijk om een frequentie van 20 treinen per uur te realiseren. Deze frequentie is momenteel echter nog niet noodzakelijk. Daarom is het momenteel nog mogelijk om treinen uit reguliere treinseries te laten rijden op een deel van het spoor rondom de stations. Hierdoor zijn voorlopig nog minder aanpassingen van de stations nodig:

- Bij een frequentie van 11 - 20 treinen per uur: Geen interferentie met andere treinen rondom stations mogelijk.
- Bij een frequentie van 7 - 10 treinen per uur: Tussen twee treinen op de hoogfrequente lijn kan een andere trein een station binnenkomen of verlaten.
- Bij een frequentie van 6 treinen per uur of minder: Tussen twee treinen op de hoogfrequente lijn kunnen meerdere treinen een station binnenkomen of verlaten.

Bij lagere frequenties van de circulaire route is het dus niet strikt noodzakelijk dat de infrastructuur gescheiden is. Dat betekent echter wel dat vertragingen afgewenteld kunnen worden op het overige treinverkeer en vice versa.

4

Model

In het vorige hoofdstuk is het basisonwerp gegeven voor een hoogfrequent netwerk: De trein rijdt een ronde tussen de stations Utrecht Centraal, Amsterdam Centraal, Schiphol Airport, Leiden Centraal, Den Haag Holland Spoor en Rotterdam Centraal. Voor dit onderzoek is een model gemaakt dat de reizigersstromen simuleert. Voordat het model zelf wordt besproken wordt eerst de noodzakelijke input en de noodzakelijke output van het model besproken.

4.1. Input model

In Hoofdstuk 3 is het basisonwerp van het hoogfrequente netwerk besproken. De route van de trein en de verschillende parameters van de trein zijn bepaald. Het belangrijkste dat echter nog bepaald moet worden is het aantal personen dat in- en uitstapt op de verschillende stations. Het aantal instappers is verdeeld in twee verschillende groepen mensen: De personen die hun reis starten op één van de zes stations en de mensen die hun reis starten op een ander station en op één van de zes stations overstappen op het hoogfrequente netwerk. Voor beide soorten reizigers wordt hieronder de verdeling en intensiteit van aankomst besproken. Daarna zal besproken worden hoeveel reizigers op elk station uit zullen stappen.

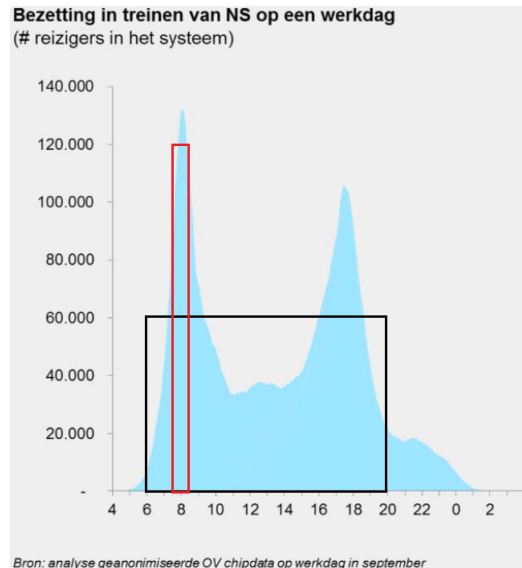
Het onderzoek richt zich op de kritieke situatie. Daarom wordt de vraag naar capaciteit in piekuren onderzocht. Er is een keuze gemaakt om de data te gebruiken van de ochtendspits. De NS gebruikt de term 'hyperspits' om de drukste periode in de ochtendspits aan te duiden. Dit is de periode tussen 7:30 en 8:30[15]. De gebruikte data is genomen in deze tijdperiode.

4.1.1. Startende reizigers

Het aantal reizigers dat elke dag in- en uitstapt op een station is bekend[1]. Het aantal instappers op een station is de helft van het aantal in- en uitstappers. Er dient een inschatting te worden gemaakt van het aantal reizigers dat instapt op een station in het hyperspitsuur.

In Figuur 4.1 is de bezetting van treinen van de NS weergegeven[16]. Dit geldt voor een gemiddelde werkdag in September. September is de drukste maand wat betreft reizigers.

In de figuur zijn twee vlakken aangebracht. Deze vlakken zijn aangebracht om een schatting te maken van het percentage reizigers dat instapt in de hyperochtendspits. De oppervlakte



Figuur 4.1: Reizigersverdeling in de trein op een werkdag in September [16]

van de zwarte rechthoek is ongeveer gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek. Aangenomen dat alle reizigers gelijk verdeeld reizen in de periode van 6 uur 's ochtends tot 8 uur 's avonds (de zwarte rechthoek) stapt in elk uur gemiddeld 7,1% van de reizigers in.

Het rode vlak toont een vereenvoudigde weergave van de hyperspits. De drukte tijdens de hyperspits is ongeveer twee maal zo groot dan in de periode 6-20h. Daarom is de aanname dat 14,3% van de reizigers opstapt tussen 7:30 en 8:30. Hiermee is aangenomen dat dit percentage vergelijkbaar is voor het aantal instappers op de zes verschillende stations.

Nu het aantal instappers op de verschillende stations bekend is kan een schatting worden gemaakt van het aantal reizigers dat gebruik gaat maken van de nieuwe hoogfrequente dienst. In Tabel 4.1 zijn de verschillende parameters zichtbaar die gebruikt worden in de onderstaande vergelijkingen.

Het percentage instappende reizigers op station i kan berekend worden met Formule 4.1:

$$p_{i,hfd} = p_{i,gr} \times p_{IC+} \quad (4.1)$$

In Formule 4.2 en Formule 4.3 worden de waarden berekend voor zowel p_{gr} als p_{IC+} .

$$p_{i,gr} = \frac{N_{i,gr}}{N_{i,ar} + N_{i,gr}} \quad (4.2)$$

$$p_{IC+} = \frac{n_{IC+} \times p_{o1}}{n_{sp} \times p_{sp,o} + n_{IC+} \times p_{IC+,o}} = \frac{359586 \times 2}{164999 \times 1,25 + 359586 \times 2} = 77,7\% \quad (4.3)$$

In de Formule 4.2 wordt aangenomen dat de verdeling van kortere en langere treinen over alle richtingen eerlijk verdeeld is. Met die aanname is het aantal treinen een maat voor de

Tabel 4.1: Uitleg parameters

Parameter	Uitleg
$p_{i,hfd}$	Percentage reizigers dat vanaf station i gebruik maakt van het hoogfrequente net.
$p_{i,gr}$	Percentage reizigers dat start op station i en reist in de richtingen van het hoogfrequente net.
p_{IC+}	Percentage reizigers dat gebruik maakt van de zes hoofdstations. Gerekend als percentage van reizigers die reizen over het traject Ut-Asd-Gv-Rtd-Ut
$N_{i,gr}$	Aantal treinen dat vertrekt op station i in de richtingen van het hoogfrequente net.
$N_{i,ar}$	Aantal treinen dat vertrekt op station i in andere richtingen dan het hoogfrequente net.
n_{IC+}	Aantal personen uit uitstapt op één van de zes hoofdstations
n_{sp}	Aantal personen dat uitstapt op de overige stations in het traject Ut-Asd-Gv-Rtd-Ut
$p_{IC+,o}$	Percentage reizigers dat na het uitstappen op een van de hoofdstations doorreist met een andere trein.
$p_{sp,o}$	Percentage reizigers dat uitstapt op één van de sprinterstations en doorreist.

Tabel 4.2: Startende reizigers input

Station	Instapreizigers per spitsuur op station i	Percentage dat gebruik maakt van hoogfrequent systeem	Reizigers in hoogfrequent systeem
Utrecht Centraal	12975	37,5%	4861
Amsterdam Centraal	12441	31,4%	3909
Schiphol Airport	5635	43,9%	2475
Leiden Centraal	5407	51,8%	2801
Den Haag Holland Spoor	8357	58,3%	4871
Rotterdam Centraal	6554	49,1%	3217

verdeling van de reizigers in de goede richting. Het antwoord op deze vergelijking is verschillend voor elk station.

In Formule 4.3 is de aanname gedaan dat op de zes stations van het netwerk evenveel reizigers overstappen op een andere trein dan dit station als hun eindstation hebben. Daarom is $p_{IC+,o}$ bepaald op 200%. Voor de sprinterstations is $p_{sp,o}$ gelijk aan 125 % omdat daar veel minder overstappers zijn. Het aantal uitstappers is bepaald door het aantal in- en uitstappers te sommeren over de verschillende stations [1]. Het aantal uitstappers is de helft van dit getal. De waarde van p_{IC+} is gelijk voor elk station.

Nu zowel het aantal reizigers bekend is dat start op de zes verschillende stations als het percentage van die reizigers dat gebruik maakt van het hoogfrequente intercitynetwerk kunnen het aantal reizigers worden berekend dat gebruik maakt van dit netwerk. De resultaten zijn zichtbaar in Tabel 4.2.

Tabel 4.3: Data overstappende reizigers

	Aantal inkomende treinen uit andere richtingen	Aantal doorreizende reizigers	Aantal reizigers HF-net	Gemiddeld aantal per trein
Utrecht Centraal	29	14112	5.288	182
Amsterdam Centraal	28	14784	4.645	166
Schiphol Airport	20	10080	4.428	221
Leiden Centraal	10	5376	2.785	279
Den Haag Holland Spoor	8	4032	2.350	294
Rotterdam Centraal	14	8064	3.958	283

4.1.2. Overstappende reizigers

Nadat een inschatting is gemaakt van het aantal reizigers dat start op een bepaald station kan een inschatting worden gemaakt van het aantal reizigers dat de zes verschillende stations gebruikt om over te stappen op het nieuwe hoogfrequente intercitynetwerk.

Om tot een schatting te komen van het aantal overstappers is eerst een schatting gemaakt van het aantal reizigers dat uit de verschillende (andere) richtingen binnenkomt. Tussen 7:30 en 8:30 is het aantal binnenkomende treinen gesommeerd. Er wordt aangenomen dat de treinen een bezettingspercentage hebben van 120 % (20% van de reizigers staat) en dat een sprinter gemiddeld bestaat uit 400 zitplaatsen en een intercity uit 800 zitplaatsen. Hiermee is bekend hoeveel reizigers binnenkomen op het station.

De aanname is dat van deze aankomende reizigers gemiddeld 30 % dit hoofdstation als eindstation heeft. 70% van de reizigers stapt dus over op een andere trein. Om te komen tot het aantal reizigers dat gebruik maakt het hoogfrequente netwerk moet het aantal weer vertrekkende reizigers vermenigvuldigd worden met $p_{i,hfd}$. In Tabel 4.3 zijn de resultaten zichtbaar.

4.1.3. Naar model

Het patroon van de overstappende reizigers is anders dan het patroon van de reizigers die starten op een bepaald station. Startende reizigers komen individueel of in kleine groepjes aan op het station. Deze reizigers worden gemodelleerd als individuele reizigers die aankomen op een station. De startende reizigers zijn gemodelleerd in een normaalverdeling met een gemiddelde (μ) en een standaarddeviatie (σ). In het geval van de startende reizigers is μ gelijk aan de gemiddelde tussentijd tussen twee aankomende reizigers en is (σ) is gelijk aan 40 % van deze gemiddelde tussentijd.

Voor de overstappende reizigers geldt dat ze aankomen in een batch. Daarom is het aantal overstapreizigers dat gebruik maakt van het hoogfrequente net gedeeld door het aantal aankomende treinen om te komen tot een gemiddeld aantal reizigers per aankomende trein dat gebruik maakt van het netwerk. Dit gemiddelde aantal heeft een normaalverdeling waarbij μ gelijk is aan het gemiddelde aantal reizigers in een trein en Σ is gelijk aan 40% van dit aantal. De verschillende treinen zijn onderling verdeeld via een normaalverdeling met μ gelijk aan de gemiddelde tussentijd tussen twee treinen en σ gelijk aan 40% van deze tussentijd.

Tabel 4.4: Percentage dat reist van station A naar station B

	Ut	Asd	Shl	Ledn	Gv	Rtd
Ut	0%	32%	17%	7%	18%	27%
Asd	36%	0%	25%	13%	9%	17%
Shl	24%	30%	0%	20%	17%	9%
Ledn	12%	20%	25%	0%	26%	17%
Gv	25%	11%	17%	21%	0%	27%
Rtd	35%	20%	8%	13%	25%	0%

In het model wordt de huidige reizigersstroom als basis genomen. Daarnaast wordt het scenario van groei geanalyseerd. De aanname is dat de groei over alle delen van het netwerk gelijkmatig is. Als de reizigersinput in een groeiscenario wordt onderzocht kan dit worden gemodelleerd als een constante factor die vermenigvuldigt wordt met het aantal reizigers dat start op één van de zes hoofdstations. Dezelfde factor vermenigvuldigt ook het aantal binnenkomende treinen. Hierbij is de aanname dat de grootte van een trein constant blijft in een groeiscenario. In het model wordt deze factor de **vermenigvuldigingsfactor** genoemd.

4.1.4. Bestemming

De bestemming van de reizigers dient gemodelleerd te worden. Het station waar de reizigers starten en het station waar de reizigers eindigen bepalen de lengte van de reis. Voor de groep reizigers die instapt op een bepaald station dient bepaald te worden hoeveel er in welke richting zullen reizen. In elke richting reist een bepaald percentage van de reizigers. Deze percentages dienen bepaald te worden. Twee verschillende factoren lijken te bepalen hoeveel reizigers naar welk station gaan:

- Het aantal reizigers dat uitstapt op een station. Er wordt aangenomen dat dit ongeveer gelijk is aan het aantal instappers.
- Hoe ver een station verwijderd is van het station waar de reizigers starten. De aanname is dat meer reizigers reizen naar een stad die dichtbij is dan naar een stad die verder weg is. Daarom is er een wegingsfactor geïntroduceerd. Voor de stations die bereikt kunnen worden zonder een station over te slaan wordt een wegingsfactor van 3 gebruikt, voor de stations die bereikt worden door één station over te slaan wordt een wegingsfactor van 2 gebruikt. Voor het laatste station wordt een wegingsfactor van 1 gebruikt.

Om de verschillende percentages te bepalen worden deze twee waarden met elkaar vermenigvuldigd. Voor elk van de stations wordt voor de andere stations dit getal berekend. De verhouding tussen deze waarden resulteert in het percentage reizigers dat vanaf dit startstation reist naar elke andere bestemming. In Tabel 4.4 zijn deze percentages weergegeven. Links staan alle startstations genoteerd. In de kolommen daarnaast is zichtbaar hoeveel procent van de reizigers vanaf dit startstation reist naar één van de andere stations.

Deze percentages zijn ingevoerd in het model als een Tabledistribution. Elke keer als een reiziger gemaakt wordt, wordt er een eindstation gekoppeld. Afhankelijk van het startstation wordt met de kans, gelijk aan de percentages, een eindstation gekozen.

Tabel 4.5: Input frequenties voor model

Frequenties	Tussentijd (min)
4	15
6	10
8	7,5
10	6
12	5
15	4
20	3

4.1.5. Treinen

Naast de reizigers in het model is het onmisbaar dat de treinen zelf gemodelleerd worden. In hoofdstuk 3.3 is al bepaald dat de treinen een capaciteit van 800 zitplaatsen hebben en dat er inclusief staanplaatsen een capaciteit is van 1168 personen.

De treinen worden gemodelleerd in twee richtingen. Voor elke richting geldt dat de minimale tussentijd tussen treinen gelijk is aan 3 minuten (Zie Hoofdstuk 3.4). Dit betekent dat een frequentie van maximaal 20 treinen per uur mogelijk is. Als input in het model zullen de frequenties zoals gegeven in Tabel 4.5 gebruikt worden.:

4.1.6. Besturingsstrategiën

Voor een optimaal transport van de reizigers is het belangrijk dat de treinen gelijk verdeeld zijn over de tijd. Bij hoge frequenties is de exacte tijd van vertrek niet meer belangrijk. Het is veel belangrijker dat er over de tijd een redelijk constante capaciteit wordt aangeboden. Daarom dient de bijsturing vooral te focussen op het constant houden van de tussentijd tussen de treinen. In dit onderzoek wordt er daarom vanuit gegaan dat de onderlinge afstand tussen treinen gelijk is.

Doordat de afstand tussen de treinen gelijk is, komt er in een vast tijdsinterval een trein aan op een station. Binnen een gelijk tijdsinterval, maar wel verschoven over de tijd komt er ook een andere trein binnen op het station. Deze trein rijdt in de tegengestelde richting dan de eerste trein. In dat geval hebben de reizigers de keuze in welke trein ze stappen:

- De reizigers stappen in de trein die het eerste aankomt: Ze hebben snel een zitplaats. De reistijd is toch beperkt door de hoge snelheid van de treinen.
- Ze wachten tot de trein arriveert die het snelst op de eindbestemming arriveert.

Beide opties zullen worden onderzocht in het model.

4.2. Output Model

Het doel van het model is om inzicht te krijgen in de capaciteit en effectiviteit van het hoogfrequente netwerk. Hiervoor dienen deze termen gespecificeerd te worden in meetbare grootheden die bruikbaar zijn als output voor het model.

4.2.1. Capaciteit

De capaciteit van het netwerk kan worden verdeeld in twee delen. De eerste vorm van capaciteit is de inzet van de treinen in het netwerk. Deze vorm van capaciteit is niet afhankelijk van de tijd. Voor deze vorm van capaciteit zijn de volgende drie factoren gedefinieerd:

- Het **aantal treinen**: De reistijd is bepaald door afstanden en acceleratie en de deceleratie karakteristieken. Dit resulteert niet in een veelvoud van uren en zelfs niet van minuten. Het theoretisch aantal treinen wordt berekend door totale rijtijd te vermenigvuldigen met de frequentie. Het theoretisch aantal treinen is geen geheel getal. Daarom moet het aantal treinen dat ingezet wordt afgerond worden naar een geheel getal. Dit getal zal worden vermenigvuldigd met 2 voor de inzet in beide richtingen.
- De **tussentijd**: De verdeling van de treinen over het traject resulteert in een tussentijd tussen de treinen. Deze tussentijd kan variëren met de theoretische tussentijd van Tabel 4.5.
- Het **spoorgebruik**: Het aantal treinen dat gebruik maakt van een spoor gedeeld door het maximaal aantal treinen is het percentage spoorgebruik. Voor het maximaal aantal treinen wordt gerekend met een tussentijd van 3 minuten.

De tweede vorm van capaciteit is het aantal personen dat gebruik maakt van de geboden capaciteit aan treinen. De hoeveelheid geboden capaciteit dient aan te sluiten bij het aantal reizigers dat gebruik wil maken van deze geboden capaciteit. Om hier een goed inzicht in te geven kunnen de volgende parameters gebruikt worden als output voor dit onderdeel:

- De **gemiddelde bezettingsgraad**: Dit is gedefinieerd als het gemiddeld percentage van de stoelen dat bezet is. Dit kan worden berekend door het aantal passagiers te delen door de geboden capaciteit over het hele netwerk. Dit percentage kan hoger worden dan 100%. In dat geval moeten er mensen staan. De maximale gemiddelde bezettingsgraad is 146%.
- De **bezettingsgraad per individueel traject**: Het netwerk is opgedeeld in 6 trajecten. Elk traject heeft verkeer in twee verschillende richtingen. Voor alle 12 delen is de gemiddelde bezettingsgraad berekend. Dit geeft inzicht in de benodigde capaciteit voor verschillende delen van het netwerk. Idealiter zou de bezettingsgraad voor elk deel gelijk zijn.
- Het **percentage treinen met staande reizigers**: Reizigers willen het liefst een plaats om te zitten. Echter, in sommige gevallen zijn er te weinig zitplaatsen beschikbaar. Het model zal het percentage treinen aangeven waarbij reizigers moeten staan. Dit percentage dient zo laag mogelijk gehouden te worden.
- Het **percentage treinen dat reizigers moet laten staan**: Een trein kan maximaal 146% van de zitplaatscapaciteit aan inzittenden vervoeren. Als er nog meer mensen mee willen moeten deze wachten op het perron. Hiervoor wordt het percentage treinen genoteerd dat reizigers moet achterlaten op het perron. Dit percentage moet nul zijn. Als dit niet het geval is moeten er meer treinen worden ingezet.

De capaciteit van het huidige systeem dient vergeleken te worden met de capaciteit van het huidige systeem. Dit kan gedaan worden door het systeem te opereren met een vergelijkbare input aan reizigers.

Het model dient inzicht te geven in de hoeveelheid treinen die noodzakelijk zijn voor een

'goede operatie'. Er is sprake van goede operatie als zo weinig mogelijk reizigers moeten staan en zo weinig mogelijk reizigers moeten wachten. Voor goede operatie zijn de volgende waarden aangenomen:

- Het aantal treinen waarin mensen moeten staan is maximaal 50%.
- Dat een aantal reizigers moet wachten kan alleen gebeuren bij hoge uitzondering. Dit wordt gedefinieerd als 1,0% van de treinen.

4.2.2. Effectiviteit

De effectiviteit van het systeem kan worden beschreven als de mogelijkheid van het systeem om reizigers zo snel mogelijk van de ene plaats naar de andere plaats te vervoeren. Hiervoor zijn twee belangrijke parameters opgesteld:

- De **gemiddelde wachttijd op de verschillende stations**: Dit is de tijd die zit tussen het punt waarop de persoon aankomt op het station en mee kan en wil met een trein.
- De **gemiddelde reistijd**: Dit is de tijd die relevant is voor de reiziger. De tijd tussen aankomst op het beginstation en uitstappen op het eindstation. Dit is dus inclusief de wachttijd op een station. Dit is het gemiddelde voor alle reizigers.

Omdat in dit model vertragingen buiten beschouwing zijn gelaten is de reistijd alleen afhankelijk van de wachttijd. De reistijden van de individuele trajecten zijn constant en bekend.

Hierboven is de effectiviteit beschreven als absolute grootheid. Voor de reiziger is het echter van belang te weten wat de effectiviteit van het nieuwe systeem is vergeleken met de effectiviteit van het huidige systeem. Voor de reiziger is de reisafstand tussen twee verschillende hoofdstations niet van belang. Voor de reiziger is de reistijd van deur tot deur het enige dat telt. Omdat er geen wijzigingen in overig openbaar vervoer worden voorzien is dit probleem vereenvoudigd tot de reistijd tussen het startstation en eindstation.

Door het nieuwe systeem wordt de reis voor veel reizigers anders. Veel reizigers zullen meer moeten overstappen. Dit heeft ook invloed op hun oordeel van de reis. Om een goed vergelijk te maken tussen de huidige situatie en een situatie in de toekomst worden 10 verschillende reizen vergeleken in de huidige situatie en de nieuwe situatie. Voor deze reizen zullen de reistijd en het aantal keer overstappen worden vergeleken.

- Houten - Amsterdam Zuid. Dit traject is een logisch traject voor een forenzenreiziger. In de nieuwe situatie moet gebruik gemaakt worden van een sprinter tussen Utrecht en Amsterdam Zuid of moet het hoofdfrequentie systeem gebruikt worden tussen Utrecht en Schiphol en moet er daar overgestapt worden op een intercity naar Amsterdam Zuid. Vanwege capaciteitsoverwegingen heeft het laatste de voorkeur. In dat geval wordt er gebruik gemaakt van een voortraject (Houten - Utrecht) en een natraject (Schiphol - Amsterdam Zuid).
- Haarlem Spaarnwoude - Utrecht Centraal. Evengoed een logisch forensentraject. In dit geval zonder natraject.
- Rotterdam Centraal - Soest. Dit is ook een forensentraject. Nu zonder voortraject.

- Tilburg - Den Haag Centraal. Een stedenkoppel waar momenteel een directe verbinding tussen bestaat.
- Nijkerk - Goes. Een lange reis waarbij het hoogfrequente netwerk aan moet sluiten op een laagfrequent netwerk (eens per half uur).
- Rotterdam Centraal - Leiden. Een verbinding binnen de randstad die nog steeds direct aangeboden wordt.
- Rijswijk - Leiden Centraal. Een traject voor bijvoorbeeld een student.
- Den Haag Centraal - Amsterdam Centraal. In nieuwe systeem moet worden overgestapt op Den Haag Holland Spoor.
- Almere Parkwijk – Alphen a/d Rijn. Een verbinding tussen twee steden in de Randstad die niet direct verbonden zijn met het hoogfrequente net.
- Amsterdam Centraal - Eindhoven. Een verbinding waar veel reizigers vervoerd worden die nu juist geknipt wordt.

Deze 10 voorbeeldreizen dienen om de effectiviteit van het hoogfrequente systeem en het huidige systeem te vergelijken. Er is geprobeerd om verschillende en representatieve reizen te vergelijken. De mogelijke conclusie die uit de resultaten getrokken kan worden is geen basis voor een conclusie voor alle reizen. Er zullen altijd reizen zijn waar de conclusie anders is.

4.3. Model

Voor het onderzoek naar een hoogfrequente circulaire treinroute in de randstad wordt gebruik gemaakt van discrete simulatie. De instappende en uitstappende reizigers worden gesimuleerd. Daarmee kan de benodigde capaciteit worden geanalyseerd over de verschillende delen van het netwerk. De effectiviteit van het netwerk kan worden geanalyseerd met behulp van de tijd dat een persoon in het model is.

Deze discrete simulatie is gemaakt in het programma Delphi met uitbreidingsset Tomas. De twee belangrijkste discrete elementen in het model zijn 'trein' en 'reiziger'. Treinen gaan van station naar station. Op elk station volgen ze twee procedures: Instappen en Uitstappen. Deze procedures zorgen voor het feit dat reizigers van het perron in de trein gaan of andersom. Reizigersgeneratoren zorgen er steeds voor dat nieuwe personen arriveren op het station.

Voor dit model is de basis opgesteld in de vorm van PDL (Process Description Language), is de PDL uitgewerkt in het programma Delphi en is een duidelijke interface gebouwd om de diverse output helder weer te geven.

4.3.1. PDL

Tabel 4.6: Elements and Classes

Element class	Attributes
Reiziger: SimElement	Eindstation: TStation Begintijd: Real
Station: SimElement	PerronQ:TomasQ StationNummer: Integer
Trein: SimElement	Process: Method Instappen: Tprocedure Uitstappen: Tprocedure MijnStation: TStation VolgendeStation: TStation ReizigersQ: TomasQueue Rijrichting: Integer
StartReizigersGenerator: Simelement	Process: Method Station:TStation Reiziger: TReiziger IATDist:TNormalDistribution
OverstapGenerator: Simelement	Process: Method Station:TStation Reiziger: TReiziger TTTDist:TNormalDistribution AantalMensenTreinDist:TNormalDistribution
TreinenGenerator: SimElement	Process: Method Trein: TTrein
Global Sets	StationsQ: TomasQueue PTDArray: Array of Tabledistributions

Startreizigersgenerator.Process

Repeat

```
MijnReiziger = TReiziger.Create
MijnReiziger.Begintijd = Tnow
MijnReiziger.Eindstation:= StationsQ.Element(PTDArray[MijnStation.Stationnummer].Sample);
Hold(IATdist.Sample)
```

Overstapreizigersgenerator.Process

Repeat

```
For i = 1 to AantalMensenTreinDist.Sample
  MijnReiziger = TReiziger.Create
  MijnReiziger.Begintijd = Tnow
  StationsQ.Element(PTDArray[MijnStation.Stationnummer].Sample);
  Station.PerronQ.Addtotail(MijnReiziger)
Hold(TTTdist.Sample)
```

TreinenGenerator.Process

```
Aantaltreinen = Round((RijtijdTot/3600)*Frequentie)*2
Tussentijd = Rijtijdtot/(Aantaltreinen/2);
for i = 1 to Aantaltreinen
```

```
Trein = Trein.Create
Trein.Mijnstation = StationsQ.Element(0)
Trein.Rijrichting = RijRichting
Trein.ReizigersQ = TomasQueue.Create
Trein.Start(Tnow)
Rijrichting = Rijrichting *(-1)
Hold (Tussentijd/2)
```

```
StartReizigersGenerator = TStartReizigersGenerator.Create
StartReizigersGenerator.MijnStation = StationsQ.Element(0)
StartReizigersGenerator.IATDist = Tnormaldistribution.Create(MIAT, Sigma*MIAT)
StartReizigersGenerator.Start(TNow)
Herhaal voor alle 6 stations
```

```
OverstapGenerator = TOverstapGenerator.Create
OverstapGenerator.MijnStation = StationsQ.Element(0)
OverstapGenerator.TTTDist = Tnormaldistribution.Create(TTT, Sigma2*TTT)
OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist = TNormaldistribution.Create(AMT, Sigma3*AMT)
OverstapGenerator.Start(TNow)
Herhaal voor alle 6 stations
```

```
TreinenGenerator.StopAndLeave;
```

Trein.Process Repeat

```
  Uitstappen
  Hold (60)
  Instaprocedure
  If Rijrichting = 1
    VolgendeStation = StationsQ.Successor(MijnStation)
    If VolgendeStation = nil
      VolgendeStation = StationsQ.Firstelement
  If Rijrichting = -1
    VolgendeStation = StationsQ.Predecessor(MijnStation)
    If VolgendeStation = nil
      VolgendeStation = StationsQ.Lastelement
  Rijtijd = (Afstand[Station.Stationnummer] – Acceleratieafstand – Deceleratieafstand)/Snelheid
+ Acceleratietijd + Deceleratietijd
  Hold(Rijtijd)
  Station = Volgendestation
```

Trein.Instappen

```
If instapkeuze = EersteTreinDieAankomt
  While (mijnstation.PerronQ.length) > 0 AND (ReizigersQ.Length < Treincapaciteit(1+PercStaand)

    Instapreiziger = MijnStation.PerronQ.firstelement
    Instapreiziger.LeaveQ(Mijnstation.PerronQ)
    ReizigersQ.addsortedon(Instapreiziger.eindstation.stationnummer)

If instapkeuze = snelsteoptie
```

```

While (mijnstation.PerronQ.Length) > 0 AND (ReizigersQ.Length < Treincapaciteit(1+P)
  Instapreiziger := Mijnstation.PerronQ.Element(i)
  If SnelsteOptie[Mijnstation.Stationnummer,Instapreiziger.Eindstation.Stationnummer] =
rijrichting
    Instapreiziger.LeaveQ(mijnstation.PerronQ)
    ReizigersQ.addsortedon(instapreiziger.eindstation.stationnummer)
  Else i := i + 1

```

Trein.Uitstappen

```

Gereed := False
StationMatch := False
While gereed = false
  Uitstapreiziger = Reiziger.element
  If Uitstapreiziger.Eindstation = Mijnstation
    Uitstapreiziger.destroy
    StationMatch = True
    Gereed = False
  Else
    i=i+1
    if Stationmatch = true
      Gereed = True

```

Initialization

```

TreinenGenerator = TreinenGenerator.Create
TreinenGenerator.Start
StationsQ = TomasQ.Create
Station := TStation.Create
Station.Stationnummer = 0
Station.PerronQ = TomasQueue.Create
Herhaal voor andere stations

```

4.3.2. Naar Delphi

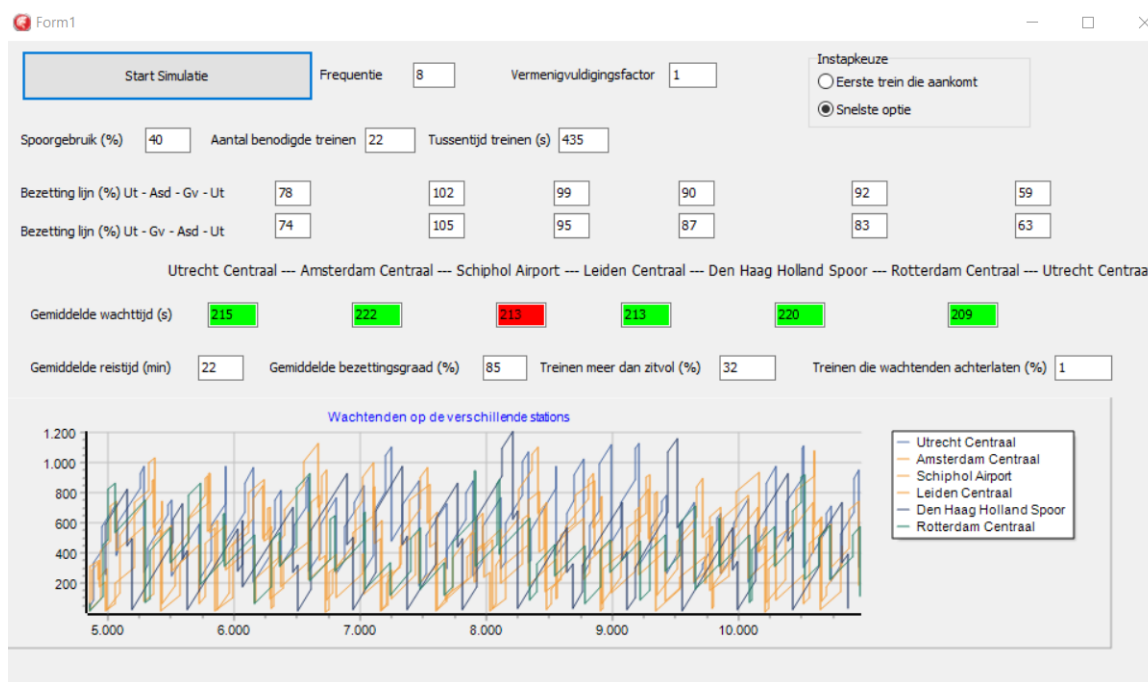
De bovenstaande PDL is de basis voor het programma dat geprogrammeerd is in Delphi. Deze code is zichtbaar in Bijlage [D](#).

Er is voor gekozen om de startreizigersgenerator en de overstapreizigersgenerator pas op te starten nadat alle treinen in het systeem zijn. Dat is het punt waarop de eerste trein weer terug is op station Utrecht Centraal. Dat is na een tijd van 4790 s. Vanaf dat punt worden alle data opgeslagen.

De interface die gebruikt wordt voor het model is zichtbaar in Figuur [4.2](#). In de interface is de verschillende input zichtbaar zoals uitgelegd in Hoofdstuk [4.1](#). Daarnaast is de verschillende output zichtbaar zoals beschreven in Hoofdstuk [4.2](#). Naast de verschillende input en output is er nog een button die de simulatie start, een grafiek en een kleurenanimatie.

De grafiek geeft visueel inzicht in het proces. De grafiek bestaat uit zes verschillende lijnen die elk het aantal personen aangeeft dat wacht op een station. Zo zijn de verschillende acties goed te zien:

- Tijdens de langzame stijging van de individuele lijnen voegt de startreizigersgenerator



Figuur 4.2: Interface model

steeds een patiënt toe.

- Tijdens de plotselinge toename van het aantal reizigers laat de overstapreizigersgenerator een trein binnenkomen.
- Tijdens de plotselinge afnames stappen de reizigers in een binnenkomende trein (procedure `Trein.instappen`)

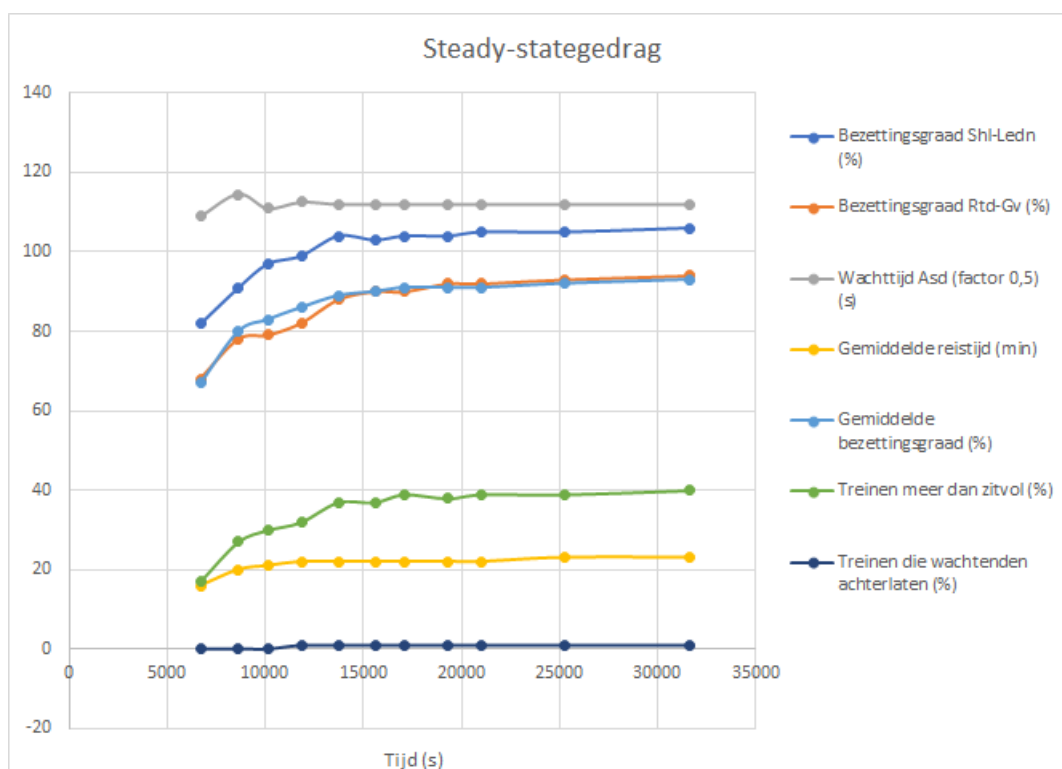
De achtergrondkleur van de wachttijden kan wisselen tussen groen en rood. In de normale situatie is de kleur groen. Als een trein echter niet de personen mee kan nemen die hij mee zou moeten nemen wordt de kleur rood. In dat geval wordt het percentage treinen dat wachtenden achterlaat groter dan 0. Deze situatie dient vermeden te worden. In Figuur 4.2 moeten reizigers wachten op station Schiphol omdat de trein te vol is.

4.4. Controle

Het model dient te worden getoetst aan verschillende eisen. Allereerst dient het opstartgedrag onderzocht te worden. Binnen welke tijdstermijn geven de resultaten een representatief beeld van de werkelijkheid. Vervolgens dient de verificatie van het model plaats te vinden. Is het model juist? Is het gedrag van het model zoals bedoeld bij het maken van het model? Als derde punt van controle is er de validatie. De validatie wil het model toetsen met de werkelijkheid.

4.4.1. Steady-state gedrag

Voor diverse output variabelen is het steady state gedrag onderzocht. Er is gekozen voor input variabelen die leiden tot een evenwicht. Een evenwicht in deze situatie wil zeggen dat het aantal passagiers op een perron niet ophoopt tot oneindig als de tijd nadert tot oneindig. Hiervoor is gekozen voor een frequentie van 8 treinen per uur in beide richtingen en een vermenigvuldigingsfactor van 1. Verder is er gekozen voor het feit dat reizigers kiezen voor de snelste optie naar hun eindbestemming.



Figuur 4.3: Steady-stategedrag

Voor de bezettingsgraad zijn er gegevens bekend voor elk traject. Er is gekozen om voor beide richtingen één traject te onderzoeken op steady state gedrag. De andere trajecten hebben namelijk gelijksoortig gedrag. Ditzelfde geldt voor de wachttijden op de stations. Hier is gekozen om één van de stations als representatief te beschouwen voor steady-state gedrag.

Het percentage spoorgebruik, het aantal benodigde treinen en de tussentijd van de treinen is niet tijdsafhankelijk en daarmee niet relevant voor het onderzoek naar het steady-state gedrag.

In Figuur 4.3 is dit gedrag zichtbaar. De wachttijd is vermenigvuldigd met een factor 0,5 om de inzichtelijkheid te vergroten. Verder is hier te zien dat alle weergegeven lijnen Steady-Stategedrag vertonen. De diverse parameters voor de capaciteit vertonen in het begin een te lage waarde. Dit komt omdat er in het begin nog maar weinig mensen staan op de perrons en hierdoor de eerste treinen relatief leeg zijn. Dit beïnvloed het gemiddelde in steeds mindere mate over de tijd. Hetzelfde geldt voor de reistijd. De reistijd wordt gemeten wanneer de reizigers de trein verlaten. De personen met een kortere reis kunnen daarom ook eerder in de tijd gemeten worden. Dit verlaagt (met name in het begin) het gemiddelde. De enige variabele die geen stijgend gedrag in het begin toont is de wachttijd op station Amsterdam Centraal. Dit gedrag vertoont wel schommelingen die steeds verder uitgebalanceerd worden over de tijd.

De resultaten zijn gecontroleerd tot een waarde van 200.000 s. In Bijlage 4 zijn deze resultaten weergegeven. Er is bewust gekozen om de waarden niet in Figuur 4.3 weer te geven voor een goede zichtbaarheid. Er blijft een licht stijgend gedrag zichtbaar voor bijna alle variabelen.

Tijdens het onderzoek dient een goede runtijd te worden gekozen. De runtijd moet gekozen

Tabel 4.7: Effect van de variatie in seeds

	1	2	3	4	5	Gem.	Gem. Deviatie
Bezettingsgraad Shl-Ledn (%)	106	107	108	106	104	106,2	1,04
Bezettingsgraad Rtd-Gv (%)	95	96	96	97	95	95,8	0,64
Wachttijd Asd (s)	223	219	214	214	215	217	3,2
Spoorgebruik (%)	40	40	40	40	40	40	0
Aantal benodigde treinen	22	22	22	22	22	22	0
Tussentijd (s)	435	435	435	435	435	435	0
Gemiddelde reistijd (min)	23	23	23	23	23	23	0
Gemiddelde bezettingsgraad (%)	93	94	94	94	92	93,4	0,72
Treinen meer dan zitvol (%)	40	41	42	41	38	40,4	1,12
Treinen die wachtenden achterlaten (%)	1,2	1,6	1,9	1,6	1,2	1,5	0,24

worden nadat het systeem een steady-state conditie heeft bereikt. De runtime is gekozen op 10 uur nadat de reizigersgenerators van start zijn gegaan. Dat komt neer op een tijd van 40790 s. Dit is aan het einde van de grafiek waar het inlooptgedrag nog enkel zeer beperkt aanwezig is. Het effect van het inlooptgedrag valt binnen de nauwkeurigheid van de inputvariabelen.

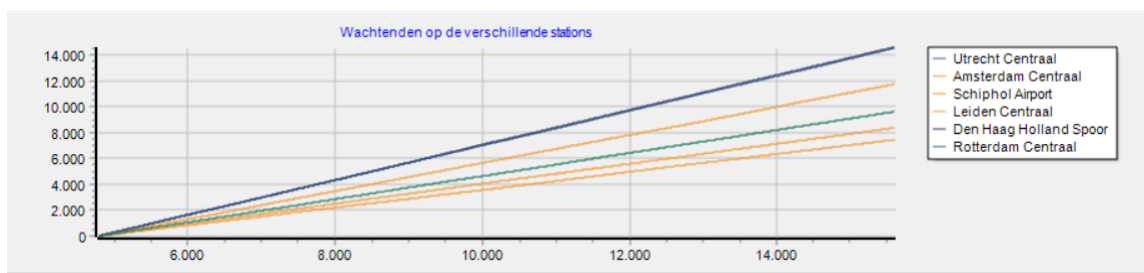
Het aantal reizigers is gebaseerd op de vraag tijdens de hyperspits. De hyperspits is van 7:30 tot 8:30. Een runtijd van 10 uur doet geen recht aan de werkelijkheid. De enige reden dat er voor een dermate lange runtijd gekozen wordt is vanwege het steady state gedrag. De gemiddelde resultaten zeggen daarmee alleen wat voor de hyperspits.

4.4.2. Verificatie

Het model is op verschillende manieren geverifieerd. De eerste vorm van verificatie is de **invloed van de verschillende seeds op het uiteindelijke resultaat**. Seeds zijn de waarden die gebruikt worden door de distributies. Door het gebruiken van anders seeds worden de resultaten van de samples anders. De resultaten van deze test zijn weergegeven in Tabel 4.7. In deze tabel is er eveneens voor gekozen om niet alle trajecten en stations te onderzoeken. De runtijd is de gekozen runtijd van 40790 s.

De variabelen spoorgebruik, aantal benodigde treinen en de tussentijd zijn niet afhankelijk van de tijd en daarmee is de gemiddelde deviatie nul. De gemiddelde deviatie is ook gelijk aan nul voor de gemiddelde reistijd. Omdat alle reistijden worden gemiddeld worden eventuele verschillen ook uitgemiddeld. Dit resulteert in een lage deviatie.

De overige waarden zijn niet constant en kunnen voor verschillende seeds verschillende resultaten tot gevolg hebben. De reizigersgeneratoren maken gebruik van normaalverdelingen. De input van deze normaalverdelingen bestaat uit een gemiddelde en een deviatie. Het gemiddelde wordt berekend op basis van het aantal reizigers per uur dat door de generators verwerkt moet worden. Dit aantal reizigers is door middel van diverse aannames geschat (zie Hoofdstuk 4.1) Het aantal reizigers kan 10% meer of 10% minder zijn. De afwijkingen in Tabel 4.7 zijn kleiner.



Figuur 4.4: Gedrag startreizigersgenerator

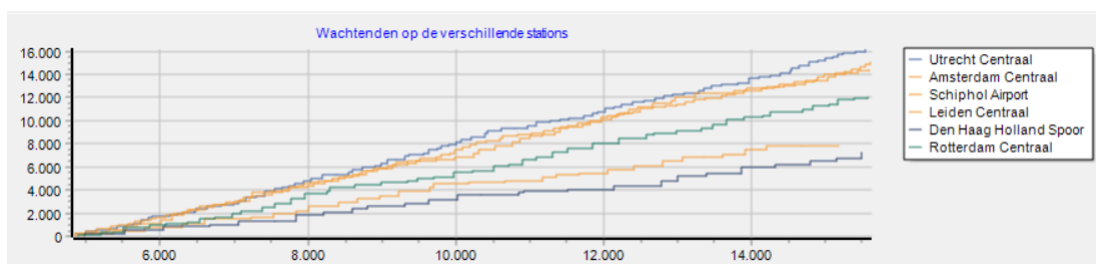
Tabel 4.8: Gedrag startreizigersgenerator

	Volgens berekening	Uitgelezen uit Figuur 4.4	Afwijking (%)
Utrecht Centraal	14584	14500	0,6%
Amsterdam Centraal	11726	11750	-0,2%
Schiphol Airport	7426	7250	2,4%
Leiden Centraal	8404	8500	-1,1%
Den Haag Holland Spoor	14613	14500	0,8%
Rotterdam Centraal	9650	9500	1,6%

De **reizigersgeneratoren** hebben ieder hun eigen karakteristiek. In Figuur 4.4 is alleen de startreizigersgenerator actief. In de grafiek is te zien het aantal reizigers dat op het station aanwezig is. Er worden geen reizigers meegenomen door de trein zodat de waarden uit het model geverifieerd kunnen worden met de berekende waarden. Na een netto runtijd van 3 uur resulteert dat in de waarden van Tabel 4.8. Het is te zien dat het model nadert tot de berekende waarden. De verschillen zijn dermate klein dat dit valt binnen de onzekerheid van het aflezen

Dit is anders voor de Overstappende reizigers. In Figuur 4.5 is zichtbaar dat het gedrag anders is dan bij de reizigers die starten op een station. Dit verschil in nauwkeurigheid komt door het verschillend gebruik van de normaalverdelingen: De startreizigersgenerator maakt gebruik van één normaalverdeling terwijl de overstapgenerator gebruik maakt van twee normaalverdelingen. Deze normaalverdelingen kunnen elkaar versterken.

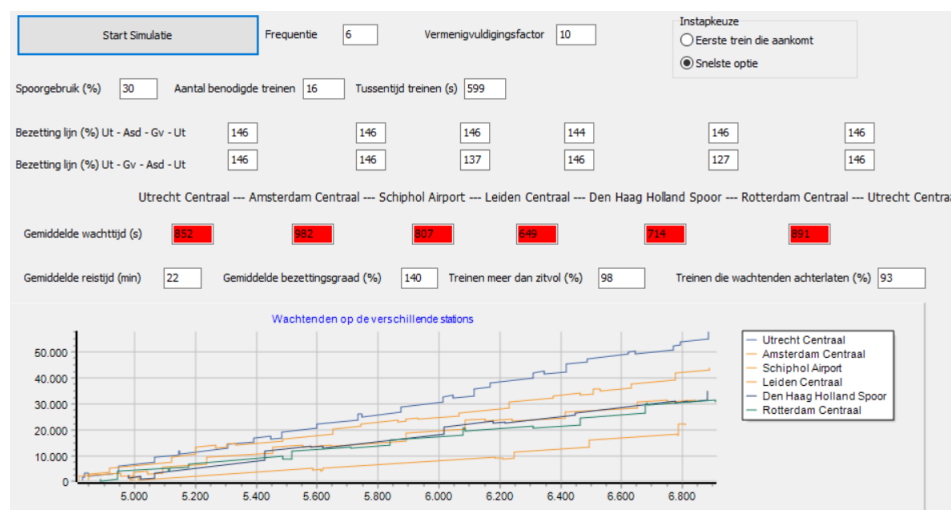
Dit is ook zichtbaar in Tabel 4.9. Na een runtijd van 3 uur is de nauwkeurigheid minder dan de nauwkeurigheid bij de startende reizigers (Tabel 4.8). De nauwkeurigheid is gedefinieerd als het percentage dat de waarde die afgelezen wordt uit de grafiek verschilt van de berekende waarde. Als de runtijd langer wordt is zichtbaar dat de afwijking kleiner wordt.



Figuur 4.5: Gedrag overstapgenerator

Tabel 4.9: Afwijkingen overstapgenerator

	Afwijking na 3 uur (%)	Afwijking na 25 uur (%)	Afwijking na 100 uur (%)
Utrecht Centraal	-0,9%	-2,1%	0,7%
Amsterdam Centraal	-7,7%	1,0%	0,4%
Schiphol Airport	-9,2%	7,4%	2,9%
Leiden Centraal	4,3%	3,1%	1,3%
Den Haag Holland Spoor	-2,8%	-2,1%	-1,1%
Rotterdam Centraal	-1,1%	1,5%	-1,1%

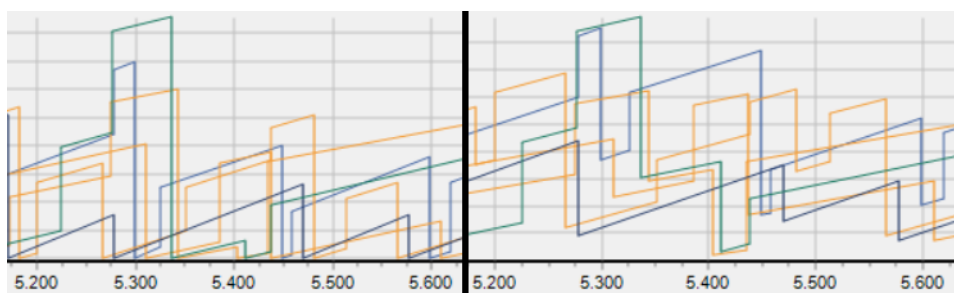


Figuur 4.6: Gedrag bij frequentie = 6 en vermenigvuldigingsfactor = 10

De conclusie kan daarom worden getrokken dat het model juist is wat betreft het de input van de verschillende reizigers. Dit geldt voor beide reizigersgeneratoren.

Naast het effect van de verschillende seeds en het gedrag van de verschillende generatoren dient de **rijtijd** van een trein gecontroleerd te worden. De rijtijd is volgens de berekeningen gelijk aan 4429,807. Dit is inclusief de veiligheidsfactoren van 5% en 30s. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met een stoptijd van 60s die 6 keer tijdens de ronde plaats vindt. Dit resulteert in een totale tijd van 4729,807s. De eerste trein wordt direct op $t=0$ in het model gezet. Op $t=4729,81$ komt de trein weer aan op station Utrecht Centraal. Dit betekent dat het juist is.

Naast de verschillende variabelen dient de **uitkomst van het model** gecontroleerd te worden: Is dit de uitkomst die het model moet geven? Daarvoor zijn eerst twee extreme situaties getest. De eerste extreme situatie is de situatie met een lage frequentie (6) en een hoge vermenigvuldigingsfactor (10). In dat geval dient het model niet alle reizigers te kunnen vervoeren en blijven er steeds meer reizigers achter op het station. In Figuur 4.6 is dit resultaat zichtbaar. Alle vakjes van de wachttijd zijn inderdaad rood gekleurd. Dit betekent dat er reizigers moeten achterblijven. Het percentage treinen dat reizigers moet achterlaten is bijna gelijk aan 100 en de waarden in de grafiek bereiken geen evenwicht. Dit is inderdaad het verwachte resultaat.



Figuur 4.7: Gedrag bij verschillende besturingsstrategieën: Eerste trein die aankomt (links) en Snelste optie (rechts)

Voor het testen van het tegenovergestelde is een frequentie van 40 en een vermenigvuldigingsfactor van 1 gebruikt. Omdat een frequentie van 40 niet mogelijk is (te korte opvolgtijd) verschijnt een melding: 'Frequentie te hoog. Minimale opvolgtijd van 3 minuten wordt gehanteerd.' De frequentie wordt dus aangepast naar 20. Het resultaat van deze test is zoals verwacht: Alle individuele bezettingspercentages voor trajecten zijn kleiner dan 50%. Het percentage treinen dat staande mensen bevat is 0%. Ditzelfde geldt voor het percentage treinen dat wachtenden achterlaat.

Als laatste dient nog te worden gekeken naar het **effect van de verschillende keuzeopties**. Er zijn twee opties: Een reiziger neemt de eerste trein die aankomt of een reiziger neemt de trein die het snelst op zijn eindbestemming is. In Figuur 4.7 is het verschil in gedrag te zien. Het verschil is aanwezig bij het instaproces van de reizigers. Dit is het punt waarbij de grafiek stijl daalt. In het geval van de keuzeoptie dat de reizigers de eerste trein nemen die aankomt is zichtbaar dat het aantal reizigers steeds daalt tot 0. In het geval van de snelste optie is dat niet het geval. Alleen de reizigers die op het perron staan én de goede richting op moeten worden meegenomen door het model. Daarom is het aantal reizigers op het perron ook nooit gelijk aan nul. Dit gedrag voldoet aan de verwachtingen. Tevens is de wachttijd op de stations kleiner voor de situatie wanneer reizigers de eerste trein nemen die aankomt. Ook dit is logisch.

4.4.3. Validatie

De validatie is bedoeld om het model te vergelijken met de werkelijkheid te vergelijken. In de werkelijkheid heeft de NS gekozen voor een bepaalde capaciteit aan treinen. Deze capaciteit dient vergeleken te worden met de capaciteit die nodig is in het model.

In Tabel 4.10 is het aantal intercitytreinen gegeven dat NS op de verschillende trajecten inzet tijdens de dienstregeling 2018. Er is een onderverdeling gemaakt tussen directe en indirecte verbindingen. De treinen die direct rijden tussen de genoemde stations zijn in de eerste kolom zichtbaar. De indirecte treinen zijn de treinen die via een andere route rijden maar in een bepaalde mate toch bijdragen aan de vervoerscapaciteit voor de genoemde hoofdstations. Voorbeelden van indirecte treinen zijn de IC Utrecht - Schiphol via Amsterdam Zuid, De IC Amsterdam - Leiden via Haarlem en de IC Amsterdam - Brussel die niet stopt in Leiden Centraal.

In het model wordt op minder stations gestopt dan in het huidige intercitynetwerk van de NS. Daarom is de capaciteitsvraag in het model waarschijnlijk iets kleiner. Verder is het lastig om in te schatten wat de bijdrage van de verschillende indirecte intercity's aan het netwerk is.

De capaciteit van de intercitytreinen van NS in de spits is net als de capaciteit in het model

Tabel 4.10: Capaciteit intercity's NS

	Direct	Indirect
Ut-Asd	6	4
Asd-Shl	6	8
Shl-Ledn	4	5
Ledn-Gv	8	1
Gv-Rtd	7	
Rtd-Ut	4	4

gelijk aan ongeveer 800 zitplaatsen. Verder is voor een goede vergelijking gebruik gemaakt van de strategie 'snelste optie'. Dit is in de praktijk de keuze die mensen maken.

In het model lijkt een frequentie van 8 treinen per uur mogelijk te zijn. Dit is goed zichtbaar in Figuur 4.2. In die situatie moet nog steeds 30% van de mensen staan en moeten er enkele mensen op het station wachten op de volgende trein omdat de trein te vol is. Vergelijkend met Tabel 4.10 lijkt dit in ieder geval de werkelijkheid redelijk juist te weerspiegelen.

Verder kunnen we de capaciteitsvraag over de verschillende trajecten vergelijken. Zoals zichtbaar in bijvoorbeeld Figuur 4.2 is het drukste traject het traject Asd-Shl. Dit is ook het traject waar NS het meeste capaciteit inzet. Volgens het model is het traject Rtd-Ut het minst drukke traject. Dit lijkt ook weerspiegeld in de capaciteitsinzet van de NS.

Door zowel de totale capaciteit als de capaciteit op de verschillende delen van het netwerk kan geconcludeerd worden dat het model een goede weerspiegeling van de werkelijkheid is. Deze validatiestap is dan ook geslaagd.

Aannames Voor het model zijn veel aannames gemaakt. Deze aannames zijn allemaal al als zodanig benoemd in Hoofdstuk 3 of Hoofdstuk 4. Daarbij is ook, indien nodig, argumentatie toegevoegd. Hieronder volgt nog een helder en duidelijk overzicht van de aannames die gedaan zijn voor het komen tot het huidige model.

- De treinen rijden 160 km/h.
- De spanning van de bovenleiding wordt verhoogt naar 25 kV.
- De stations Den Haag Centraal en Den Haag Holland Spoor worden als één station gerekend op de plaats van station Den Haag Holland Spoor.
- Het materieel waar mee gerekend wordt is het nieuwe intercitymaterieel van de NS: De InterCity Nieuwe Generatie (ICNG)
- Het aantal staanplaatsen is 46% van de zitplaatscapaciteit.
- Het netwerk krijgt een volledig gescheiden infrastructuur.
- 14,3% van de reizigers stapt op tussen 7:30 en 8:30.
- Voor de reizigers die reizen met het hoogfrequente net via een hoofdstation heeft 50% dit station als eindstation. Voor de stations die zich ertussen bevinden is dit 80%.
- Treinen hebben een bezettingspercentage van 120 % in de hyperspits.
- Een sprinter bestaat gemiddeld uit 400 zitplaatsen en een intercity uit 800 zitplaatsen.
- 70% van de reizigers die binnenkomt uit een bepaalde richting reist weer verder.
- De groei aan reizigers is over alle onderdelen constant.
- De treinen blijven even groot onder een groeiscenario.
- Het aantal instappers is ongeveer gelijk aan het aantal uitstappers op een bepaald station.
- Hoe kleiner de afstand tussen de hoofdstations hoe meer reizigers er zijn tussen deze

hoofdstations.

5

Resultaten

Er is een simulatiemodel gemaakt dat inzicht geeft in het ontwerp van een hoogfrequent spoor-netwerk. Dit model probeert een zo goed mogelijk inzicht te geven in dit idee. In het vorige hoofdstuk is het model zelf beschreven. Nu zullen de verschillende resultaten gepresenteerd worden. Deze resultaten zijn in twee verschillende categorieën verdeeld: De capaciteit en de effectiviteit. De verschillende outputparameters zoals besproken in Hoofdstuk 4.2 zullen aan de orde komen.

5.1. Capaciteit

In de analyse van de capaciteit zijn verschillende parameters gegeven die besproken dienen te worden. Eerst worden de tijdsafhankelijke parameters besproken. Vervolgens worden de tijdsafhankelijke parameters besproken. Deze parameters zijn weer onderverdeeld in twee groepen: De parameters die worden gemiddeld over het gehele netwerk (De zgn. netwerkparameters) en de parameters die afhankelijk zijn van het deel van het traject (de zgn. traject specifieke parameters)

5.1.1. Tijdsafhankelijke output

Er zijn drie outputvariabelen die tijdsafhankelijk zijn. Dit is het **aantal treinen**, de **tussentijd** tussen de treinen en het **spoorgebruik**. In Tabel 5.1 zijn de resultaten te zien. De totale tijd van een ronde is (incl. stops) gelijk aan ongeveer 80 minuten. In deze rondetijd moeten de treinen worden verdeeld. Hiermee is de tussentijd tussen de treinen bepaald. Ook het spoorgebruik is hiermee berekend, uitgaande van een minimum tussentijd van 3 minuten.

De laatste kolom laat de afwijking zien van de theoretische frequentie door de gelijke verdeling van de treinen over de hele ronde. Als het percentage groter is dan 0 betekent dit dat er iets meer treinen rijden dan gepland volgens de gegeven frequentie. Voor de situatie van een frequentie van 20 treinen per uur geldt dat dit getal per definitie gelijk of kleiner moet zijn dan nul omdat anders de tussentijd kleiner zou worden dan 3 minuten.

5.1.2. Netwerkparameters

Nadat de tijdsafhankelijke parameters gepresenteerd zijn worden nu de parameters besproken die afhankelijk zijn van de tijd. Deze parameters worden na de runtijd gemeten en veranderen door de tijd. Er is zoals eerder besproken gebruik gemaakt van een netto runtijd

Tabel 5.1: Tijdsonafhankelijke variabelen

Frequentie	Spoorgebruik	Aantal Treinen	Tussentijd (s)	Afwijking planning
4	19%	10	958	6,4%
6	30%	16	599	-0,2%
8	41%	22	435	-3,3%
10	49%	26	368	2,2%
12	60%	32	299	-0,3%
15	75%	40	240	0,0%
20	98%	52	184	2,2%

Tabel 5.2: Gemiddeld bezettingspercentage (Keuzeoptie: Snelste Optie)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor						
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
6	-	-	-	-	-	-	-
8	92	115	-	-	-	-	-
10	78	98	117	-	-	-	-
12	64	80	96	111	-	-	-
15	51	64	76	89	102	115	-
20	39	49	59	69	79	88	98

van 10 uur. De netwerkparameters zijn de gemiddelde bezettingsgraad, het percentage treinen dat staande reizigers bevat en het aantal treinen dat reizigers moet achterlaten.

Deze parameters zijn een graadmeter om te bepalen hoeveel treinen er ingezet moeten worden. Voor verschillende groeiscenario's worden voor verschillende frequenties de resultaten gegeven. De eerste kolom bevat de huidige passagiersvraag. De andere kolommen bevatten steeds een hogere vermenigvuldigingsfactor, wat overeenkomt met 25% meer groei per kolom. De resultaten worden eerst gegeven voor de optie die uitgaat dat de reizigers de trein nemen die hen het snelst naar hun eindpunt brengt. Daarna wordt de optie getoond waarbij de reizigers de eerste trein nemen die aankomt.

Reizigers die de snelste optie nemen

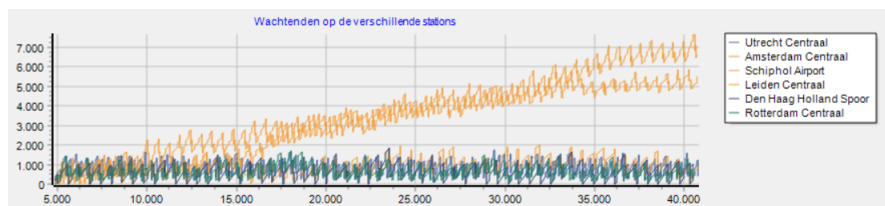
De gemiddelde bezettingsgraad is zichtbaar in Tabel 5.2. Het percentage treinen waarin mensen moeten staan is weergegeven in Tabel 5.3. In Tabel 5.4 is het percentage treinen weergegeven dat personen moet laten wachten omdat de trein te vol is.

Tabel 5.3: Percentage treinen meer dan zitvol (Keuzeoptie: Snelste Optie)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor						
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
6	-	-	-	-	-	-	-
8	38	72	-	-	-	-	-
10	15	46	72	-	-	-	-
12	2	18	43	66	-	-	-
15	0	4	16	34	51	67	-
20	0	0	3	11	22	33	46

Tabel 5.4: Percentage treinen dat wachtenden achterlaat (Keuzeoptie: Snelste Optie)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor						
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
6	-	-	-	-	-	-	-
8	1,2	20,8	-	-	-	-	-
10	0	3,3	26,9	-	-	-	-
12	0	0,2	3,2	17,5	-	-	-
15	0	0,1	0,4	2,7	10	27,9	-
20	0	0	0	0,1	0,9	4,1	9,6

Figuur 5.1: Instabiel gedrag op stations ($f=6$, $VMF=1$)

In een groot deel van de scenario's is geen resultaat gegeven. In deze scenario's bleek dat de treinen het aantal passagiers niet aankunnen. Een voorbeeld hiervan is zichtbaar in Figuur 5.1. In dit geval is het gedrag op de stations Amsterdam Centraal en Schiphol Airport instabiel. Dit is ook de reden waarom de frequentie van vier treinen per uur niet is weergegeven: Operatie met deze frequentie kon niet leiden tot stabiel gedrag.

Het is zichtbaar dat hoe hoger de frequentie is hoe lager de bezettingsgraad van de treinen is. Voor het percentage treinen dat te weinig zitplaatsen bevat en het percentage treinen dat wachtenden moet achterlaten geldt dezelfde relatie. Voor de vermenigvuldigingsfactor geldt dat hoe hoger de vermenigvuldigingsfactor, hoe hoger alle percentages. Dit zijn logische resultaten. Hoe groter de capaciteit en hoe lager de vraag hoe minder het systeem bezet is.

In Hoofdstuk 4.2 is besproken dat voor de beoordeling van wat acceptabel is een maximum geldt van 50% treinen waar een deel van de reizigers moet staan en een maximum van 1,0% van de treinen die wachtenden moet achterlaten. Dit leidt tot de resultaten weergegeven in Tabel 5.5. In alle gevallen geldt dat de het percentage dat moet wachten op de volgende trein van doorslaggevende betekenis is voor de bepaling van de optimale frequentie. In een hoogfrequent systeem is het minder erg dat mensen op de trein moeten wachten. Daarom zou eventueel de keuze gemaakt kunnen worden om de waarde van 1,0% te verhogen. Deze keuze is echter aan degene die uiteindelijk de daadwerkelijke keuze moet maken.

Reizigers die de eerste trein nemen die aankomt

In het geval dat de reizigers de eerste trein nemen die aankomt zijn eveneens de gemiddelde bezettingsgraad (Tabel 5.6), het percentage treinen waar een deel moet staan (Tabel 5.7) en het percentage treinen dat wachtende achterlaat (Tabel 5.8) gegeven. Alleen de mogelijke frequenties en de mogelijke vermenigvuldigingsfactoren zijn zichtbaar. Als de frequentie kleiner wordt en de vermenigvuldigingsfactor hoger is er geen stabiel gedrag mogelijk.

Zoals zichtbaar in de verschillende grafieken zitten de treinen (bij gelijke frequentie en vermenigvuldigingsfactor) veel voller dan bij de situatie waarbij mensen de snelste optie nemen.

Tabel 5.5: Gekozen frequenties (Keuzeoptie: Snelste Optie)

Vermenigvuldigingsfactor	Gekozen frequentie
1	10
1,25	12
1,5	15
1,75	20
2	20
2,25	Niet mogelijk met huidige eisen
2,5	Niet mogelijk met huidige eisen

Tabel 5.6: Gemiddeld bezettingspercentage (Keuzeoptie: Eerste trein die aankomt)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor				
	1	1,25	1,5	1,75	2
10	139	-	-	-	-
12	114	139	-	-	-
15	90	113	135	-	-
20	69	86	104	121	138

Dit is logisch omdat reizigers soms een langere reis moeten maken en daardoor langer in de trein zitten.

Als we de resultaten leggen naast de voorwaarde dat maximaal 50% van de treinen meer dan zitvol is en maximaal 1,0% van de treinen wachtenden moet achterlaten zien we dat geen enkele combinatie hieraan voldoet. Alleen de frequentie van 20 treinen per uur met de huidige reizigersaantallen voldoet bijna aan deze eisen.

5.1.3. Trajectspecifieke parameters

Naast de algemene parameters over de capaciteit is ook de **capaciteit op de verschillende trajecten** onderzocht.

De bezettingsgraad van de treinen is één van de meest inzicht gevende parameters voor de capaciteit. In Tabel 5.9 is de bezettingsgraad zichtbaar. Er is gekozen voor vijf verschillende scenario's en twee verschillende richtingen.

De eerste drie scenario's gaan uit van het feit dat mensen de trein pakken die het snelste op hun eindbestemming is. Dit is ook de optie die momenteel door reizigers wordt gekozen. Dit is tevens de optie die resulteert in de laagste gemiddelde bezettingsgraad. Hierdoor is deze optie maatgevend voor het bepalen van de capaciteit. In deze drie scenario's is gekozen voor

Tabel 5.7: Percentage treinen meer dan zitvol (Keuzeoptie: Eerste trein die aankomt)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor				
	1	1,25	1,5	1,75	2
10	95	-	-	-	-
12	71	95	-	-	-
15	36	69	94	-	-
20	19	36	57	80	94

Tabel 5.8: Percentage treinen dat wachtenden achterlaat (Keuzeoptie: Eerste trein die aankomt)

Frequentie	Vermenigvuldigingsfactor				
	1	1,25	1,5	1,75	2
10	79,6	-	-	-	-
12	15,5	81,4	-	-	-
15	5,6	20,4	65,4	-	-
20	1,9	6,9	15,6	34,8	80,1

Tabel 5.9: Bezettingsgraad van de individuele trajecten

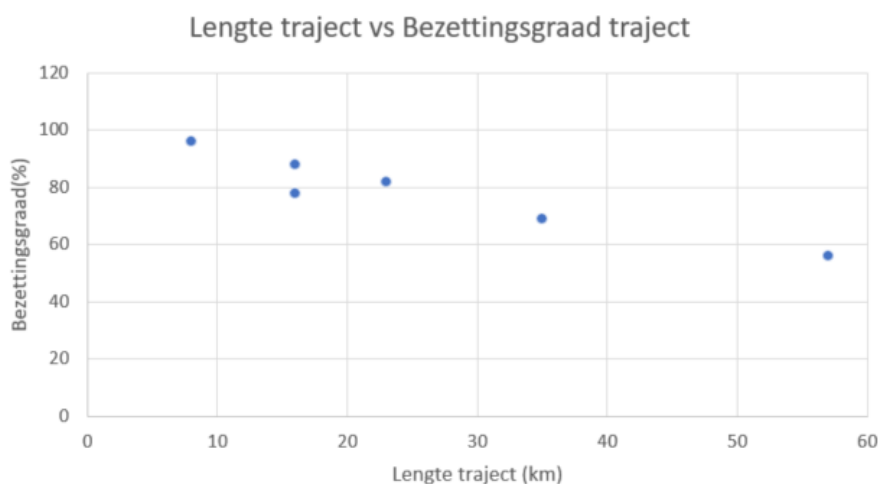
		Ut-Asd	Asd-Shl	Shl-Ledn	Ledn-Gv	Gv-Rtd	Rtd-Ut
f =10, VMF=1	Ut-Asd	73	97	89	80	83	54
Instapkeuze = SO	Ut-Rtd	67	95	88	78	82	58
f =15, VMF=1,5	Ut-Asd	71	95	86	78	81	53
Instapkeuze = SO	Ut-Rtd	65	93	86	76	79	56
f =20, VMF=2	Ut-Asd	73	98	89	80	83	54
Instapkeuze = SO	Ut-Rtd	67	95	88	78	81	58
f =20, VMF=1	Ut-Asd	92	84	81	85	95	101
Instapkeuze = ETDA	Ut-Rtd	49	43	39	41	51	61
f =12, VMF=1	Ut-Asd	111	88	113	121	117	101
Instapkeuze = ETDA	Ut-Rtd	120	98	122	128	126	118

een combinaties die uitvoerbaar zijn (zie Tabel 5.5).

In deze tabel is zichtbaar dat het traject Amsterdam-Schiphol v.v. het drukste traject is en het traject Utrecht - Rotterdam v.v. het minst drukke traject is. het eerste traject is het kortste traject en het laatste traject is juist het langste traject. Er zit hier inderdaad een verband tussen de lengte van het traject en de bezettingsgraad. Dit is goed zichtbaar in Figuur 5.2. Dit fenomeen kan worden verklaard vanuit het algoritme 'Snelste optie' De reistijd voor een traject met een korte afstand is veel korter. Daardoor is de kans groter dat een korter traject in de reis van een reiziger valt. Een voorbeeld is hiervan de reizigers tussen Rotterdam en Amsterdam. De snelste optie is om te reizen via Rtd-Gv-Ledn-Shl-Asd. Dit is korter dan de reis Rtd-Ut-Asd.

Het kan verstandig zijn om de capaciteit van de treinen aan te passen aan de hand van de drukte van het traject. Dit kan door het bijplaatsen van een extra treindeel voor het drukke traject. De echte drukte van de hyperspits duurt maar een uur. Daarom kan ervoor gekozen worden om de treinen die in de hyperspits rondom station Utrecht rijden (het rustige deel van het netwerk) steeds met een wat kortere trein te laten rijden. Als de trein arriveert in het drukker deel van het netwerk is de ergste spits al over en is er nog steeds voldoende capaciteit.

Wat betreft de strategie dat de reizigers de eerste trein nemen die aankomt blijkt er een heel ander resultaat te zijn. Zie hiervoor de andere resultaten in Tabel 5.9. Er is een significant verschil tussen de richting van de routes. Dit is afhankelijk van de gekozen frequentie. Door de vaste tussentijd tussen de treinen is de aankomst van de treinen uit beide richtingen vast ten opzichte van elkaar. Het kan echter zo zijn dat de treinen altijd vlak achter elkaar vertrekken op een bepaald station. Dit blijft dan ook zo door de tijd. Door het algoritme (Reizigers nemen de eerste trein die aankomt) nemen dan bijna alle reizigers de eerste trein. Als dit betekent dat op meerdere stations meer reizigers instappen in de treinen van één bepaalde



Figuur 5.2: Lengte Traject vs Bezettingsgraad traject

richting resulteert dit in een onbalans tussen beide richtingen. Bij een frequentie van 20 slaat de onbalans sterk door in de richting van de treinen die in Utrecht in noordelijke richting vertrekken. Voor een frequentie van 12 slaat de onbalans licht door naar de andere kant.

5.2. Effectiviteit

De reistijd van de reizigers is afhankelijk van twee verschillende factoren: De reistijd en de wachttijd. Als de capaciteit van de treinen voldoende is, is de reistijd onafhankelijk van de runtijd van het model. De rijtijden tussen de verschillende stations zijn al gegeven in Tabel 3.1. Uit het model volgt de gemiddelde tijd die een passagier besteedt aan zijn gehele reis. Deze reistijden zijn gegeven in Tabel 5.10. De waarden zijn genomen bij een vermenigvuldigingsfactor van 1.

Voor de optie dat de reizigers de trein nemen die hun het snelste naar hun eindbestemming brengt is zichtbaar dat de reistijd groter wordt naarmate de frequentie kleiner wordt. De gemiddelde tijd in de trein is constant. Daarom is het te verklaren door een langere wachttijd op stations bij een lagere frequentie. Dit is logisch omdat de tussentijd ook groter is. In alle gevallen is het percentage dat moet wachten op de volgende trein beperkt. De waarden zijn hier dus niet door beïnvloedt.

In het geval dat de reizigers kiezen voor de eerste trein die aankomt blijkt de gemiddelde reistijd veel langer te zijn. Dit is logisch omdat reizigers in veel gevallen omreizen. De uitschieter bij een frequentie van 10 komt door het feit dat veel wachtende moeten wachten op de volgende trein omdat de eerste trein vol zat.

Zoals gezegd is de wachttijd de enige variabele die de reistijd beïnvloedt. Als de reizigers niet moeten wachten omdat een trein te vol zit en de reizigers kiezen de trein die hen het snelst naar hun eindbestemming brengt zal de gemiddelde wachttijd van de reiziger gelijk zijn aan de helft van de tussentijd. Dit wordt bevestigd door de resultaten van het model. Dit is zichtbaar in het voorbeeld van Tabel 5.11

Voor de optie dat de reizigers de trein nemen die het snelste arriveert op hun vertrekstation, is

Tabel 5.10: Gemiddelde reistijd

Frequentie	Gemiddelde Reistijd (min)	
	Keuzeoptie: Snelste optie	Keuzeoptie: Eerste trein die aankomt
8	23	-
10	22	43
12	22	40
15	21	39
20	21	40

Tabel 5.11: Tussentijd treinen en wachttijd op de verschillende stations

	Tijd (s) Keuzeoptie: Snelste optie f = 20, VMF = 1	Tijd (s) Keuzeoptie: Eerste trein die aankomt f = 20, VMF = 1
Tussentijd treinen	184	184
Wachttijd Ut	91	45
Wachttijd Asd	93	47
Wachttijd Shl	90	46
Wachttijd Ledn	94	59
Wachttijd Gv	93	75
Wachttijd Rtd	92	66

de wachttijd kleiner: Ze stappen namelijk in elke mogelijke trein. Dit leidt echter niet tot een verkorte reistijd. Er is veel variatie in de wachttijden. Als de treinen optimaal verdeeld zijn is de wachttijd gelijk aan 25% van de tussentijd. Dit is in het voorbeeld van Tabel 5.11 het geval voor Utrecht Centraal (per definitie), Amsterdam Centraal en Schiphol Airport. Voor de andere stations komend de treinen uit beide richtingen dichter op elkaar en volgt er daarna voor een wat langere periode dat er geen trein is. Dit leidt ook tot de onbalans in bezettingsgraad zoals zichtbaar in Tabel 5.9.

Uiteindelijk is het enige wat telt voor de reizigers de tijd die hun gehele reis vergt. Al in Hoofdstuk 4.2.2 is een aantal trajecten weergegeven wat representatief is voor de reizen van veel verschillende mensen. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de optie dat reizigers de trein nemen die hen het snelst naar hun eindbestemming brengt.

Omdat de reistijd voor de optie 'snelste optie' kleiner is wordt deze optie dan ook gebruikt om te onderzoeken wat het effect van het hoofdfrequentie net is voor de reizigers. Er worden twee scenario's onderzocht: Een frequentie van 10 treinen per uur en een frequentie van 20 treinen per uur. Zoals zichtbaar in Tabel 5.5 is een frequentie van 10 treinen per uur nodig voor de huidige vraag naar capaciteit. Echter voor groeiscenario's kan het nodig zijn om in de toekomst met 20 treinen per uur te werken. Dan is er pas echt sprake van een hoofdfrequent net.

In Tabel 5.12 is zichtbaar hoe de totale reistijd berekend wordt. De reistijd bestaat uit de volgende onderdelen:

- De **rijtijd van het voortraject**. Dit is de rijtijd die nodig is tot aan één van de hoofdstations. Hier is gebruik gemaakt van de NS reisplanner[3].
- De **wachttijd op een trein van het hoofdfrequentie net**. Dit bestaat uit het lopen van

Tabel 5.12: Opbouw van de reistijd

Traject	Rijtijd voortraject (min)	Wachttijd f = 10 (min)	Wachttijd f = 20 (min)	Rijtijd HFN (min)	Wachttijd (min)	Rijtijd natraject (min)
Htn - Asdz	10	4	2,5	22,19	3,14	7
Hlms - Ut	15	4	2,5	15,91	0	0
Rtd - St	0	3	1,5	24,58	16	21
Tb - Gvc	39	4	2,5	11,19	6	3
Nkk - Gs	35	4	2,5	24,58	16	84
Rtd - Ledn	0	3	1,5	20,62	0	0
Rsw - Ledn	6	4	2,5	8,43	0	0
Gvc - Asd	3	4	2,5	24,15	0	0
Almp - Apn	36	4	2,5	14,72	8,5	14
Asd - Ehv	0	3	1,5	15,91	6	50

de éne trein naar de andere trein (1 minuut) en het wachten op een trein. Het wachten op een trein duurt gemiddeld de helft van de tussentijd tussen treinen. Wanneer er geen sprake is van een voortraject wordt er geen rekening gehouden met het lopen naar de trein. Dit wordt namelijk ook niet gedaan in de NS reisplanner. Deze wachttijd is het enige waarbij het frequentieverschil een rol speelt.

- De **rijtijd in het hoogfrequente net** (HFN). Dit is bepaald met de waarden uit Tabel 3.1. Hierbij is ook rekening gehouden met de tussentijd van 1 minuut op de stations.
- De **wachttijd tussen het hoogfrequente vervoer en het natraject**. Dit is berekend door de frequentie van het natraject op te zoeken[3]. Hiermee is de gemiddelde tussentijd berekend. De wachttijd is aangenomen als zijnde de helft van deze tussentijd.
- Als laatste is de **reistijd van het natraject** berekend met behulp van de reisplanner.

Hierbij is de belangrijkste aanname gedaan dat er alleen een reisplanner door de reiziger gebruikt wordt voor een eventueel voortraject. Als een reis start met een reis via het hoogfrequente net gaat de reiziger op een willekeurige tijd naar het station, onafhankelijk van de aansluiting van het hoogfrequente net op het natraject.

Deze wachttijden resulteren in de reistijden die gegeven zijn in Tabel 5.13. Dit is gedaan voor de twee verschillende scenario's. Ook het aantal keer dat een overstap moet worden gemaakt is gegeven. In dezelfde tabel is ook de huidige situatie wat betreft reistijd en aantal keer overstappen gegeven.

De enige reis die een nadelig effect laat zien is de reis van Houten naar Amsterdam Zuid. Dit is het geval omdat er omgereisd moet worden via Amsterdam en Schiphol. De optie waarbij er direct vanaf Utrecht Centraal een sprinter wordt gepakt is nog langer. Ondanks het omreizen is er echter sprake van verlenging van de reistijd van maar enkele minuten. Dit komt door de veel kortere rijtijd in het gedeelte van het hoogfrequente net.

De verbinding Utrecht Centraal - Amsterdam Zuid is echter een zeer belangrijke forensenverbinding. Deze verbinding zou dan ook extra aandacht moeten krijgen bij het definitieve ontwerp. Een mogelijkheid zou zijn om een extra intercity Ut-Asdz te laten rijden. Deze trein zou dan gebruik moeten maken van de sprintersporen of bij een frequentie van 10 treinen per uur, tussen twee treinen van het hoogfrequente net in moeten rijden. In dat laatste geval moet de snelheid van deze trein gelijk zijn aan de treinen van het hoogfrequente net.

Tabel 5.13: Vergelijking van 10 reizen

Traject	Huidige reistijd (min)	# Overstap-pen huidig	Reistijd f = 10 (min)	Reistijd f = 20 (min)	# Overstap-pen HFN
Htn - Asdz	43	1	46	45	2
Hlms - Ut	48	1	35	33	1
Rtd - St	67	1	65	63	1
Tb - Gvc	64	0	63	62	2
Nkk - Gs	189	2	164	162	2
Rtd - Ledn	33	0	24	22	0
Rsw - Ledn	20	1	18	17	1
Gvc - Asd	52	0	31	30	1
Almp - Apn	80	2	77	76	2
Asd - Ehv	79	0	75	73	1

De korte rijtijd van het hoogfrequente net lijkt de doorslaggevende factor te zijn waardoor de andere reizen een veel kortere rijtijd hebben. Ook in de gevallen waar de wachttijd op het natraject lang is, is er sprake van een snellere reistijd. In twee gevallen (Rdt-St en Nkk - Gs) is deze wachttijd wel 16 minuten. Dit komt door de halfuursfrequentie van het natraject. In het geval van Rdt-St zou de reis via het hoogfrequente net tactisch kunnen worden gepland zodat de reis wel aansluit. Dan wordt de totale reistijd nog minder.

De overstaptijd tussen het voortraject en het hoogfrequente net is voor beide frequentiekeuzes kort. Het aantal keren dat er overgestapt moet worden neemt echter in 4 van de 10 gevallen toe. In één geval neemt dit zelfs toe van 0 naar 2.

Uiteindelijk is te zien dat in de meeste gevallen er sprake is van een verkorte reistijd. Dit komt voornamelijk door de korte rijtijd van de treinen en de korte wachttijd voordat een trein van het hoogfrequente net vertrekt. Dit gaat echter wel gepaard met een groter aantal keer overstappen.

6

Conclusie

In dit rapport is verslag gedaan van het onderzoek naar een hoogfrequent treinennetwerk voor de Randstad. De reden voor dit onderzoek was de vraag naar een robuust systeem dat antwoord kon geven op de toenemende vraag naar capaciteit. Hieronder volgen de conclusies die volgen uit dit onderzoek. Deze conclusies zijn tevens de antwoorden op de onderzoeksvragen. De conclusies zijn gevonden door middel van onderzoek waarbij simulatie een belangrijk hulpmiddel was.

De treinen van het hoogfrequente netwerk rijden in een ronde en stoppen alleen op zes belangrijke stations: Utrecht Centraal, Amsterdam Centraal, Schiphol Airport, Leiden Centraal, Den Haag Holland Spoor en Rotterdam Centraal. In dit netwerk kunnen Intercity's rijden die een snelheid kunnen bereiken van 160 km/h. Deze intercity's hebben een zitplaatscapaciteit van 800 personen en een totale capaciteit van 1168 personen. De minimale tussentijd tussen de treinen is 3 minuten. De totale rijtijd van een ronde is 80 minuten. De treinen rijden in twee verschillende richtingen.

Het netwerk dient volledig gescheiden te zijn van de rest van het treinennetwerk: Er is geen verknoping met de rest van het land en de sprinters rijden op aparte sporen. Dit vereist, zeker voor de stations zelf, grote investeringen. Verder worden alle reizigers van station Den Haag Centraal verondersteld te reizen via station Den Haag Holland Spoor. Voor een goede operatie wordt gesteld dat maximaal 50% van de treinen staande reizigers mag bevatten en maximaal 1,0% van de treinen wachtenden mag achterlaten.

Als de treinen met een minimale tussentijd van 3 minuten rijden zijn er 52 treinen nodig. Als de vraag gelijk blijft aan nu is er een frequentie van 10 treinen per uur vereist. Als de vraag verdubbelt, moet ook de frequentie verdubbelen naar 20 treinen per uur. Er blijkt een relatie tussen de afstand tussen de stations en de bezetting van de trein: Hoe korter de afstand, hoe voller de trein.

De invoering van een hoogfrequent systeem in de Randstad leidt in de meeste gevallen tot een kortere reistijd. Als een deel van de reis zich bevindt tussen de zes genoemde stations zal op dat traject flinke tijdswinst geboekt worden. Door de hoge frequentie zal er ook minder wachttijd zijn om in een intercity van het hoogfrequente net te stappen. Dit is echter wel afhankelijk van de gekozen frequentie. In veel gevallen moet er wel meer keer overgestapt worden. Verder zijn er bepaalde reizen die door dit hoogfrequente net te maken krijgen met omreizen en daardoor een iets langere reistijd krijgen.

De treinen rijden met een hoge frequentie en zijn losgekoppeld van de rest van het landelijke netwerk. Hierdoor is het niet meer nodig om gebruik te maken van een dienstregeling. Het constant houden van de afstand tussen de treinen is veel belangrijker. Verder hebben reizigers de mogelijkheid om te kiezen tussen de trein die het eerste aankomt en de trein die hen het snelst naar hun eindbestemming brengt. De keuze voor de trein die de reiziger het snelst naar de eindbestemming brengt zorgt voor een lagere gemiddelde bezetting van de treinen en voor een kortere gemiddelde reistijd. Deze optie heeft dus duidelijk de voorkeur.

Uiteindelijk kan geconcludeerd worden dat een gescheiden hoogfrequent deelnetwerk binnen de randstad mogelijk is. Dit vereist echter wel grote investeringen in de infrastructuur. Door een hoogfrequente verbinding tussen de zes genoemde stations kunnen er dubbel zoveel reizigers vervoerd worden dan met het huidige systeem. Doordat de tijd die nodig is voor het afleggen van deze ronde van 143 minuten teruggebracht wordt naar 80 minuten en er sprake is van een hoge frequentie duurt de reis voor veel reizigers korter.

7

Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn al diverse conclusies getrokken over de capaciteit en de effectiviteit van een gescheiden hoogfrequent netwerk. In dit onderzoek is echter aangenomen dat er geen vertraging is. Vervolgonderzoek is nodig naar de effecten van verschillende vertragingsscenario's. Het model is gemaakt zodat het uitbreidbaar is met eventuele vertragingsscenario's.

Door het toevoegen van vertragingen aan het model kunnen diverse belangrijke zaken worden onderzocht. Als er een infrastructureel probleem ontstaat zullen veel reizigers de ronde in de omgekeerde richting reizen. Dit heeft gevolgen voor de bezettingsgraad van beide richtingen. Een ander probleem is het effect van een trein die vertraagd is. De hypothese is dat het totale negatieve effect van een vertraagde trein minder is in de situatie van een hoogfrequent netwerk dan in de huidige situatie omdat reizigers gemakkelijk een trein eerder of later kunnen pakken.

Een vertraagde trein heeft echter wel invloed op de treinen die voor en achter hem rijden. Er is dus wel degelijk sprake van een langere reistijd. De uitdaging voor een eventueel vervolgonderzoek is te onderzoeken wat de beste manier is om dit bij te sturen. In dit onderzoek is het idee geopperd om de aansturing van de treinen vooral plaats te laten vinden op basis van de onderlinge afstand tussen treinen. De aanleiding hiervoor is een dergelijk onderzoek met bussen [6].

De belangrijkste aannames in dit onderzoek zijn aannames rond de hoeveelheid reizigers en de bestemming van deze reizigers. Deze aannames zijn gebaseerd op informatie die beschikbaar is voor iedereen. Een verbetering zou zijn om veel nauwkeurigere data te gebruiken. Deze is echter in het bezit van de NS of andere instanties.

In dit onderzoek is gekozen voor zes stations als onderdeel van het hoogfrequente deelnetwerk. Voordat een dergelijk hoogfrequent netwerk ingevoerd wordt is een gedegen onderzoek nodig naar welke stations deel uit zullen maken van dit hoogfrequente netwerk. Verder dient er ook gekeken te worden naar de bereikbaarheid van andere belangrijke stations zoals station Amsterdam Zuid. Dergelijke stations dienen te allen tijde goed bereikbaar te blijven.

Het is al meerdere malen genoemd dat de infrastructuur ingrijpend veranderd dient te worden. Dit is nodig voor de haalbaarheid van het beschreven hoogfrequente netwerk. Het is daarom belangrijk om een goede kostenraming te maken van deze plannen. Bij de beraming van de kosten dient rekening gehouden te worden met wat de hoogste prioriteit heeft en

welke infrastructuur daarom als eerste aangepast dient te worden.

Een van de maatregelen is de aanpassing van twee sporen naar vier sporen. Deze maatregel lijkt onvermijdelijk. Daarom is het wenselijk om te starten (waar dit nog niet het geval is) met de voorbereidingen voor de aanleg van twee extra sporen. In sommige gevallen staat dit al op de planning (bijv. Rijswijk - Delft Zuid). In andere gevallen (zoals Delft Zuid - Schiedam Centrum) dient dit onderzocht te worden. De huidige groei in gedachten nemend, dient het komen tot viersporigheid op belangrijke delen van het netwerk politieke prioriteit te hebben. Zoals beschouwd in dit onderzoek leidt viersporigheid sowieso al tot een grotere robuustheid door de scheiding van sprinters en intercity's.

De scheiding van de infrastructuur op de stations is een andere belangrijke prioriteit die volgt uit dit onderzoek. Dit leidt tot een verbetering van de robuustheid van het netwerk en tot de mogelijke implementatie van een gescheiden hoogfrequent netwerk. Startend met de grootste knelpunten dient hier een onderzoek naar de kosten plaats te vinden.

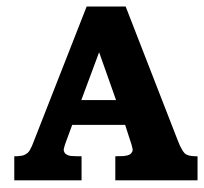
Zoals geconcludeerd is het momenteel, door infrastructurele beperkingen nog niet mogelijk om het voorgestelde netwerk in te voeren. In het huidige netwerk zijn echter ook verbeteringen mogelijk die leiden tot een grotere robuustheid en een verhoging van de potentiële capaciteit. Momenteel wordt er namelijk op steeds meer trajecten viersporigheid ingevoerd voor het scheiden van sprinters en intercity's. Verder zijn er ook ideeën om de verknoping tegen te gaan. De NS wil op steeds meer trajecten een tienminutendienst invoeren (PHS). In het PHS-toekomstbeeld van 2030 wordt er steeds meer gewerkt met corridors i.p.v. verknoping^[17]. De planning is dat er een tienminutenverbinding Schiphol-Arnhem en een tienminutenverbinding Amsterdam-Eindhoven komt. Momenteel zijn deze verbindingen nog verknoopt. Deze twee trajecten worden daarmee vaste corridors. Als deze corridors een volledig gescheiden infrastructuur krijgen kan de frequentie zelfs nog hoger worden

Werken met dergelijke corridors kan bepaalde problemen zoals de bereikbaarheid van Amsterdam Zuid verbeteren. Echter, met corridoroperatie zal net als met circulaire operatie er sprake blijven van bepaalde bestemmingen die ondergewaardeerd blijven. Daarnaast heeft het circulaire netwerk het voordeel dat dit netwerk alleen in de randstad aanwezig is. Daardoor is het netwerk op alle punten drukbezet en geeft dat een effectieve benutting van de capaciteit. Verder geeft de circulaire operatie een voordeel bij verstoringen: Reizigers kunnen snel het netwerk in omgekeerde richting gebruiken. Momenteel lijken NS en ProRail echter te opteren voor de corridoroperatie vanwege een verminderd aantal overstappen en doordat dit meer past bij hoe de infrastructuur en dienstregeling nu is.

Bibliografie

- [1] Treinreiziger.nl, *Lijst in- en uitstappers per station van groot naar klein*, <http://www.treinreiziger.nl/lijst-en-uitstappers-per-station-van-groot-naar-klein/> (), [Online, 12/09/2017].
- [2] NS, *Adviesaanvraag dienstregeling 2018*, Tech. Rep. (NS, 2017).
- [3] NS, *Reisplanner/reisinformatie*, www.NS.nl, [Online, 12/09/2017].
- [4] N. Besinovic, *Railway Timetable Optimization 2 (lecture slides)*, Tech. Rep. (TU Delft, 2016).
- [5] J. van Kasteren, *Verkorte reistijd maakt van randstad een metropool*, Delft Integraal **93**, 15 (1993).
- [6] O. Cats, A. Larijani, H. Koutsopoulos, and W. Burghout, *Impacts of holding control strategies on transit performance : A bus simulation model analysis*, *Transportation Research Record* , 51 (2011), qC 20120330.
- [7] Treinreiziger.nl, *Spoorkaart 2017*, [http://spoorkaart2017.nl/downloads/spoorkaart 2017 opA4.pdf](http://spoorkaart2017.nl/downloads/spoorkaart%202017%20opA4.pdf) (), [Online, 12/09/2017].
- [8] Stationsweb, *Overzicht van spoorlijnen*, <http://www.stationsweb.nl/lijnoverzicht.asp>, [Online, 24/10/2017].
- [9] Forumlid, *Tables acceleration and braking characteristics*, <https://forum.ns.nl/in-de-trein-11/intercity-optrek-en-remsnelheid-21581/index1.html#post130889>, [Online, 24/10/2017].
- [10] T. Planting, *Ontwerpmethoden van dienstregelingen*, Tech. Rep. (TU Delft, 2016).
- [11] Wikipedia, *Dubbeldeksinterregiomaterieel*, <https://nl.wikipedia.org/wiki/Dubbeldeksinterregiomaterieel>, [Online, 24/10/2017].
- [12] Prorail, *Spooruitbreiding utrecht - leidsche rijen*, [https://www.prorail.nl/sites/default/files/informatiefolder utrecht centraal - leidsche rijen.pdf](https://www.prorail.nl/sites/default/files/informatiefolder%20utrecht%20centraal%20-%20leidsche%20rijen.pdf) (), [Online, 12/09/2017].
- [13] Prorail, *Spooruitbreiding rijswijk - delft zuid*, <https://www.prorail.nl/projecten/delft/spooruitbreiding-rijswijk-delft-zuid> (), [Online, 12/09/2017].
- [14] Prorail, *Spoorvernieuwing utrecht centraal*, <https://www.prorail.nl/projecten/utrecht/DoorStroomStationUtrecht> (), [Online, 12/09/2017].
- [15] E. Kroeze, *Ns-test: extra korting tegen drukke hyperspits*, <http://nieuws.ns.nl/ns-test-extra-korting-tegen-drukke-hyperspits/>, [Online, 27/09/2017].
- [16] R. Van Boxtel, *Aanpak te drukke treinen in 2016 (Brief naar staatssecretaris Dijkma)*, Tech. Rep. (NS, 2015).

-
- [17] J. Wesdorp, *Eindrapportage PHS Capaciteitsanalyse (p. 67)*, Tech. Rep. (NS, Prorail, Koninklijk Nederlands Vervoer, 2010).



Assignment Description

Student:	F. de Kok	Assignment type:	Research Assignment
Supervisor (TUD):	Dr. Ir. H.P.M. Veeke	Creditpoints (EC):	15
		Specialization:	TEL
		Report number:	2017.TEL.8186
		Confidential:	No

Subject: The impact of a separated high frequency train subnetwork on the capacity and effectivity of passenger transport

The current train network can just handle the number of passengers. Especially in the urban regions the number of passengers will increase in the coming years. However, for an increasing demand a higher frequency is required. When a person arrives at a station, the train will depart in a few minutes for operation at high frequencies. Therefore, a timetable is less important.

In this assignment an idea for a fixed circular train route in urban areas will be investigated. The area of investigation is the area of Rotterdam – The Hague – Amsterdam – Utrecht. In that area a high frequent train service will be examined. Therefore, a discrete event simulation will be built to determine the capacity of the network. Furthermore, the total travel times will result in a judgement of the effectivity of the network.

In this assignment the following main question will be answered:

What is the impact of a separated high frequency train subnetwork in the Randstad region on the capacity and effectivity of passenger transport?

Therefore, the following sub-questions will be answered:

- What is the optimal design of the high frequency train service?
- What boundary conditions are required for good operation of the high frequency subnetwork?
- What are the differences of the high frequency train network compared to the current network regarding capacity?
- What are the differences of the high frequency train network compared to the current network regarding effectivity?
- What is the impact of different control strategies on the capacity and effectivity of the high frequency route?

B

Summary

The number of passengers using the train in the Netherlands is increasing in the recent years. That is especially the case for the most urban network of the Netherlands: 'The Randstad'. Higher frequencies are required to meet the grow of passengers.

This research investigates in a separated high frequency network for the Randstad. A specific train service is introduced via the stations Utrecht Centraal, Amsterdam Centraal, Schiphol Airport, Leiden Centraal, Den Haag Holland Spoor, Rotterdam Centraal and back to Utrecht Centraal. It is a circular network: The train drives in the same direction for several cycles. Other trains will operate the same circular network, but in the opposite direction.

For this assignment the following main question is established:

What is the impact of a separated high frequency train subnetwork in the Randstad region on the capacity and effectivity of passenger transport?

Therefore, the following sub-questions will be answered:

1. What is the optimal design of the high frequency train service?
2. What boundary conditions are required for good operation of the high frequency sub-network?
3. What are the differences of the high frequency train network compared to the current network regarding capacity?
4. What are the differences of the high frequent train network compared to the current network regarding effectivity?
5. What is the impact of different control strategies on the capacity and effectivity of the high frequency service?

In most parts of the network, intercities and sprinters use the same track. Due to the difference in average velocity of the two different types of train, the capacity of the track is limited. Furthermore, the different parts in the Dutch train network are interconnected. When a delay develops, the delay can easily extend to other parts of the network. Due to these two reasons, the high frequency subnetwork, has to be separated from the rest of the network. The intercities for the high frequency network must use own tracks.

The use of separated tracks requires high investments. In the full route of the train, four tracks are required. The demand for separated track is the most difficult for the stations areas. All

interconnection with other routes must be prevented.

Several assumptions are made to come to a design of the high frequency network. The train stops only at the stations Utrecht Centraal, Amsterdam Centraal, Schiphol Airport, Leiden Centraal, Den Haag Holland Spoor and Rotterdam Centraal. It is assumed that the passengers using Den Haag Centraal will use Den Haag Holland Spoor. The total travelling time of the cycle is equal to 80 minutes (nowadays 143 minutes). The maximum frequency for the trains is equal to 20 trains per hour and the maximum speed of the trains is 160 km/h. It is assumed that the trains will consist of two ICNG-VIII train sets. This combination has a total of 800 seats. It is assumed that the capacity is 1168 persons (incl. standing places).

For high frequency train operation, a timetable is not important anymore. A traveller can go at any time to the station, since a train will always arrive in a few minutes. For the control of the train, the equalization of the mean time is far more important. In the analysis a constant mean time is assumed.

For the analysis, a discrete event simulation model is built. This simulation model is built in Delphi, using the Tomas add-on. The model uses the discrete elements 'trains' and 'passengers' to simulate. The trains will travel from station to station and with the procedures 'Instappen' and 'Uitstappen' passengers will be added or removed from the train. Passenger generators are responsible for the arriving process of new passengers.

Two types of passengers will arrive at the station. The first type of passenger is the passenger that start its train journey at one of the six main stations. The arrival pattern of these passengers is equally distributed over the time. The other type of passenger is the transfer passenger. The transfer passengers arrive in a batch: Several passengers of the same arriving train. For these two different processes, different passenger generators are used.

The current number of passengers during the busiest part of the peak hours is used as input for the model. A special multiplier is introduced to model possible grow. For the passengers that board the train, their destination is determined according to an assumed distribution (see Table 4.4).

At the stations, travellers can choose which train they will take. They can take the train that will arrive first, or they can take the train that will result in the smallest total travel time. This option is one of the inputs of the model.

The run time of the model is determined at 10 hours. This is required to get steady-state behaviour. The model is validated by comparing the result of the model with the reality. It came down that the number of trains according to the model matched more or less the current capacity offered by the NS. Apart from the validation, the model is verified in several ways:

- The effect of different seeds on the ultimate result.
- The behaviour of both generators
- The simulated driving time compared to the calculated driving time
- The extreme situations (high amount of trains, high number of passengers)
- The effect of the different options for train choice

In all cases, the desired result is obtained.

The model gives insight in the behaviour of the trains in the high frequency network. It gives

Tabel B.1: Average occupation degree (Option: Fastest route)

Frequency	Multiplier						
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
6	-	-	-	-	-	-	-
8	92	115	-	-	-	-	-
10	78	98	117	-	-	-	-
12	64	80	96	111	-	-	-
15	51	64	76	89	102	115	-
20	39	49	59	69	79	88	98

Tabel B.2: Chosen frequency's (Option: Fastest Route)

Multiplier	Chosen frequency
1	10
1,25	12
1,5	15
1,75	20
2	20

insight in the required capacity of the network and the effectivity of the network. The results for both capacity and effectivity will be given.

The trains must be equally divided over the network. It can be the case that the actual mean time between the trains can differ from the theoretical main time. The minimum mean time is 3 minutes. The use of the tracks (%) is calculated by the actual frequency divided by the maximum frequency. A maximum frequency of 20 trains per hour results in a maximum use of 52 trains.

The occupation degree is one of the most important parameters that gives insight into the capacity. In Table [B.1](#), the results are given for the option that travellers choose the train that will result in the shortest travel time. It is visible that a higher multiplier (more supply of travellers) will result in a higher occupancy degree. For the frequency, an opposite relation holds. For the combinations where no result is given, the combination of frequency and multiplier does not result in stable behaviour.

Apart from the occupation degree, two other capacity parameters are used: The percentage of trains containing more passengers than the seat capacity and the percentage of trains that cannot take all passengers from the platform due to passing the ultimate capacity of 1168 persons. A higher occupation degree results in a higher value of both mentioned parameters. These two parameters determine the frequency choice. It is assumed that the maximum percentage of the trains that is above seat capacity is 50%. The maximum percentage of trains that must leave behind some passengers is 1,0%. These two requirements result in the frequency choices in Table [B.2](#). For the current demand (multiplier = 1) a frequency of 10 is required. For a duplication of the passenger supply (multiplier = 2) a frequency of 20 is required.

The occupation degree results for the option that people take the first train that arrives are visible in Table [B.3](#). It is visible that the occupation degree is higher. That is due to the detour: The persons are in the train for a longer time. The results for the percentage trains that contain more passengers than seats available and the percentage trains that cannot take

Tabel B.3: Average occupation degree (Option: Take the first train that arrives)

Frequency	Multiplier				
	1	1,25	1,5	1,75	2
10	139	-	-	-	-
12	114	139	-	-	-
15	90	113	135	-	-
20	69	86	104	121	138

everyone from the platform are similar: A higher multiplier and a lower frequency results in a higher percentage. When the requirements of 50% and 1,0% are considered it means that none of the options is good enough. In the case of multiplier = 1 and frequency = 20 still 1,9% of the trains cannot take all people from the platform.

Apart from the capacity over the network, the capacity over the different trajectories of the network is examined. Therefore, the occupation degree of all trajectories between two succeeding stations in both directions is gathered. The trajectory with the highest occupation rate is the part between Amsterdam Centraal and Schiphol Airport. The trajectory between Rotterdam Centraal and Utrecht Centraal has the lowest occupation rate. A relation between the length of the trajectory and the occupation rate exists: A shorter trajectory results in a higher occupation rate.

Apart from the capacity, effectivity results are gathered. For the effectivity, the travelling time is important. The travelling time consists of the waiting time and the driving time. When people takes the train that results in the shortest travel time, the average waiting time is equal to half of the mean time.

When people takes the first train that arrives the waiting time is dependent of the division of the arrival times of the trains at the station over time. For this option, the minimum average waiting time is equal to a quarter of the mean time. However, in that case, the average driving time is a lot higher (nearly a factor two).

The option in which people take the train that results in the lowest travel time gives the best results. The average total travel time is lower. The capacity analysis resulted in the same conclusion. This option is also the option used by the travellers now.

For most of the travellers, the travel time of the high frequency network is not the most important fact. For them, the actual travel time from their origin to their destination is important. Therefore, ten typical Origin-Destination combinations are chosen to investigate the effect of the high frequency network on the total travel time. In Table 5.12 and Table 5.13, the results for the ten typical OD-patterns are visible.

In 9 out of the 10 cases, a significant improvement in travel time is accomplished. Two main reasons contribute to the lower travel time:

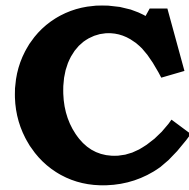
- The driving time of the train in the high frequency network is significant lower.
- Due to the high frequency, the waiting time before entering a train of the high frequency network is always low.

However, in some cases, the total travel time is higher than in the original network. An example of such a situation is the journey from Utrecht Centraal to Amsterdam Zuid. A detour via Am-

sterdam Centraal and Schiphol Airport is required. Another downside of the high frequency network is the increased average number of transfers.

The gain in travel time is significant. That is one of the reasons for a positive evaluation of the high frequency network. Furthermore, the high frequency network can handle two times the current peak hour passenger supply. Due to a separated and robust network, the trains can succeed each other in a short time. In the control of this network, only the meantime is important.

Even though these advantages, it is currently not possible to operate this high frequency train service. High investments are required to get a robust, separated system. However, this research can contribute to solutions for the future.



Resultaten Steady-state

Tabel C.1: Resultaten Steady State 1

Tijd(s)	6723	8649	10148	11836	13743	15590
Bezettingsgraad Shl-Ledn (%)	82	91	97	99	104	103
Bezettingsgraad Rtd-Gv (%)	68	78	79	82	88	90
Wachttijd Asd (s)	218	229	222	225	224	224
Gemiddelde reistijd (min)	16	20	21	22	22	22
Gemiddelde bezettingsgraad (%)	67	80	83	86	89	90
Treinen meer dan zitvol (%)	17	27	30	32	37	37
Treinen die wachtenden achterlaten (%)	0	0	0	1	1	1

Tabel C.2: Resultaten Steady State 2

Tijd(s)	17111	19324	21047	25243	31666
Bezettingsgraad Shl-Ledn (%)	104	104	105	105	106
Bezettingsgraad Rtd-Gv (%)	90	92	92	93	94
Wachttijd Asd (s)	224	224	224	224	224
Gemiddelde reistijd (min)	22	22	22	23	23
Gemiddelde bezettingsgraad (%)	91	91	91	92	93
Treinen meer dan zitvol (%)	39	38	39	39	40
Treinen die wachtenden achterlaten (%)	1	1	1	1	1

Tabel C.3: Resultaten Steady State 3

Tijd(s)	50000	75000	100000	150000	200000
Bezettingsgraad Shl-Ledn (%)	107	108	108	108	108
Bezettingsgraad Rtd-Gv (%)	94	96	97	97	97
Wachttijd Asd (s)	223	220	219	219	218
Gemiddelde reistijd (min)	23	23	23	23	23
Gemiddelde bezettingsgraad (%)	93	94	94	94	95
Treinen meer dan zitvol (%)	40	40	40	40	41
Treinen die wachtenden achterlaten (%)	1	2	2	1	2

D

Code Delphi

```

unit TrainSimulation;

interface

uses

    Tomas, Tomasread, Winapi.Windows, Winapi.Messages, System.SysUtils,
    System.Variants, System.Classes, Vcl.Graphics,

    Vcl.Controls, Vcl.Forms, Vcl.Dialogs, Vcl.StdCtrls, Vcl.Grids, Vcl.Menus,
    Vcl.ExtCtrls, VclTee.TeeGDIPlus, VCLTee.TeEngine, VCLTee.Series,
    VCLTee.TeeProcs, VCLTee.Chart;

type

TForm1 = class(TForm)
    StartSimulatie: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    EditGemWachttijdUt: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Label10: TLabel;
    EditBezPerUtAsdFW: TEdit;
    EditFreq: TEdit;
    Label12: TLabel;
    EditAankomstfactor: TEdit;
    Label20: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label19: TLabel;
    EditBezGra: TEdit;
    EditPercTrSt: TEdit;
    EditSpoorgebruik: TEdit;
    Label4: TLabel;
    EditGemReistijd: TEdit;
    Instapkeuze: TRadioGroup;
    WachtendenStationz: TChart;
    Series1: TFastLineSeries;
    Series2: TFastLineSeries;
    Series3: TFastLineSeries;

```

```

Series4: TFastLineSeries;
Label5: TLabel;
EditBezPerUtAsdBW: TEdit;
Series5: TLineSeries;
Series6: TLineSeries;
EditBezPerAsdShlFW: TEdit;
EditBezPerAsdShlBW: TEdit;
EditBezPerShlLednFW: TEdit;
EditBezPerShlLednBW: TEdit;
EditBezPerLednGvFW: TEdit;
EditBezPerLednGvBW: TEdit;
EditBezPerGvRtdFW: TEdit;
EditBezPerGvRtdBW: TEdit;
EditBezPerRtdUtFW: TEdit;
EditBezPerRtdUtBW: TEdit;
EditGemWachttijdAsd: TEdit;
EditGemWachttijdShl: TEdit;
EditGemWachttijdLedn: TEdit;
EditGemWachttijdGv: TEdit;
EditGemWachttijdRtd: TEdit;
EditTT: TEdit;
EditAantTreinTeVl: TEdit;
Label3: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
EditAantalTreinen: TEdit;
procedure StartSimulatieClick(Sender: TObject);
//procedure FormCreate(Sender: TObject);

private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

```

```

TStation = class(TomasElement)
  public
  Stationnummer: Integer;
  PerronQ:TomasQueue;
end;

TReiziger = class(TomasElement)
  Public
  Eindstation:TStation;
  Begintijd:Real;
end;

TStartReizigersGenerator = class(TomasElement)
  public
  SRGStation:TStation;
  SRGREiziger:TReiziger;
  IATDist:TNormalDistribution;
  published
  procedure Process; reintroduce;
end;

TOverstapGenerator = class(TomasElement)
  public
  OGStation:TStation;
  OGREiziger:TReiziger;
  TTTDist:TNormalDistribution;
  AantalmensenTreindist: TNormaldistribution;
  published
  procedure Process; reintroduce;
end;

TTrein = class(TomasElement)
  public
  MijnStation: TStation;
  VolgendeStation: TStation;
  Rijrichting:Integer;

```

```

ReizigersQ:TomasQueue;
published
  procedure Process; reintroduce;
  procedure instappen ;
  procedure uitstappen;

end;

TTreinengenerator = class(TomasElement)
  published
    procedure Process; reintroduce;
end;

var
Form1: TForm1;

TreinenGenerator: TTreinenGenerator;
InstapReiziger, UitstapReiziger: TReiziger;
Station: TStation;
StartReizigersGenerator: TStartReizigersGenerator;
OverstapGenerator: TOverstapGenerator;
Trein: TTrein;

PercTabDistUt, PercTabDistAsd, PercTabDistShl: TTableDistribution;
PercTabDistLedn, PercTabDistGv, PercTabDistRtd: TTableDistribution;

StationsQ:TomasQueue;

PercTabDistArray: Array[0..5] of TTableDistribution;
GemWachtTijdArray: Array[0..5] of Tedit;
BezPerFWArray: Array[0..5] of Tedit;
BezPerBWArray: Array[0..5] of Tedit;
AantTreinArray: Array[0..5] of Tedit;
Afstand: Array[0..5] of Real;

```

```

MatPerc: Array of array of Real;
SnelsteOptie: Array[0..5] of array[0..5] of Integer;
AantPersFW, AantPersBW: Array[0..5] of Integer;
AantTreinenFW, AantTreinenBW: Array[0..5] of integer;
BezPerFW, BezPerBW: Array[0..5] of real;
AantPersTot: Array[0..5] of integer;
WachttijdTot, WachttijdGem: Array[0..5] of real;
AantInst, AMT, AantTr, MIAT, TTT: Array[0..5] of real;

TreinCapaciteit: Integer;
PercTrSt: Real;
Frequentie: Integer;
AantTrSt: Integer;
AantTreinTraject: Integer;
Staadperc: Real;
Reistijd, Reistijdtot: Real;
AantStat: Integer;
Acceleratietijd, Deceleratietijd, Acceleratieafstand, Deceleratieafstand,
Snelheid, Rijtijd: Real;
Sigma, Sigma2, Sigma3: Real;
Rijtijdtot: Real;
Veiligheidsmarge: Real;
r, s: Integer;
AantTreinen, AantPersonenTotaal, AantPersUitstap: Integer;
BezPerTotaal, ReistijdGem: Real;
VermFact: Real;
Tussentijd: Real;
TreinTeVoll: Integer;
AantGepasPers: Integer;
Test: Boolean;

implementation

{$R *.dfm}

//Startreizigersgenerator genereert met een tussentijd van IATDist.Sample
een Reiziger.

```

```

//Hierbij wordt een begintijd gekoppeld
//Daarna wordt m.b.v. een Tabledistribution een eindstation gekoppeld.
//Vervolgens is er een commando dat het proces laat stoppen na 10 uur.
Procedure TStartReizigersGenerator.Process;
begin
Test:= False;
  while True do begin
      SRGReiziger:= TReiziger.Create('MijnReiziger')      ;
      SRGReiziger.Begintijd:= Tnow;
      SRGReiziger.Eindstation:=
StationsQ.Element(Round(PercTabDistArray[SRGStation.Stationnummer].Sample))
;
      SRGStation.PerronQ.AddToTail(SRGReiziger);
      Hold(abs(IATDist.Sample));
      if Tnow>40790 then begin
          Tomasform.setstepmode(true);
          showmessage('klaar')
      end;
  end;
end;

//Overstapgenerator genereert batches met personen.
//Tussen de treinen zit een tussentijd van TTTdist.Sample.
//Het aantal reizigers per batch is gelijk aan
AantalMenstenTreinDist.Sample.
//Begintijd en eindstation eveneens gekoppeld.
procedure TOverstapGenerator.Process;
var
i,AMT: Integer;
begin
  Hold(abs(TTTDist.Sample/2));
  while true do begin

      case OGstation.Stationnummer of
          0: Form1.Series1.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
          1: Form1.Series2.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
      end;
  end;
end;

```

```

    2: Form1.Series3.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    3: Form1.Series4.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    4: Form1.Series5.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    5: Form1.Series6.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
end;

AMT:= abs(Round(AantalMensenTreinDist.Sample)) ;
for i := 1 to AMT do begin
    OGREIZIGER:= TReiziger.Create('MijnReiziger') ;
    OGREIZIGER.Begintijd:= Tnow;
    OGREIZIGER.Eindstation:=
StationsQ.Element(Round(PercTabDistArray[OGStation.Stationnummer].Sample));
    OGStation.PerronQ.AddToTail(OGREIZIGER);
end;

case OGStation.Stationnummer of
    0: Form1.Series1.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    1: Form1.Series2.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    2: Form1.Series3.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    3: Form1.Series4.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    4: Form1.Series5.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
    5: Form1.Series6.AddXY(Tnow,OGStation.PerronQ.length);
end;

Hold(abs(TTTDist.Sample));

end;

end;

procedure TTreinenGenerator.Process;
var
i,j:integer;
RijR: integer;
begin
//Genereren van alle treinen met een vaste tussentijd.

```

```

//Hiervoor worden eerst de treinen eerlijk verdeeld over de ronde.
RijR:=1;
Frequentie:= StrToInt(Form1.EditFreq.Text);
if Frequentie > 19 then begin AantTreinen:=
Trunc(RijtijdTot/3600*Frequentie)*2;
end else AantTreinen:= Round(RijtijdTot/3600*Frequentie)*2;
Tussentijd:= Rijtijdtot/(AantTreinen/2);
if Tussentijd < 180 then begin
  showmessage('Frequentie te hoog: Minimale tussentijd van 3 minuten wordt
gehanteerd. ');
  AantTreinen:= Trunc(RijtijdTot/3600*20)*2;
  Tussentijd:= Rijtijdtot/(AantTreinen/2);
end;
Form1.EditAantalTreinen.Text:= IntToStr(AantTreinen);
Form1.EditTT.Text:= FloatToStr(Round(Tussentijd));
Form1.EditSpoorgebruik.Text:=
FloatToStr(Round(AantTreinen/(RijtijdTot/90)*100));

//Werkelijke genereren van de treinen
for i := 1 to AantTreinen do begin
  Trein:= TTrein.Create('Trein');
  Trein.MijnStation:= StationsQ.element(0);
  Trein.Rijrichting:=RijR;
  Trein.ReizigersQ := TomasQueue.Create('ReizigersQ');
  RijR:= RijR*-1;
  Trein.Start(Tnow);
  hold(Tussentijd/2) ;
end;

//Waarden op nul zetten voor genereren data vanaf punt dat passagiers
starten.
for j := 0 to AantStat-1 do begin
  AantTreinenFW[j]:= 0;
  AantTreinenBW[j]:= 0;
end;
AantTreinTraject:= 1;

//Genereren startreizigersgeneratoren. Dit is pas nadat alle treinen
rijden.

```

```

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Ut');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(0) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(372523,MIAT[0],Sigma*MIAT[0]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Asd');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(1) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(313023,MIAT[1],Sigma*MIAT[1]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Shl');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(2) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(3708523,MIAT[2],Sigma*MIAT[2]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Ledn');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(3) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(3670363,MIAT[3],Sigma*MIAT[3]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Gv');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(4) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(312063,MIAT[4],Sigma*MIAT[4]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

    StartReizigersGenerator:=
TStartReizigersGenerator.Create('StartReizigersGenerator Rtd');

    StartReizigersGenerator.SRGStation := StationsQ.Element(5) ;

    StartReizigersGenerator.IATDist :=
TNormaldistribution.Create(317060,MIAT[5],Sigma*MIAT[5]);

    StartReizigersGenerator.Start(Tnow);

//Genereren overstapgeneratoren

    OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Ut');

    OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(0) ;

    OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(518272,TTT[0],Sigma2*TTT[0]);

```

```

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(8374124,AMT[0],Sigma3*AMT[0]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Asd');

OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(1) ;

OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(321811,TTT[1],Sigma2*TTT[1]);

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(1335314,AMT[1],Sigma3*AMT[1]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Shl');

OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(2) ;

OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(761673,TTT[2],Sigma2*TTT[2]);

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(3877122,AMT[2],Sigma3*AMT[2]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Ledn');

OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(3) ;

OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(3881721,TTT[3],Sigma2*TTT[3]);

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(7737324,AMT[3],Sigma3*AMT[3]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Gv');

OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(4) ;

OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(133813,TTT[4],Sigma2*TTT[4]);

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(134328,AMT[4],Sigma3*AMT[4]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

OverstapGenerator:= TOverstapGenerator.Create('OverstapGenerator Rtd');

OverstapGenerator.OGStation := StationsQ.Element(5) ;

OverstapGenerator.TTTDist :=
TNormaldistribution.Create(323861,TTT[5],Sigma2*TTT[5]);

OverstapGenerator.AantalMensenTreinDist :=
TNormalDistribution.Create(187683,AMT[5],Sigma3*AMT[5]);

OverstapGenerator.Start(Tnow);

TreinenGenerator.StopAndLeave

```

```

end;

Procedure TTrein.Process;
begin

if form1.Instapkeuze.Itemindex = 0 then begin form1.Instapkeuze.ItemIndex
:= 0;
end else Form1.Instapkeuze.ItemIndex:= 1;

//Het hele proces van een trein wordt hier uitgevoerd.
//De whileloop begint met het proces op een station (in- en uitstappen)
//Daarna rijdt de trein door naar het volgende station
//Hiervoor wordt bepaald wat het volgende station is en wat de rijtijd is
//Aan het einde van de rijtijd begint de while-loop weer opnieuw.
while True do begin;

//Proces op het station waarbij twee procedures worden aangeroepen.
Uitstappen;
Hold(60);
Instappen;

//Gedeelte voor de berekening en wegschrijving gemiddelde bezettingsgraad
AantTreinTraject:= AantTreinTraject + 1;
AantGepasPers:= AantGepasPers + ReizigersQ.Length;
Form1.editbezgra.Text:=
FloatToStr(Round((AantGepasPers/(AantTreinTraject*Treincapaciteit))*100));
if rijrichting = 1 then begin

//Gedeelte voor berekenen van bezettingsgraad per traject
AantPersFW[MijnStation.Stationnummer] :=
AantPersFW[MijnStation.Stationnummer] + ReizigersQ.Length;

AantTreinenFW[MijnStation.Stationnummer] :=
AantTreinenFW[MijnStation.Stationnummer] + 1;

BezPerFWArray[MijnStation.Stationnummer].Text:=
FloatToStr(Round(AantPersFW[Mijnstation.Stationnummer]/(AantTreinenFW[Mijns
tation.Stationnummer]*Treincapaciteit)*100));

//Gedeelte voor bepalen volgende station en berekening rijtijd.
VolgendeStation:= StationsQ.Successor(MijnStation);

```

```

    if VolgendeStation = nil then VolgendeStation :=
StationsQ.FirstElement;

    Rijtijd := ((Afstand[MijnStation.Stationnummer]-Acceleratieafstand-
deceleratieafstand)/Snelheid + Acceleratietijd+Deceleratietijd);

end;

if rijrichting = -1 then begin

    //Gedeelte voor berekenen van bezettingsgraad per traject
    if Mijnstation.Stationnummer = 0 then begin

        AantPersBW[AantStat-1] := AantPersBW[AantStat-1] + ReizigersQ.Length;

        AantTreinenBW[AantStat-1] := AantTreinenBW[AantStat-1] + 1;

        BezPerBWArray[AantStat-1].Text:=
FloatToStr(Round(AantPersBW[AantStat-1]/(AantTreinenBW[AantStat-
1]*Treincapaciteit)*100));

        end else begin

            AantPersBW[MijnStation.Stationnummer-1] :=
AantPersBW[MijnStation.Stationnummer-1] + ReizigersQ.Length;

            AantTreinenBW[MijnStation.Stationnummer-1] :=
AantTreinenBW[MijnStation.Stationnummer-1] + 1;

            BezPerBWArray[MijnStation.Stationnummer-1].Text:=
FloatToStr(Round(AantPersBW[Mijnstation.Stationnummer-
1]/(AantTreinenBW[Mijnstation.Stationnummer-1]*Treincapaciteit)*100));

            end;

        //Gedeelte voor bepalen volgende station en berekening rijtijd.
        VolgendeStation:= StationsQ.Predecessor(MijnStation);

        if VolgendeStation = nil then VolgendeStation := StationsQ.LastElement;

        Rijtijd := ((Afstand[VolgendeStation.Stationnummer]-Acceleratieafstand-
deceleratieafstand)/Snelheid + Acceleratietijd+Deceleratietijd);

        end;

        if Afstand[MijnStation.Stationnummer] < (Acceleratieafstand +
deceleratieafstand) then begin showmessage('Afstand te kort voor huidig
model');

        end else begin

            //Werkelijke rijden van de trein.
            hold(Veiligheidsmarge*Rijtijd+30);

            MijnStation:= VolgendeStation;

```

```

end;

end;

end;

procedure TTrein.Instappen;
Var
i: Integer;
InstapReiziger: TReiziger;

begin
//Voor beide keuzeopties is aparte code. Itemindex = 0: Eerste Trein die
aankomt: Itemindex = 1: Snelste optie
if form1.Instapkeuze.ItemIndex = 0 then begin

//Voorwaardes die bepalen of een reiziger nog in kan stappen.
while (Mijnstation.PerronQ.Length > 0) AND (ReizigersQ.Length <
TreinCapaciteit*(1+StaandPerc)) do begin

//Kiezen reiziger, dataverzameling en verwijderen reiziger uit Queue.
InstapReiziger := Mijnstation.PerronQ.FirstElement;
GemWachttijdArray[Mijnstation.Stationnummer].Text:=
FloatToStr(Round(Mijnstation.PerronQ.MeanWT));
InstapReiziger.LeaveQueue(MijnStation.PerronQ);

//Tekenen grafiek
case Mijnstation.Stationnummer of
0: Form1.Series1.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
1: Form1.Series2.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
2: Form1.Series3.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
3: Form1.Series4.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
4: Form1.Series5.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
5: Form1.Series6.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
end;

//Reiziger stapt daadwerkelijk in.

```

```

ReizigersQ.AddSortedOn(InstapReiziger,Instapreiziger.Eindstation.Stationnum
mer);
end;
end;

if form1.Instapkeuze.ItemIndex = 1 then begin
i:= 0;
while (Mijnstation.PerronQ.Length > 0) AND (ReizigersQ.Length <
TreinCapaciteit*(1+StaandPerc)) do begin

    //Kiezen reiziger, dataverzameling en verwijderen reiziger uit Queue.
    //Verschil met de 'Eerste trein die aankomt' zijn de voorwaarden die
uitzoeken of een trein de snelste optie is.

    if i > MijnStation.PerronQ.Length - 1 then Break;
        InstapReiziger := Mijnstation.PerronQ.Element(i);
        if
SnelsteOptie[Mijnstation.Stationnummer,InstapReiziger.Eindstation.Stationnu
mmer] = Rijrichting then begin
            InstapReiziger.LeaveQueue(MijnStation.PerronQ);
            GemWachttijdArray[Mijnstation.Stationnummer].Text:=
FloatToStr(Round(Mijnstation.PerronQ.MeanWT));

            //Tekenen grafiek
            case Mijnstation.Stationnummer of
0: Form1.Series1.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
1: Form1.Series2.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
2: Form1.Series3.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
3: Form1.Series4.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
4: Form1.Series5.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
5: Form1.Series6.AddXY(Tnow,MijnStation.PerronQ.length);
end;

            //Reiziger stapt daadwerkelijk in.

ReizigersQ.AddSortedOn(InstapReiziger,Instapreiziger.Eindstation.Stationnum
mer);

        end else begin
            i:= i+1;
            instapreiziger:= nil;

```

```

        end;
end;
end;

//Dataverwerking
if ReizigersQ.Length > TreinCapaciteit then AantTrSt:= AantTrSt + 1;
Form1.EditPercTrSt.Text:= FloatToStr(Round(AantTrSt/AantTreinTraject*100));
if ReizigersQ.Length >= Treincapaciteit*(1+StaandPerc) then begin
    TreinTeVVol:= TreinTeVVol + 1;
    GemWachtTijdArray[Mijnstation.Stationnummer].Color:= Clred;
end else GemWachtTijdArray[Mijnstation.Stationnummer].Color:= ClLime;
Form1.EditAantTreinTeVVol.Text:=
FloatToStr(Round(TreinTeVVol/AantTreinTraject*1000)/10);

end;

procedure TTrein.Uitstappen;
var
i:integer;
Gereed, StationMatch: Boolean;    //Twee boolean variabelen die de
voorwaarden controleren.
UitstapReiziger: Treiziger;

begin
    Gereed:= False;
    StationMatch:=False;
    i:=0;
    while Gereed = False do begin
        if ReizigersQ.Length = 0 then break;
        //Reizigers bekijken en eindstation controleren
        UitstapReiziger:= ReizigersQ.Element(i);
        if UitstapReiziger.Eindstation = MijnStation then begin

            //Dataverwerking
            AantPersUitstap:= AantPersUitstap+1;
            Reistijd:= Tnow- UitstapReiziger.Begintijd;
            ReistijdTot:= ReistijdTot + Reistijd;

```

```

        ReistijdGem:= ReistijdTot/AantPersUitstap;
        Form1.EditGemReistijd.Text:=
FloatToStr(Round(ReistijdGem/60));

        //Reiziger uit systeem
        UitstapReiziger.Destroy;
        StationMatch:= True;
        Gereed:= False;
        if i>ReizigersQ.Length-1 then Gereed:= True;
    end else begin
        //Als een reiziger niet het juiste eindstation heeft wordt
het volgende element bekeken
        i:= i+1;
        if StationMatch = True then Gereed:= True;
        if i>ReizigersQ.Length-1 then Gereed:= True;
    end;
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.StartSimulatieClick(Sender: TObject);
begin
    VermFact:= StrToFloat(Form1.EditAankomstfactor.text) ;

```

```

//Arrays voor editboxen wachttijd

```

```

GemWachttijdArray[0] := Form1.EditGemWachttijdUt;
GemWachttijdArray[1] := Form1.EditGemWachttijdAsd;
GemWachttijdArray[2] := Form1.EditGemWachttijdShl;
GemWachttijdArray[3] := Form1.EditGemWachttijdLedn;
GemWachttijdArray[4] := Form1.EditGemWachttijdGv;
GemWachttijdArray[5] := Form1.EditGemWachttijdRtd;

```

```

//Arrays voor editboxen bezettingsgraad

```

```

BezPerFWArray[0] := Form1.EditBezPerUtAsdFW;
BezPerBArray[0] := Form1.EditBezPerUtAsdBW;
BezPerFWArray[1] := Form1.EditBezPerAsdShlFW;
BezPerBArray[1] := Form1.EditBezPerAsdShlBW;

```

```

BezPerFWArray[2] := Form1.EditBezPerShlLednFW;
BezPerBWArray[2] := Form1.EditBezPerShlLednBW;
BezPerFWArray[3] := Form1.EditBezPerLednGvFW;
BezPerBWArray[3] := Form1.EditBezPerLednGvBW;
BezPerFWArray[4] := Form1.EditBezPerGvRtdFW;
BezPerBWArray[4] := Form1.EditBezPerGvRtdBW;
BezPerFWArray[5] := Form1.EditBezPerRtdUtFW;
BezPerBWArray[5] := Form1.EditBezPerRtdUtBW;

//Berekenen gemiddelde voor samples
for s := 0 to AantStat - 1 do begin
    MIAT[s] := 3600/(AantInst[s]*VermFact);
    TTT[s] := 3600/AantTr[s];
    AMT[s] := AMT[s]*VermFact;
end;

//Start proces op
TreinenGenerator.Start(Tnow);
tomasform.SetTrace(false);
tomasform.SetStepmode(false);
StartSimulation;

end;

Initialization

StaandPerc := 0.46;
Sigma := 0.4; Sigma2:= 0.4; Sigma3:= 0.4;
RijtijdTot:= 4790;
TreinCapaciteit := 800;
Reistijd:= 0; ReistijdTot:= 0; ReistijdGem:= 0; AantPersUitstap:= 0;
AantTrSt:= 0; PercTrSt:= 0; TreinTeVol:= 0; AantGepasPers:= 0;
AantStat:=6;

Acceleratietijd:= 1.83*60;
Deceleratietijd:= 1.48*60;

```

```

Acceleratieafstand:= 2704;
Deceleratieafstand:= 1975;
Snelheid:= 160/3.6;
Veiligheidsmarge:= 1.05;
AantTreinTraject:= 1;
Afstand[0] := 35000; Afstand[1] := 8000; Afstand[2] := 16000;
Afstand[3] := 16000; Afstand[4]:= 23000; Afstand[5] := 57000;

for r := 0 to AantStat - 1 do begin
  AantPersFW[r] := 0;
  AantTreinenFW[r] := 0;
  BezPerFW[r] := 0;
  AantPersBW[r] := 0;
  AantTreinenBW[r] := 0;
  BezPerBW[r] := 0;
  AantPersTot[r]:= 0 ;
  WachttijdTot[r] := 0;
  WachttijdGem[r] := 0;
end;

AantInst[0] := 4861; AantInst[1] := 3909; AantInst[2] := 2475;
AantInst[3] := 2801; AantInst[4] := 4871; AantInst[5] := 3217;

AantTr[0]:= 29; AantTr[1]:= 28; AantTr[2]:= 20; AantTr[3]:= 10;
AantTr[4]:= 8; AantTr[5]:= 14;

AMT[0] := 182; AMT[1] := 166; AMT[2] := 221; AMT[3] := 279;
AMT[4] := 294; AMT[5] := 283;

//Maken van tabledistributions
PercTabDistUt:= TTableDistribution.Create(3423525,discrete);
PercTabDistUt.AddValue(0,0); PercTabDistUt.AddValue(1,0.32);
PercTabDistUt.AddValue(2,0.17);

PercTabDistUt.AddValue(3,0.07);
PercTabDistUt.AddValue(4,0.18);PercTabDistUt.AddValue(5,0.26);

PercTabDistArray[0]:= PercTabDistUt;

PercTabDistAsd:= TTableDistribution.Create(3427525,discrete);
PercTabDistAsd.AddValue(0,0.36); PercTabDistAsd.AddValue(1,0);
PercTabDistAsd.AddValue(2,0.25);

PercTabDistAsd.AddValue(3,0.13); PercTabDistAsd.AddValue(4,0.09);
PercTabDistAsd.AddValue(5,0.17);

```

```

PercTabDistArray[1]:= PercTabDistAsd;

PercTabDistShl:= TTableDistribution.Create(3423195,discrete);

PercTabDistShl.AddValue(0,0.24); PercTabDistShl.AddValue(1,0.30);
PercTabDistShl.AddValue(2,0);

PercTabDistShl.AddValue(3,0.20); PercTabDistShl.AddValue(4,0.18);
PercTabDistShl.AddValue(5,0.08);

PercTabDistArray[2]:= PercTabDistShl;

PercTabDistLedn:= TTableDistribution.Create(1423195,discrete);

PercTabDistLedn.AddValue(0,0.12); PercTabDistLedn.AddValue(1,0.20);
PercTabDistLedn.AddValue(2,0.24);

PercTabDistLedn.AddValue(3,0); PercTabDistLedn.AddValue(4,0.27);
PercTabDistLedn.AddValue(5,0.17);

PercTabDistArray[3]:= PercTabDistLedn;

PercTabDistGv:= TTableDistribution.Create(1429655,discrete);

PercTabDistGv.AddValue(0,0.25); PercTabDistGv.AddValue(1,0.11);
PercTabDistGv.AddValue(2,0.17);

PercTabDistGv.AddValue(3,0.2); PercTabDistGv.AddValue(4,0);
PercTabDistGv.AddValue(5,0.27);

PercTabDistArray[4]:= PercTabDistGv;

PercTabDistRtd:= TTableDistribution.Create(1429355,discrete);

PercTabDistRtd.AddValue(0,0.35); PercTabDistRtd.AddValue(1,0.19);
PercTabDistRtd.AddValue(2,0.08);

PercTabDistRtd.AddValue(3,0.12); PercTabDistRtd.AddValue(4,0.26);
PercTabDistRtd.AddValue(5,0);

PercTabDistArray[5]:= PercTabDistRtd;

//Tabel die bepaald welke trein er genomen moet worden bij de snelste
optie.

SnelsteOptie[0,0]:=0;
SnelsteOptie[0,1]:=1;SnelsteOptie[0,2]:=1;SnelsteOptie[0,3]:=1;SnelsteOptie
[0,4]:=-1;SnelsteOptie[0,5]:=-1;

SnelsteOptie[1,0]:=-1;
SnelsteOptie[1,1]:=0;SnelsteOptie[1,2]:=1;SnelsteOptie[1,3]:=1;SnelsteOptie
[1,4]:=1;SnelsteOptie[1,5]:=1;

SnelsteOptie[2,0]:=-1; SnelsteOptie[2,1]:=-
1;SnelsteOptie[2,2]:=0;SnelsteOptie[2,3]:=1;SnelsteOptie[2,4]:=1;SnelsteOpt
ie[2,5]:=1;

SnelsteOptie[3,0]:=-1; SnelsteOptie[3,1]:=-1;SnelsteOptie[3,2]:=-
1;SnelsteOptie[3,3]:=0;SnelsteOptie[3,4]:=1;SnelsteOptie[3,5]:=1;

SnelsteOptie[4,0]:=1; SnelsteOptie[4,1]:=-1;SnelsteOptie[4,2]:=-
1;SnelsteOptie[4,3]:=-1;SnelsteOptie[4,4]:=0;SnelsteOptie[4,5]:=1;

SnelsteOptie[5,0]:=1; SnelsteOptie[5,1]:=-1;SnelsteOptie[5,2]:=-
1;SnelsteOptie[5,3]:=-1;SnelsteOptie[5,4]:=-1;SnelsteOptie[5,5]:=0;

```

```

//Genereren van Treinengenerator, stationsQ en alle stations.
TreinenGenerator := TTreinenGenerator.Create('TreinenGenerator');
StationsQ := TomasQueue.Create('StationsQ');
Station := TStation.Create('Utrecht Centraal');
Station.Stationnummer:= 0;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Ut');
StationsQ.AddToTail(Station);
Station := TStation.Create('Amsterdam Centraal');
Station.Stationnummer:= 1;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Asd');
StationsQ.AddToTail(Station);
Station := TStation.Create('Schiphol Airport');
Station.Stationnummer:= 2;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Shl');
StationsQ.AddToTail(Station);
Station := TStation.Create('Leiden Centraal');
Station.Stationnummer:= 3;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Ledn');
StationsQ.AddToTail(Station);
Station := TStation.Create('Den Haag Holland Spoor');
Station.Stationnummer:= 4;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Gv');
StationsQ.AddToTail(Station);
Station := TStation.Create('Rotterdam Centraal');
Station.Stationnummer:= 5;
Station.PerronQ := TomasQueue.Create('Perron Rtd');
StationsQ.AddToTail(Station);

```

end.