

Regelmaatprognose bij het netwerkontwerp van stedelijk openbaar vervoer

Paper voor het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk november 2004

Ir. N. van Oort

HTM Personenvervoer N.V.

Afdeling Vervoersontwikkeling

Postbus 28503

2502 KM Den Haag

Telefoon: 070-3848518

Fax: 070-3848476

E-mail: N.van.Oort@HTM.net

Dr. ir. R. van Nes

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen

Transportation and Planning

Postbus 5048

2600 GA Delft

Telefoon: 015-2784033

Fax: 015-2783179

E-mail: R.vanNes@ct.tudelft.nl

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Regelmaat, stiptheid en vervoervraag	5
2.1 Definities	5
2.2 Effect van regelmaat	6
2.3 Invloed van regelmaat op reistijd	6
2.4 Analyse regelmaat en ontwerp OV netwerk	7
3. Model regelmaatprognose	9
4. Case study: Koninginnegracht in Den Haag	11
5. Quick scan	14
6. Conclusie	18
Bronnen	18

Samenvatting

Regelmaatprognose bij het netwerkontwerp van stedelijk openbaar vervoer

Bij het ontwerp van OV netwerken wordt vaak een bepaalde mate van regelmaat aangenomen of worden zelfs maatregelen voorgesteld die zich richten op het verbeteren van de regelmaat. Dit is bijvoorbeeld het geval bij meerdere lijnen op een traject of de introductie van versterkingsritten op een deel van de lijn. Het idee erachter is dat reizigers op het gemeenschappelijk traject een hogere frequentie hebben en/of meer rechtstreekse verbindingen. Het effect van dit soort maatregelen op de regelmaat is zelden op een kwantitatieve manier onderzocht. Deze paper laat een model zien dat gebruikt kan worden bij het schatten van de effecten van een netwerkverandering op de regelmaat en op de vervoervraag. Het model maakt gebruik van actuele data van de stiptheidsafwijkingen of van een schatting hiervan. De werking van het model kan op twee manieren gepresenteerd. Ten eerste laat een case study zien, dat het gebruik van het model leidt tot betere schattingen dan voorheen, gebruik makend van een kwantitatieve analyse. Ten tweede is er een serie grafieken gemaakt die een quick scan van netwerkveranderingen op de regelmaat mogelijk maakt. Deze grafieken kunnen gebruikt worden om snel inzicht te krijgen in de verbetering van de regelmaat als gevolg van stiptheidsverbeteringen en/of de introductie van afstemming van lijnen.

Summary

Service Regularity Analysis for Urban Transit Network Design

Transit network planners often propose network structures that either assume a certain level of regularity or are even especially focused on improving service reliability, such as networks in which part of lines share a common route or the introduction of short-turn services. The key idea is that travelers on that route will have a more frequent transit service. The impact of such network designs on service regularity is rarely analyzed in quantitative way. This paper presents a tool that can be used to assess the impact of network changes on the regularity on a transit route and on the level of transit demand. The tool can use actual data on the punctuality of the transit system or an educated guess. The application of such a tool is illustrated in two ways. First, a case study on introducing coordinated services shows that the use of such a tool leads to more realistic estimates than the traditional approach using a quantitative analysis. Second, a set of graphs was developed which can be used for a quick scan when considering network changes. These graphs can be used to assess the effect of coordinating the schedules and of improving the punctuality.

1. Inleiding

Regelmaat is een belangrijke kwaliteitsindicator voor openbaar vervoerssystemen, vooral in het geval van hoge frequenties in stedelijke gebieden. Reizigers arriveren aselekt op een halte en als de dienstuitvoering regelmatig verloopt, is de wachttijd minimaal: de helft van het interval. In een stedelijke omgeving is het echter haast onmogelijk om een 100% regelmatige dienstuitvoering te realiseren. Het OV gebruikt voor een deel dezelfde infrastructuur als personen- en vrachtwagens, en ondervindt dus ook hinder van files, verkeerslichten, e.d. Verder hebben de verschillende bestuurders verschillend rijgedrag en duurt het in- en uitstapproces niet even lang in elke situatie, in verband met wisselend aanbod van reizigers. Dit heeft tot gevolg dat reizigers een langere wachttijd ervaren dan volgens planning te verwachten is. Tevens zijn er meer voertuigen nodig om een bepaalde capaciteit te realiseren. Zorgdragen voor een regelmatige dienstuitvoering is dus een zeer belangrijke taak van de OV bedrijven.

Op het gebied van operationele maatregelen voor de verbetering van de regelmaat in het OV is veel onderzoek beschikbaar. Allereerst op het gebied van monitoring en het informeren van bestuurders over hun actuele situatie [1, 2,3,4 en 5]. Andere studies gaan over het ontwerp van dienstregelingen in relatie met regelmaat, waarbij het bepalen van de juiste rijtijd en het inbouwen van buffers de thema's zijn [6,7]. De combinatie van het ontwerp van OV netwerken en regelmaat in stedelijke gebieden is echter zelden onderzocht.

In de praktijk is het echter zo, dat er bij het ontwerp van netwerken òf impliciet rekening gehouden wordt met een zekere regelmaat òf dat er zelfs ingezet wordt op verbetering van de regelmaat. Een goed voorbeeld van zo'n netwerkstructuur is het geval dat (delen van) een lijn samenloopt met een andere lijn. De gedachte achter zo'n systeem is dat de reiziger op de gezamenlijke route een hogere frequentie heeft. Een ander voorbeeld van een maatregel op strategisch niveau is de introductie van een versterkingslijn op een deel van de route op een deel van de dag. Dit type netwerkmaatregelen heeft een grote impact op de regelmaat, maar wordt vooraf meestal slechts kwalitatief geanalyseerd. Een kwantitatieve analyse zou wenselijker zijn, gezien het belang van regelmaat op het gebied van kosten en opbrengsten. Deze paper beschrijft een tool die gebruikt kan worden op het niveau van netwerk ontwerp om de impact van veranderingen in een netwerk op de regelmaat te bepalen.

De paper is als volgt ingedeeld: hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van regelmaat en stiptheid en de invloed hiervan op reizigers en het reizigersaanbod. In hoofdstuk 3 wordt de tool beschreven waarmee de regelmaat berekend kan worden op het moment van het ontwerp van stedelijke OV-netwerken. In hoofdstuk 4 en 5 worden de mogelijkheden van het model getoond aan de hand van specifieke netwerkveranderingen en een quick scan. Hoofdstuk 6 sluit af met de conclusies.

2 Regelmaat, stiptheid en vervoervraag

Regelmaat en stiptheid zijn twee nauwverwante grootheden. Dit hoofdstuk definieert beide begrippen en geeft de relatie aan tussen onregelmatige dienstuitvoering en reistijd en –gedrag.

2.1 Definities

De regelmaat van het OV wordt bepaald door de variatie in de intervallen. Deze wordt veroorzaakt door variatie in rij- en halteertijden, als gevolg van bijvoorbeeld weersomstandigheden, verkeerslichten, overig verkeer, congestie, rijgedrag en het aantal in- en uitstappers [8]. Een manier om de regelmaat te beschrijven is de PRDM (Percentage regularity deviation mean) [9]:

$$PRDM_j = \frac{\sum_i \left| \frac{TIT_{i,j} - TIA_{i,j}}{TIT_{i,j}} \right|}{n_j} \quad (1)$$

waarin:

$PRDM_j$	= relatieve regelmaat voor halte j
$TIA_{i,j}$	= actuele intervaltijd voor voertuig i op halte j
$TIT_{i,j}$	= geplande intervaltijd voor voertuig i op halte j
n_j	= aantal voertuigen op halte j

Stiptheid wordt bepaald door de afwijking van de geplande aankomst- en vertrektijden. De intervallen tussen de voertuigen zijn niet van belang. Stiptheidsafwijkingen worden veroorzaakt door dezelfde factoren als genoemd bij regelmaatafwijkingen. Het belangrijke

verschil tussen beide begrippen kan het beste worden aangegeven met het voorbeeld dat als een OV lijn systematisch 2 minuten te laat is, de stiptheid slecht is, maar de regelmaat prima.

2.2 Effect van regelmaat

Regelmaat beïnvloedt zowel de aanbod- als de vraagzijde. Aan de aanbodzijde heeft het invloed op de capaciteitsefficiëntie: de verdeling van reizigers over opeenvolgende voertuigen. Een betere regelmaat zorgt voor een gelijkmatigere verdeling van reizigers over de voertuigen en dus voor lagere pieken wat betreft bezetting.

Voor wat betreft de vraagzijde heeft een verbeterde regelmaat effect op twee aspecten:

- Produktwaardering: de operationele kwaliteit en de waardering van de reiziger hiervan. Huidige reizigers zullen het produkt beter waarderen door verkorte reistijden en minder overvolle voertuigen.
- Produktaantrekkelijkheid: een betere regelmaat maakt het vervoer aantrekkelijker voor nieuwe reizigers, om dezelfde redenen die bij de produktwaardering zijn genoemd.

Deze twee aspecten liggen dicht bij elkaar. De eerste houdt verband met bestaande reizigers, terwijl de tweede gerelateerd is aan nieuwe reizigers.

Onderzoek toont aan dat hogere regelmaat meer reizigers aantrekt [10, 11 en 12]. In deze onderzoeken is betrouwbaarheid gedefinieerd als de kans dat een reis wordt gemaakt met de vooraf verwachte kenmerken: reistijd, comfort en kosten. Het verbeteren van de regelmaat en stiptheid speelt dus een belangrijke rol in het attractiever maken van het openbaar vervoer.

2.3 Invloed van regelmaat op reistijd

Het is bekend dat reistijd het belangrijkste component is in het keuzegedrag van een reiziger. Onregelmatige dienstuitvoering beïnvloedt zowel de rijtijd, als de wachttijd bij de halte. In het geval van het ontwerp van OV netwerken, waarbij gemiddelde reistijden worden gebruikt, is de impact van onregelmaat op de rijtijd meegenomen. Bij de wachttijd ligt dat echter iets anders. In stedelijke omgevingen arriveren reizigers meestal aselekt op een halte, op z'n minst bij hoge frequenties van 6 voertuigen/uur of meer [13,14]. In het geval van een regelmatige dienstuitvoering is de gemiddelde wachttijd gelijk aan de helft van het interval. In [9] wordt een formule gegeven voor de bepaling van de gemiddelde wachttijd bij onregelmatige dienstuitvoering (formule 2).

$$TWM \approx \frac{1}{2} \cdot TITM \cdot (1 + PRDM_j^2) \quad (2)$$

waarin:

TWM = gemiddelde wachttijd

$TITM$ = gemiddelde intervaltijd volgens dienstregeling

Omdat de PRDM alleen is gedefinieerd voor gevallen met een constant interval is er een alternatieve definitie nodig voor situaties waarin variabele intervallen worden verwacht.

Bijvoorbeeld bij twee lijnen met verschillende frequenties op één traject. Formule 3 geeft de gemiddelde wachttijd [3, 15 en 16].

$$TWM = E(W) = \frac{E(H)}{2} \cdot \left(1 + \frac{Var(H)}{E^2(H)} \right) \quad (3)$$

waarin:

$E(W)$ = de verwachting van de wachttijd

$E(H)$ = de verwachting van de intervaltijd

$Var(H)$ = de variantie van de intervaltijd

Volgens onderzoek [17, 8] kennen reizigers een gewicht van 1,5 tot 2,3 toe aan wachttijd bij stedelijke OV systemen. Hierdoor wordt wachttijd een belangrijk onderdeel van de totale reistijd.

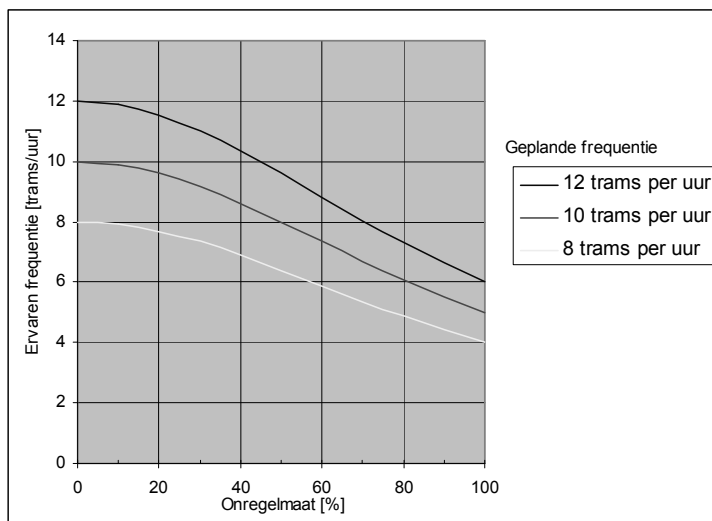
2.4 Analyse regelmaat en ontwerp OV netwerk

Bij het ontwerp van OV netwerken wordt een trade-off bepaald van het reizigersbelang en de doelen van het OV bedrijf. Bij een bepaald netwerk ontwerp wordt de kwaliteit bepaald, die de reiziger aangeboden krijgt. Een van deze kwaliteitscomponenten is de wachttijd. De traditionele manier om de wachttijd te bepalen is door alleen gebruik te maken van de frequentie, terwijl de regelmaat ook een rol speelt (zie formule 1 en 3). Een manier om de te verwachten onregelmaat mee te nemen is om gebruik te maken van de ervaren frequentie in plaats van de geplande frequentie. Of anders gezegd: het ervaren interval in plaats van het geplande. Het ervaren interval is gedefinieerd als het interval dat gegeven een bepaalde

regelmatige dienstuitvoering resulteert in het interval, zoals de reiziger het ervaart. Dit houdt in, dat het ervaren interval twee keer de gemiddelde wachttijd is bij een verwachte onregelmaat. De ervaren frequentie (F_p) is gedefinieerd als:

$$F_p = \frac{F}{(1 + PRDM^2)} \quad (4)$$

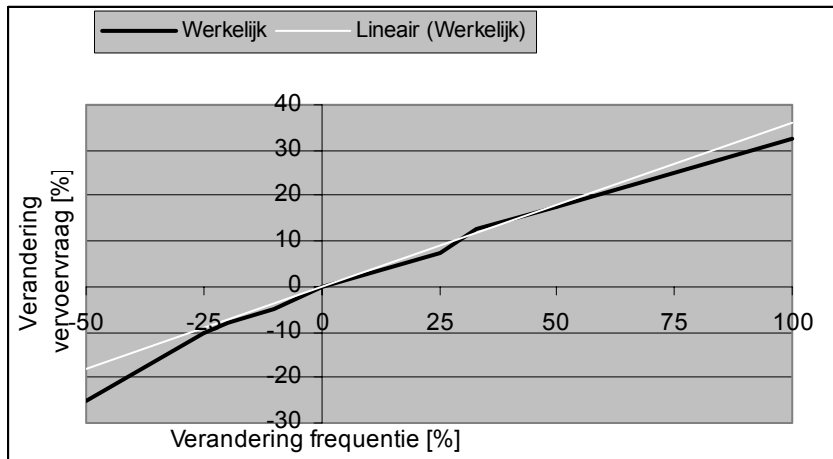
Figuur 1 laat de afhankelijkheid zien van de ervaren frequentie en de onregelmaat voor verschillende geplande frequenties.



Figuur 1: Ervaren frequentie als gevolg van onregelmaat [4]

Te zien is, dat als de PRDM 100% is, dus een volledige onregelmatige dienstuitvoering plaatsvindt: de ervaren frequentie de helft is van de geplande. Ofwel, de voertuigen rijden in paren.

De ervaren frequentie kan gebruikt worden om het effect van de onregelmaat op de vervoervraag vast te stellen. Een empirische studie [19] heeft de relatie tussen veranderingen in frequentie en in reistijd voor stedelijke openbaar vervoerssystemen vastgesteld. Deze relatie is weergegeven in figuur 2. Omdat de gevonden relatie bijna lineair is, wordt er bij deze studie een elasticiteit gebruikt van 0,36 ($R^2 = 0,99$), wat inhoudt dat een verandering van 1% in frequentie leidt tot een verandering in de vervoervraag van 0,36%.



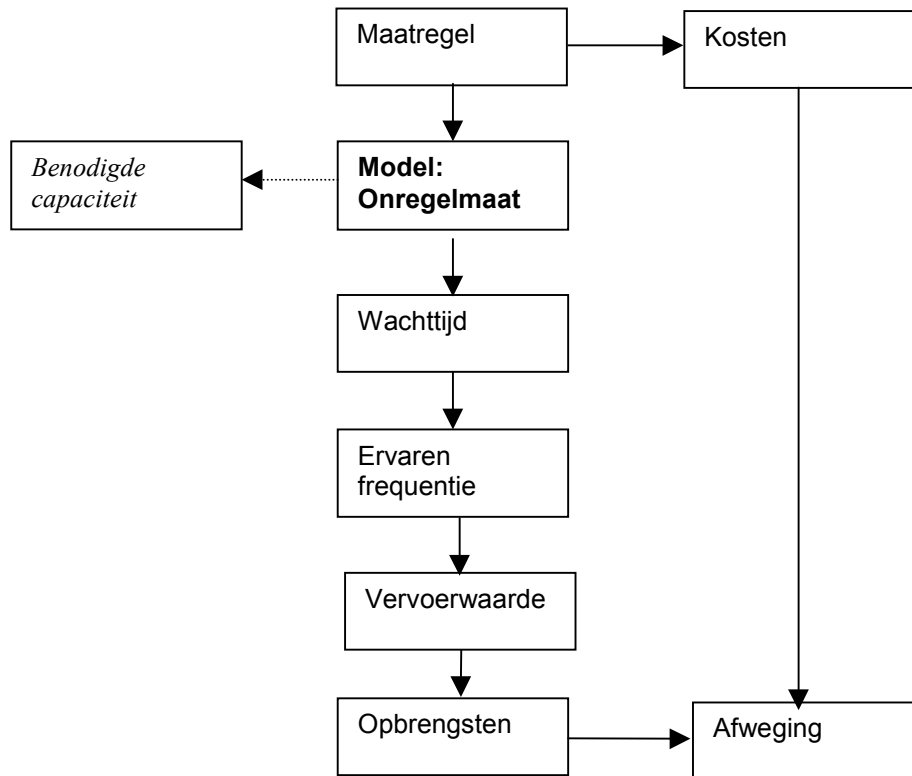
Figuur 2: Empirisch verband verandering frequentie en verandering vervoervraag [4]

Indien men plannen heeft om OV netwerken te realiseren die afstemming vereisen tussen verschillende lijnen, zoals twee lijnen op één gezamenlijk traject, of als er plannen zijn om de regelmaat te verbeteren door een lijn in tweeën te knippen, is het verstandig het effect van de (on)regelmaat mee te nemen.

Zoals eerder genoemd, wordt in de traditionele benadering de wachttijd met alleen de geplande frequenties bepaald. In het geval dat veranderingen in het netwerk specifiek bedoeld zijn voor verbetering van de regelmaat is een kwalitatieve analyse niet toereikend. Als het mogelijk is de ervaren frequentie te bepalen, kunnen op een eenvoudige manier in detail de effecten van de verandering op het systeem geanalyseerd worden, inclusief het effect van de regelmaat op de vervoerwaarde. Het volgende hoofdstuk beschrijft een model die dat mogelijk maakt.

3 Model regelmaatprognose

Het doel van het model is een analyse te maken van de regelmaat op een bepaalde halte, gegeven een bepaalde netwerkconfiguratie, met name in het geval van meerdere lijnen op een gemeenschappelijk traject. Met de waarde van de regelmaat kan vervolgens het effect op de vervoervraag worden berekend, gebruik makend van de ervaren frequentie. Aan de hand hiervan kan bepaald worden of de verwachte opbrengsten in balans zijn met de kosten van de verandering in het netwerk (zie figuur 3)



Figuur 3: Werkwijze model

De invoer van het model is een beschrijving van de voorgestelde netwerkconfiguratie, zoals het aantal lijnen, frequenties en of er afstemming in de dienstregeling plaatsvindt of niet. Verder is er data nodig over de spreiding in de stiptheidsafwijking van de voertuigen op een bepaalde halte. In het ideale geval is deze data actueel, zoals bijvoorbeeld verzameld met een monitoringsysteem als TRITAPT [20]. Als dit soort historische data ontbreekt of als er een significante nieuwe situatie ontstaat, volstaat een educated guess.

De analyse van de regelmaat werkt als volgt:

1. Genereren van de dienstregeling

Gegeven de set van lijnen, de frequenties en de afstemmingsstrategie wordt een dienstregeling gegenereerd. Deze bestaat uit de vertrektijd van de voertuigen van de betreffende halte.

2. Simulatie van dienstuitvoering

Met behulp van de stiptheidsafwijking in het verleden en de dienstregeling wordt de dienstuitvoering bepaald (de werkelijke vertrektijd van de voertuigen op de betreffende halte). Deze stap wordt een bepaald aantal keer herhaald. De dienstuitvoering wordt elke keer opgeslagen.

3. Berekening van de regelmaat

Met behulp van formule 1 wordt van elke gesimuleerde dienstuitvoering de regelmaat berekend. In het geval van niet-constante intervallen worden in deze stap het gemiddelde interval en de variantie berekend.

4. Bepaling van de wachttijd en de ervaren frequentie op de halte

Gegeven de PRDM en de intervallenmerken op de halte kan met behulp van formule 2 en 3 de gemiddelde wachttijd berekend worden. Deze wordt gebruikt om vervolgens het ervaren interval (twee keer de ervaren wachttijd) en dus de ervaren frequentie te berekenen.

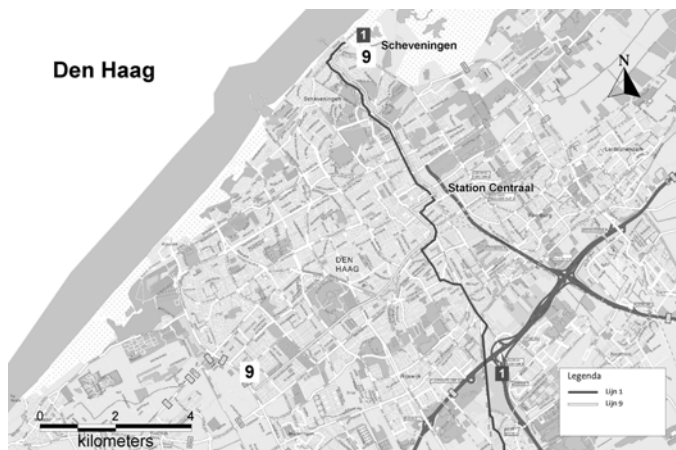
5. Berekenen van het effect op de vervoervraag

Met behulp van de verandering in de ervaren frequentie en de elasticiteiten uit paragraaf 2.4 kan de relatieve verandering van de vervoervraag worden berekend.

Bovenstaande procedure kan voor elke periode van de dag herhaald worden.

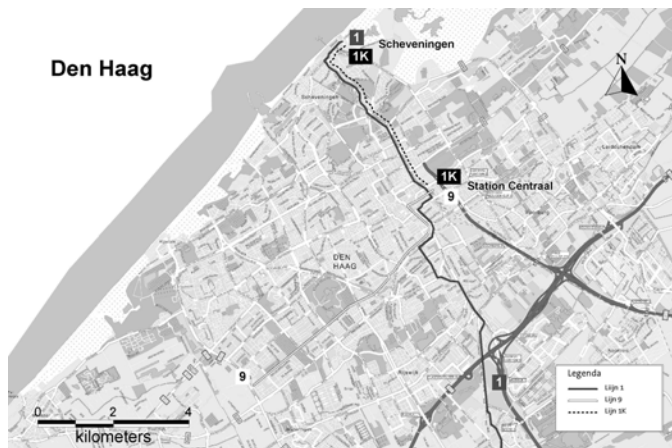
4 Case studie: Koninginnegracht in Den Haag

In dit hoofdstuk wordt de toepassing beschreven van het model regelmaatprognose aan de hand van de Koninginnegrachttak in Den Haag.



Figuur 4A: Lijn 1 en 9 oorspronkelijke situatie

Deze tak start bij het Centraal Station en eindigt in Scheveningen. In 2002 reden zowel lijn 1 en 9 over deze tak. Beide lijnen hadden andere beginpunten, te weten Delft, respectievelijk Vrederust. De regelmaat van beide lijnen samen op deze tak was slecht, als gevolg van de grote lengte van beide routes voor het samengaan. Het voorstel was dan ook om tramlijn 1 alleen op de Koninginnegrachttak te laten rijden en lijn 9 in te korten tot het Centraal Station. Lijn 1 werd voor het gedeelte Centraal Station naar Scheveningen versterkt door een spitslijn 1K (Figuur 4B)



Figuur 4B: Lijn 1 en 9 nieuwe situatie

De consequenties van deze netwerkverandering waren divers. Het knippen van lijn 9 en introduceren van lijn 1K vereiste meer voertuigen. Verder werden doorgaande reizigers van lijn 9 met een overstap geconfronteerd. De belangrijkste winst van deze maatregel was de verbeterde regelmaat op de Koninginnegracht. Een kwalitatieve analyse van de oude situatie laat een zeer slechte regelmaat zien, terwijl in de nieuwe situatie afstemming en een regelmatige dienstuitvoering mogelijk zijn. Een optimistische schatting is dat de kwaliteit verandert van zeer onregelmatig naar zeer regelmatig, wat in feite een verdubbeling van de ervaren frequentie inhoudt. Dit zou leiden tot 30% meer reizigerswinst. Gezien het belang van een nauwkeurige analyse van de winst door de regelmaat is een nieuwe, verfijnde analyse nodig. Om die reden is het model, zoals beschreven in hoofdstuk 3, in deze case gebruikt voor een kwantitatieve analyse.

De analyse behelst beide richtingen op deze route. Voor beide richtingen is een schatting gemaakt van de regelmaat en zijn effecten hiervan op het begin van het gemeenschappelijk traject. De data van de huidige verdeling wat betreft stiptheidsafwijking op de haltes zijn afkomstig van het monitoringprogramma TRITAPT [20]. Voor de nieuwe tramlijn 1K is aangenomen dat de stiptheid maximaal is. Tabel 1 en 2 laten de resultaten zien van beide

richtingen voor de twee spitsperioden (voor een uitgebreidere analyse zie [21]). Deze tabellen laten de huidige aanbodkenmerken, frequentie en afstemming, zien evenals de resulterende kwaliteitskenmerken: wachttijd, (verandering in) ervaren frequentie en de verwachte verandering in vervoervraag.

Tabel 1: Effect op regelmaat en vervoerwaarde op de Koninginnegracht van Den Haag Centraal naar Scheveningen

	Ochtendspits (7-9)		Avondspits (16-18)	
	Basis	Voorstel	Basis	Voorstel
Frequentie (lijn 1/lijn 9)	6/6	6/6	6/5	6/6
Afstemming	Ja	Ja	Nee	Ja
PRDM [%]	56	46	63*	46
Verwachte wachttijd [min]	3,3	3,0	3,7	3,0
Ervaren frequentie [trams/uur]	9,1	9,9	8,1	9,9
Verandering in frequentie [%]	+8		+22	
Verandering in vervoervraag [%]	+3		+8	

*Geschat op basis van het verwachte interval en zijn variantie

Tabel 2: Effect op regelmaat en vervoerwaarde op de Koninginnegracht van Scheveningen naar Den Haag Centraal

	Ochtendspits (7-9)		Avondspits (16-18)	
	Basis	Voorstel	Basis	Voorstel
Frequentie (lijn 1/lijn 9)	6/6	6/6	6/5	6/6
Afstemming	Nee	Ja	Nee	Ja
PRDM [%]	58	20	60*	20
Verwachte wachttijd [min]	3,3	2,6	3,6	2,6
Ervaren frequentie [trams/uur]	9,0	11,5	8,3	11,5
Verandering in frequentie [%]	+29		+38	
Verandering in vervoervraag [%]	+10		+14	

* Geschat op basis van het verwachte interval en zijn variantie

In tabel 1 is te zien dat de regelmaat in de richting Scheveningen slecht blijft: de PRDM wordt geschat op 46%. Hierdoor blijft de verandering van de ervaren frequentie en

vervoervraag klein. Dit wordt veroorzaakt door de grote onregelmaat van lijn 1 op het moment van arriveren op Centraal station. De voorgestelde netwerkveranderingen hebben geen invloed op de regelmaat tussen Delft en Centraal station: deze blijft onveranderd. Deze onregelmaat sluit een verbetering van de regelmaat op de Koninginnegracht door de vervanging van lijn 9 door 1K bijna uit.

In de andere richting (tabel 2) is de verwachte regelmaat wel redelijk goed: de PRDM is 20%. In deze richting zijn de verandering in ervaren frequentie en vervoervraag dan ook wel significant: 38% resp., 14%. Het grootste verschil ontstaat op het moment dat afstemming wordt ingevoerd.

De verschillen tussen de twee richtingen laten twee interessante fenomenen zien. Ten eerste, als een van de lijnen bij het begin van de route al onregelmatig is, is het niet mogelijk een substantiële verbetering in de regelmaat te krijgen door de introductie van een versterkingsdienst op een deel van de route. In dat geval is het zinniger maatregelen te nemen om de regelmaat van de oorspronkelijke lijnen te verbeteren. Ten tweede, de uitkomsten voor de richting naar Centraal Station laten zien dat de referentie situatie minder slecht is, dan was aangenomen. Het effect van de verbeterde regelmaat is dan ook minder groot dan oorspronkelijk werd aangenomen.

De verandering in vervoervraag geschat met het model is 9%, drie keer minder dan de grove schatting van 30%! Deze analyse laat dus duidelijk zien dat een kwantitatieve analyse onmisbaar is bij de beoordeling van dit soort netwerkveranderingen.

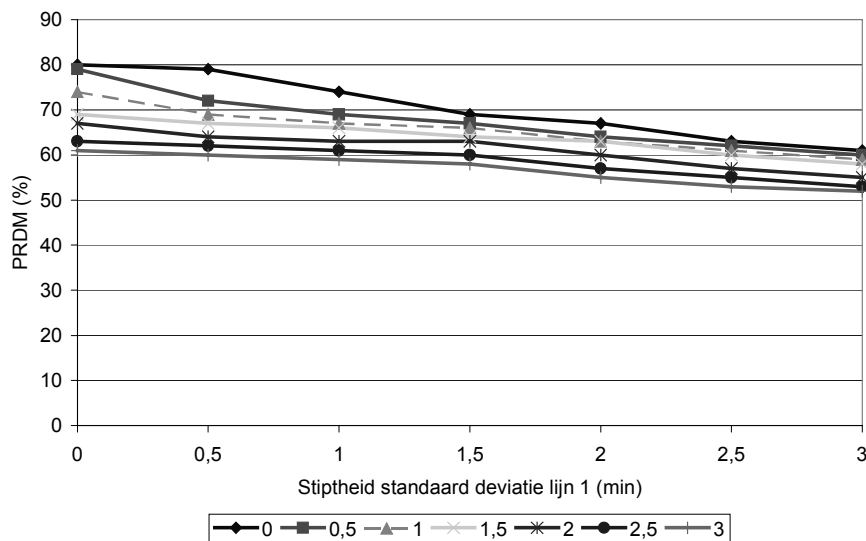
5 Quick scan

Op het moment van het ontwerp van openbaar vervoer netwerken is het interessant om een indicatie te hebben, die aangeeft of het combineren van (delen) van lijnen een positieve bijdrage levert voor de reiziger. Dit zou mogelijk moeten zijn zonder een gedetailleerde analyse te hoeven maken, zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven. Dit is relevant als parallelle lijnen of versterkingsdiensten worden bekeken. Eveneens wanneer men van plan is vrije banen te introduceren voor meerdere lijnen.

Om bovenstaande redenen is het model gebruikt om grafieken te maken die gebruikt kunnen worden als een quick scan voor de beoordeling van de regelmaat van twee lijnen op een gemeenschappelijk traject, met of zonder afstemming. De grafieken zijn gebaseerd op de standaard deviatie van de stiptheid van elke lijn. De analyse is gemaakt voor de situatie van

twee lijnen met elk een frequentie van 6 voertuigen/uur. In het geval dat er afgestemd wordt, rijden de voertuigen elk om de 5 minuten. In de niet-afgestemde situatie vertrekt de ene lijn telkens 1 min. na de andere.

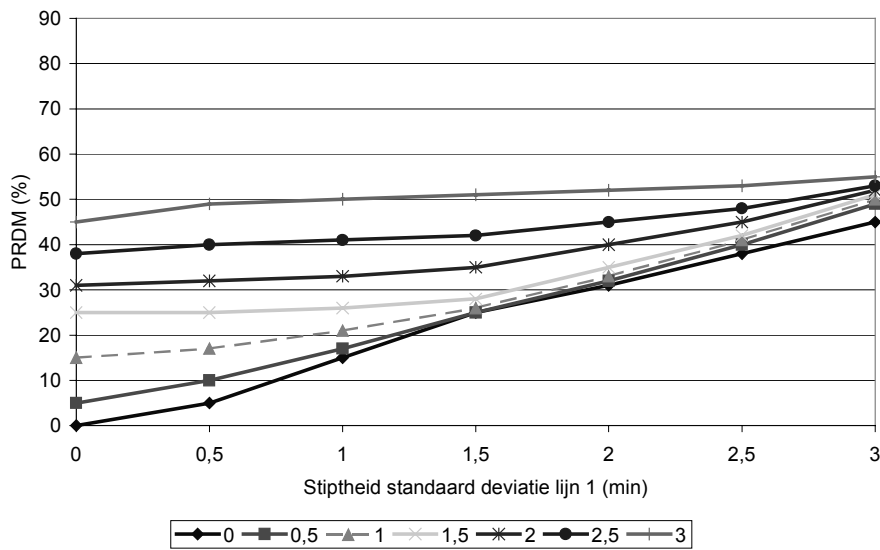
Figuur 5 laat de regelmaat zien als functie van de standaard deviatie in de stiptheid van twee lijnen in het geval er niet afgestemd wordt. Op de x-as staat de standaard deviatie van de stiptheid van de eerste lijn; de verschillende lijnen komen overeen met die van de andere lijn. Op de y-as staat de regelmaat uitgedrukt als PRDM.



Figuur 5: Onregelmaat als functie van de stiptheidsafwijking van twee lijnen in een onafgestemde situatie

Te zien is dat als beide lijnen erg stipt zijn, de gemeenschappelijke regelmaat slecht is (80%). Het is zelfs zo dat een grotere afwijking van de stiptheid leidt tot een grotere regelmaat, de beste waarde is 52%.

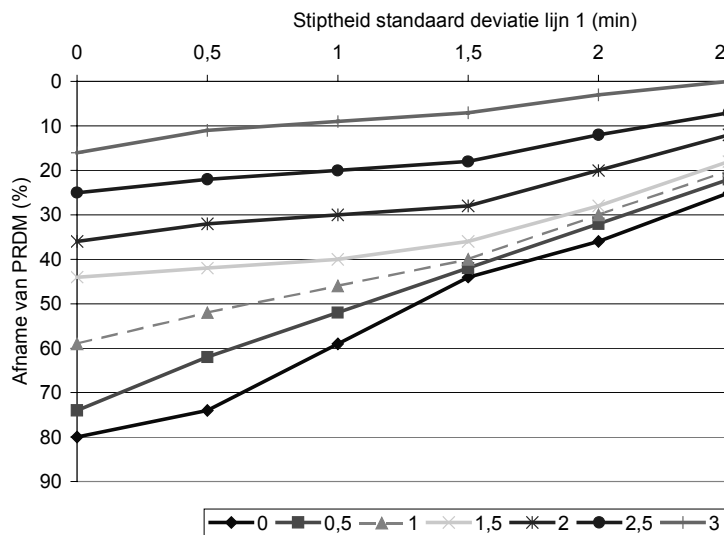
Wanneer de figuur wordt vergeleken met de situatie waarin wel wordt afgestemd (figuur 6) is te zien dat afstemmen tot een veel betere regelmaat leidt.



Figuur 6: Onregelmaat als functie van de stiptheidsafwijking van twee lijnen in een afgestemde situatie

In het geval van stipte lijnen is de regelmaat perfect (100%). Dit neemt echter af met een slechtere stiptheid tot een waarde van 55%.

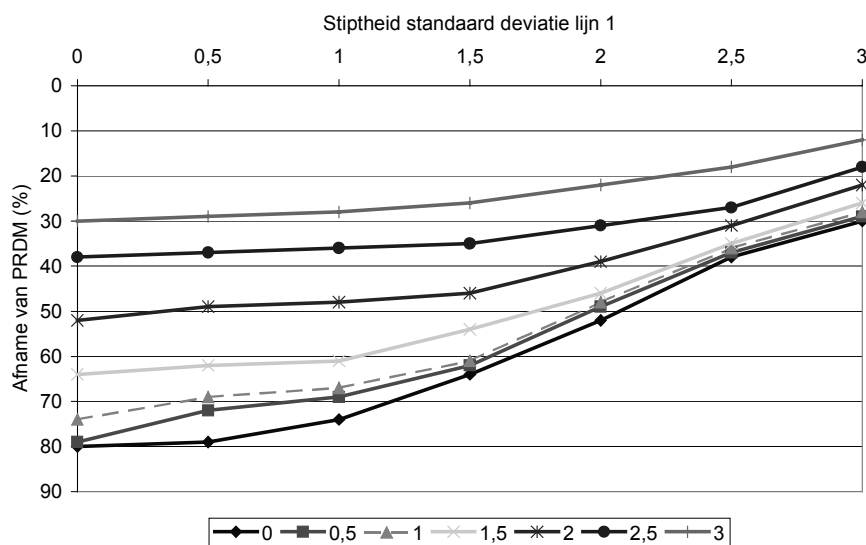
Deze grafieken kunnen gebruikt worden voor het schatten van het effect van afstemmen of voor het terugbrengen van de spreiding in de stiptheidsafwijking. Figuur 7 laat de afname van de PRDM zien als gevolg van de introductie van afstemming.



Figuur 7: Afname van de onregelmaat bij de introductie van afstemming als functie van de stiptheidsafwijking van twee lijnen

In deze figuur is te zien dat het effect van afstemmen bij niet-stijpe lijnen een beperkt of zelfs geen effect heeft. Voor lijnen met een gemiddelde stiptheidsafwijking (standaard deviatie van 1,5 min.) kan de onregelmaat met zo'n 40% teruggebracht worden door afstemming. Voor zeer stijpe lijnen is de winst zelfs 80%!

Het effect van zowel het introduceren van afstemming als van het verbeteren van de punctualiteit is te zien in figuur 8.



Figuur 8: Afname van de onregelmaat bij zowel stiptheidsverbetering als introductie van afstemming als functie van de stiptheidsafwijking van twee lijnen

In deze figuur is duidelijk te zien dat er een substantiële winst te behalen valt bij niet-stijpe lijnen. De grootste verbeteringen zijn echter te behalen bij lijnen met een gemiddelde stiptheidsafwijking. De afname van de PRDM varieert tussen de 17 en 20%. Uiteraard is de winst bij lijnen die al zeer stijp zijn beperkt.

Deze grafieken kunnen ook gebruikt worden voor de case, zoals in het vorige hoofdstuk beschreven. In de oorspronkelijke situatie zijn er twee lijnen met een slechte regelmaat: de standaard deviatie is 3 min. (in de richting Scheveningen). In de nieuwe situatie blijft de stiptheid van lijn 1 onveranderd, terwijl die bij de nieuwe lijn 1K erg hoog is. Met behulp van figuur 6 is te zien dat de originele waarde voor de PRDM 55% is en dat die in de nieuwe situatie 45% wordt. Als de stiptheidsafwijking van lijn 1 vervolgens verbeterd zou worden tot een standaard deviatie van 1,5 min, leidt dit tot een PRDM van 25%. Verder is te zien dat

voor goede gezamenlijke regelmaat de afwijking in de stiptheid van de versterkingslijn niet noodzakelijk nul moet zijn. Als beide lijnen een standaard deviatie hebben van 1,5 min is de PRDM slechts 3% hoger: 28%. In dit geval levert het verbeteren van de stiptheid van lijn 1 meer op dan het introduceren van een versterkingsdienst.

6 Conclusie

Deze paper beschrijft een model dat een schatting mogelijk maakt van het effect van netwerk veranderingen op de regelmaat op een route en de vervoervraag. Onderwerpen die geanalyseerd kunnen worden, zijn het combineren van (delen van) lijnen op dezelfde route en het introduceren van versterkingsdiensten. Het model maakt gebruik van actuele data van de stiptheid van het vervoerssysteem of van schattingen. Het model kan op twee manieren gebruikt worden. Ten eerste is uit de case studie gebleken dat het gebruik van het model tot realistischere schattingen leidt dan de huidige, kwalitatieve methode: de realistischere schatting leidde tot een drie keer lagere verandering in vervoervraag. Ten tweede is er een serie van grafieken gemaakt die gebruikt kan worden voor een quick scan bij veranderingen in het netwerk. Deze grafieken geven snel inzicht in de verwachte regelmaat bij het verbeteren van de regelmaat of bij het introduceren van afstemming.

Het model focust zich op het effect van regelmaat op de vervoervraag. Veranderingen in de regelmaat hebben ook invloed op de efficiëntie van inzet van middelen, wat de kosten beïnvloedt. Het model kan in de toekomst uitgebreid worden om de effecten op de efficiëntie mee te nemen.

Bronnen

1. Muller Th.H.J., Furth P.G.(2000), Integrating bus service planning with analysis, operational control and performance monitoring, ITS 10th conference proceedings, Washington, D.C.
2. Muller Th.H.J., Furth P.G.(2000), Conditional bus priority at signalized intersections: better service with less traffic disruption, Transportation Research Record no. 1731, p. 23-30, Transportation Research Board, Washington, D.C.
3. Osuna E.E., Newell G.F.(1972), Control strategies for an idealized public transport system, Transportation Science, Vol.6 (1), p.52-72

4. Chowdhury S., Chien S. (2001), Dynamic vehicle dispatching at intermodal transfer station, Transportation Research Board 80th annual meeting, Washington, D.C.
5. Fu L., Liu Q. (2003), A real time optimization for dynamic scheduling of transit operations, Transportation Research Board 82th annual meeting, Washington, D.C.
6. Carey M. (1998), Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response, Transportation Research B, Vol. 32, No. 5, p. 329-342
7. Israeli Y., A. Ceder (1996), Public transportation assignment with passenger strategies for overlapping route choice, Lesort J.B., Transportation and Traffic Theory, Elsevier Science, Amsterdam
8. Barnett A. (1974), On controlling randomness in transit operations, Transportation Science, Vol. 8, no.2; p. 102-116
9. Hakkesteegt P. en Muller Th.H.J. (1981), Onderzoeksproject regelmaatsbevordering, Verkeerskundige werkdagen, p.415-436
10. Centrum voor omgevings- en verkeerspsychologie (1998), Betrouwbaarheid van vervoerwijzen, Groningen
11. Bates J., Polak J. (2001), The valuation of reliability for personal travel, Transportation Research E, Vol. 37, p. 191-229
12. Bruinsma F.R., Peeters P., Rietveld P., Vuuren D.J. van (1999), Betrouwbaarheid van openbaar vervoer ketens, Tijdschrift Vervoerwetenschap 35, p. 93-111
13. O'Flaherty C.A., Mangan D.O.(1970), Bus passengers waiting time in central areas, Traffic Engineering Cont. 11, p.419-421,
14. Seddon P.A., Day M.P.(1974), Bus passengers waiting times in greater Manchester, Traffic Engineering Cont. 15, p. 422-445
15. Heap R.C., Thomas T.H. (1976), The modelling of platooning tendencies in public transport, Traffic Engineering and Control, Vol. 8 (9), p.360-362
16. Welding P.I. (1957), The instability of a close interval service, Operational Research Quarterly, Vol. 8, no.3, p.133-148
17. Van der Waard J. (1988), The relative importance of public transport trip time attributes in route choice, PTRC 1988, London
18. Wardman M. (2001), Public transport values of time, Working paper 564, Institute of Transport Studies, University of Leeds, Leeds
19. Bureau Goudappel Coffeng (1987), Modal split onderzoek in gemeente 's-Gravenhage

20. TU Delft (1997-2002), TRIp Time Analysis in Public Transport (TRITAPT), Computer application, Delft
21. Oort N. van (2003), Invloed van dienstregeling en dienstuitvoering op ontwerp lijnennet, TU Delft/HTM Den Haag (Afstudeerscriptie)