

Betrouwbaar OV begint met goed plannen

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

Transport & Planning

Postbus 5048

2600 GA Delft

Telefoon: 015-2784033

Fax: 015-2783179

E-mail: R.vanNes@tudelft.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2007,

22 en 23 november 2007, Antwerpen

Inhoudopgave

1. Inleiding	4
1.1 Leeswijzer	5
2. De invloed van de dienstregeling op de betrouwbaarheid	6
3. Model voor analyse effecten rijtijdkeuze	10
3.1 Berekening extra wachttijd	10
3.1.1 Model zonder vertrekregime	10
3.1.2 Model met vertrekregime	12
3.2 Berekening kans op tijd vertrekken	12
4. Analyse effecten rijtijdbepaling op extra rijtijd en kans op tijd vertrekken	13
4.1 Theoretische analyse	13
4.2 Case studie: tramlijnen in Den Haag	15
4.3 Conclusie analyse	17
5. Conclusies	18
Acknowledgements	18
Referenties	19

Samenvatting

Betrouwbaar OV begint met goed plannen

Betrouwbaarheid is een belangrijke kwaliteitsindicator van openbaar vervoer. In het stedelijk openbaar vervoer is de betrouwbaarheid niet hoog. Het onderzoek naar en toepassing ervan op betrouwbaarheidsverbetering in stedelijk OV vindt vaak plaats op het operationele niveau: het netwerk en de dienstregeling is een gegeven en betrouwbaarheid wordt alleen verbeterd door de exploitatie beter te laten passen op de planning. In deze paper is de hypothese echter is dat betrouwbaarheid ook vergroot kan worden door anders de dienstregeling te ontwerpen.

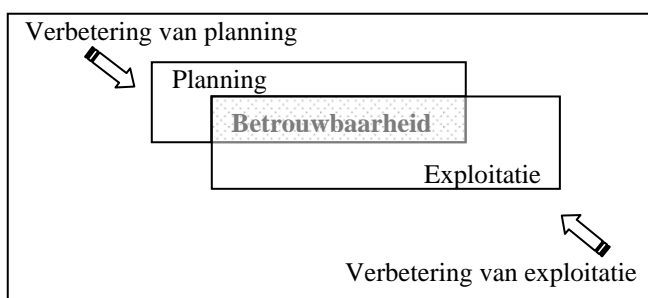
Het belangrijkste aspect voor de bepaling van de dienstregeling is de rijtijd: de tijd die nodig is om van halte naar halte te rijden. De rijtijd in stedelijk OV wordt bepaald op basis van de werkelijke rijtijden uit het verleden. De bepaling van de dienstregelingsrijtijd vindt plaats door een keuze voor een percentielwaarde uit deze verdeling werkelijke rijtijden. Binnen stedelijk openbaar vervoer wordt vaak gebruik gemaakt van hoge percentielwaarden (50-95 percentiel), opdat een haalbare dienstregeling wordt ontworpen.

In dit artikel is een analyse gemaakt van het effect van de keuze van de percentielwaarde op de extra wachttijd en dus reistijd van reizigers en de kans om aan het einde van de rit weer op tijd te kunnen vertrekken. Er is zowel een theoretische analyse als een case study uitgevoerd. Tramlijnen van HTM in Den Haag zijn onderzocht. Er blijkt dat de hoeveelheid extra reistijd minimaal is bij de 35 percentielwaarde. De extra reistijd is dan ca. 0,5-1,5 min. per reiziger. Deze is ca. 2-5 min. lager dan bij de 85 percentielwaarde, die vaak gebruikt wordt binnen stedelijk OV. Indien een vertrekregime (i.e. het voorkomen van te vroeg vertrekken vanaf een halte) wordt toegepast daalt de extra reistijd per reiziger: deze wordt ca. 0,5 minuut. In dat geval ligt het minimum bij ca. 65 percentiel. Het verschil van de 65- met de 85- en de 15-percentielwaarde is ca. 1 min. Deze analyse geeft goede handvatten voor het ontwerpen van een dienstregeling, waarbij de reistijd en betrouwbaarheid van de reiziger voorop staat: betrouwbaarheid begint immers met goed plannen.

1 Inleiding

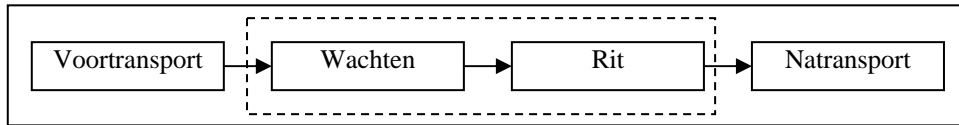
Betrouwbaarheid is een belangrijke kwaliteitsindicator van openbaar vervoer. Naast onder andere reistijd, comfort en kosten wordt de keuze om te reizen voor het openbaar vervoer door dit aspect beïnvloed, zoals beschreven in Van Oort en Van Nes (2004). In het stedelijk openbaar vervoer is de betrouwbaarheid niet hoog. Een case studie in Den Haag (Van Oort en Van Nes (2006)) laat zien dat effecten van een onbetrouwbare dienstuitvoering niet gering zijn. Dit loopt onder andere op tot een verlenging van de reistijd met 25%.

In Van Oort en Van Nes (2006) wordt gesteld dat het onderzoek naar en toepassing van betrouwbaarheidsverbetering in stedelijk OV vaak plaatsvindt op het operationele niveau: het netwerk en de dienstregeling is een gegeven en betrouwbaarheid wordt alleen verbeterd door de exploitatie beter te laten passen op de planning. Figuur 1 toont de achtergrond van betrouwbaarheid: het overeenkomen van de planning en de uitvoering.



Figuur 1: Betrouwbaarheid

De twee elementen (planning en exploitatie) moeten zoveel mogelijk met elkaar overeenkomen. Dit betekent dat oplossingen om de betrouwbaarheid te vergroten ook gezocht moeten worden binnen beide gebieden: zowel bij het dienstregelingontwerp als bij de dienstuitvoering zijn mogelijkheden om betrouwbaarheid van stedelijk OV te verhogen. Dit paper beschrijft een onderzoek naar verbeteringen van de betrouwbaarheid van stedelijk OV door het aanpassen van de dienstregeling, zowel theoretisch, als aan de hand van een case studie in Den Haag. De dienstuitvoering wordt als een gegeven beschouwd en de dienstregeling wordt hier zo goed mogelijk op aangepast met het doel de totale reistijd van de klant te minimaliseren. Figuur 2 toont de elementen van deze reistijd.



Figuur 2: Reistijdelementen en focus onderzoek

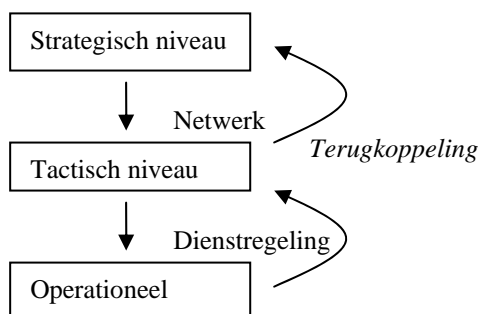
In dit onderzoek wordt gefocust op de reis vanaf arriveren op de vertrekhalte tot de aankomst op de bestemmingshalte, waarbij overstappen niet wordt meegenomen. Van belang hierbij zijn de wachttijd op de halte en de rijtijd in het voertuig. De wachttijd is afhankelijk van de waarden van de werkelijke en geplande rijtijden: deze bepalen per halte de stiptheid en dus eventuele extra wachttijd. De rijtijd wordt in dit onderzoek als onveranderd veronderstelt. Er wordt ook een variant berekend, waarin er een vertrekregime van kracht is dat te vroeg vertrekken voorkomt. Dit heeft effect op zowel wachtende reizigers op de halte als reizigers in het voertuig. Dit onderzoek maakt een analyse van periodes op de dag dat reizigers op basis van de dienstregeling op de vertrekhalte arriveren. Onderzoek toont aan dat reizigers dit doen als de frequentie lager is dan 6 à 5 keer per uur (O’Flaherty (1970) en Seddon (1974)). Voor stedelijk OV geldt dit vaak voor de periodes overdag tussen de spitsen en ’s avonds na de spits.

1.1 Leeswijzer

De opbouw van dit artikel is als volgt: Na deze inleiding gaat hoofdstuk 2 in op het belang van betrouwbaarheid en het effect van de dienstregeling hierop. Hoofdstuk 3 beschrijft het model dat is gebruikt om de effecten van de dienstregeling op de betrouwbaarheid voor reizigers te berekenen. In hoofdstuk 4 worden de uitkomsten van een theoretische analyse gegeven: hier worden verschillende inputvariabelen beschreven met hun effect. Hierna geeft hoofdstuk 5 de uitkomsten van de analyse van het effect van de dienstregeling op de betrouwbaarheid van een casestudie in Den Haag. Hoofdstuk 6 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

2. De invloed van de dienstregeling op de betrouwbaarheid

Zoals in de inleiding is geschetst is betrouwbaarheid de mate waarin planning en praktijk met elkaar overeenkomen. Op het gebied van stedelijk openbaar vervoer is er veel aandacht om deze match te verbeteren op operationeel niveau. Conditionele prioriteit en bijsturingssystemen, zie Muller en Furth (2000), Chang (2003) en Wilson(1992), zijn hier voorbeelden van. De hypothese in Van Oort en Van Nes 2006 is dat betrouwbaarheid ook vergroot kan worden in de planningsfases van OV. Figuur 3 schetst de verschillende fases van OV.



Figuur 3: Fases openbaar vervoer

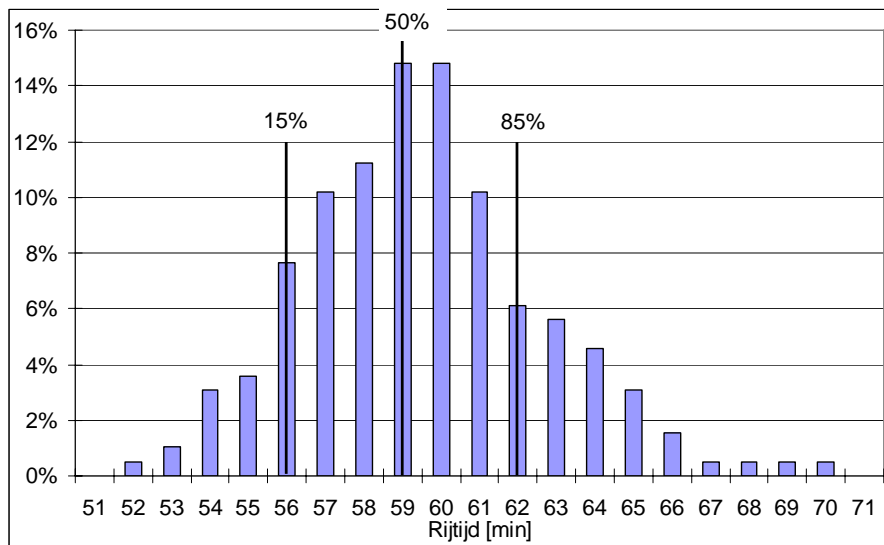
Op strategisch niveau wordt het infrastructuur- en lijnennetwerk met bijbehorende globale frequenties ontworpen waarbij op tactisch niveau vervolgens een gedetailleerde dienstregeling wordt ontworpen. Dit wordt vervolgens uitgevoerd op operationeel niveau. Door terugkoppelingen toe te passen verbetert de planning en daarmee wordt de betrouwbaarheid vergroot. Ook het maken van ex ante analyses op de planningsniveau's biedt inzicht in de effecten van ontwerpkeuzes op de betrouwbaarheid en kan het netwerkontwerp optimaliseren. Van Oort en Van Nes (2004) beschrijven een dergelijke ex ante analyse, waarmee bij het ontwerp van het netwerk reeds de effecten van afstemming van lijnen berekend kunnen worden.

In deze paper wordt gekeken naar het tactische niveau. Op dit niveau wordt de dienstregeling ontworpen.

Voor het ontwerp van een dienstregeling zijn een aantal aspecten belangrijk. Bij een gegeven netwerk wordt de frequentie bepaald: hoe vaak per uur wordt de lijndienst aangeboden. Hierbij is zowel sprake van een kwaliteitsaspect, het aantal vertrek mogelijkheden, als een capaciteitsaspect, het aantal benodigde zit- en staplaatsen om alle reizigers comfortabel te vervoeren. Een ander punt bij het ontwerpen van de dienstregeling is de afstemming met

andere lijnen op hetzelfde traject en de overstapmogelijkheden op ander OV. Dit bepaalt de precieze tijdlinging van de dienstregeling.

Het belangrijkste aspect echter voor de bepaling van de dienstregeling is de rijtijd: de tijd die nodig is om van halte naar halte te rijden. De rijtijd in stedelijk OV wordt meestal bepaald op basis van de rijtijd uit het verleden. Door deze terugkoppeling wordt een haalbare rijtijd beoogd. Figuur 4 toont een voorbeeld van gerealiseerde rijtijden van tramlijn 1 (Scheveningen-Delft, werkdagen ochtendspits, april 2007).



Figuur 4: Spreiding in rijtijd lijn 1 met percentielwaarden

Te zien is dat er spreiding bestaat in deze rijtijd. Deze wordt veroorzaakt door allerlei oorzaken, waaronder weer, overig verkeer, wisseling in reizigersaanbod, rijgedrag. Cham en Wilson (2006) geven een uitgebreide beschrijving van verschillende mogelijke bronnen. De uitdaging voor de planner is de juiste rijtijd te bepalen voor de dienstregeling. In de dienstregeling kan namelijk slechts één rijtijd gebruikt worden. Hierdoor is dus al een discrepantie te verwachten tussen planning en uitvoering: welke dienstregelingsrijtijd er ook wordt gekozen, er is altijd verschil met werkelijke, indien er geen verdere maatregelen worden genomen.

De bepaling van de dienstregelingsrijtijd vindt plaats door een keuze voor een percentielwaarde. In figuur 4 zijn de 15-, 50- en 85-percentielwaarden te zien. Binnen stedelijk openbaar vervoer wordt vaak gebruik gemaakt van hoge percentielwaarden (50-95 percentiel). Onderzoek (Muller en Knoppers) beschrijft een methode, waarbij de

85-percentielwaarde wordt aanbevolen om te hanteren in verband met de haalbaarheid van de dienstregeling.

De bepaling van de rijtijd in de dienstregeling heeft een aantal consequenties. Deze zijn, uitgesplitst naar aanbod- en vraagkenmerken:

- Aanbod

De kans om op tijd te vertrekken vanaf het beginpunt

Als veel voertuigen de rijtijd niet halen en dus te laat arriveren op het eindpunt kan de volgende rit in gevaar komen. Dit hangt af van de vertraging en de lengte van de keertijd aan het eindpunt.

Haalbaarheid voor de bestuurder

Hoe hoger de geplande rijtijd, hoe groter de kans dat de bestuurder de rijtijd haalt. Dit kan echter ook betekenen dat er te vroeg wordt gereden.

Wageninzet

Het aantal wagens dat nodig is om de dienstregeling te rijden wordt bepaald door frequentie en omlooptijd in de dienstregeling. Deze laatste bestaat uit rijtijd en stationnement aan het eindpunt. Indien de omlooptijd korter is, kan één voertuig meer omlopen rijden en is de voertuigbehoefte kleiner. Gezien het discrete karakter hiervan hoeft dit echter niet altijd tot wagenbesparing te leiden, halve voertuigen kunnen niet ingezet worden.

Mocht de gekozen omlooptijd in de praktijk niet haalbaar blijken dan zal de frequentie en/of het stationnement bij een gelijkblijvend aantal voertuigen afnemen.

- Vraag

De reistijd van de reiziger

Zoals figuur 2 laat zien, bestaat de reis van een klant uit meer dan alleen een rit. Ook wachten is een onderdeel van de reis. In het geval van een onstipte uitvoering wordt de wachttijd op de halte gemiddeld langer. Bij te vroeg rijden kan het zelfs voorkomen dat het voertuig gemist wordt en er een geheel interval gewacht moet worden. De keuze voor een percentielwaarde voor de rijtijd heeft invloed op de stiptheid en dus op de reistijd van de reiziger.

De keuze van de juiste rijtijd is een bron van veel discussie binnen vervoerbedrijven.

Bovenstaande effecten laten zien dat er veel afhangt van de rijtijdkeuze. In dit paper wordt een kwantitatieve analyse beschreven van de effecten van deze keuze. Hierbij worden twee effecten geanalyseerd: de extra reistijd voor de reiziger en de kans om op tijd te vertrekken.

Bij de analyse van de bepaling van de rijtijd zijn er de volgende inputvariabelen:

- Spreiding: Hoe groter de spreiding is, hoe groter de effecten op de stiptheid en de haalbaarheid om op tijd aan te komen op het eindpunt.
- Frequentie: Hoe lager de frequentie is, hoe groter de effecten van te vroeg rijden. Reizigers die een voertuig missen dat te vroeg is, moeten immers een heel interval wachten.
- Aantal instappers: De plaatsen waar reizigers instappen zijn belangrijk. Zodra mensen in het voertuig zitten is de genoemde tijd op de halte voor hen niet meer relevant.
- Stationnement: De tijd aan het eind van de rit die gebruikt kan worden om de vertragingen in de terugrichting op te vangen. Een ander component hiervan is de pauze van de bestuurder. Deze wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

In deze studie wordt gekeken naar de situatie dat de rijtijd gelijk blijft en alleen de rijtijd in de dienstregeling verandert. Dit heeft consequenties voor het aankomstpatroon van reizigers en daarmee ook voor de wachttijd. Er wordt ook gekeken naar een variant, waarbij een vertrekregime van toepassing is. In dat geval vertrekken voertuigen niet te vroeg van de halte. Zoals eerder geschetst is, zijn de effecten van te vroeg rijden groot, namelijk een wachttijdverlenging van een heel interval. In deze situatie is ook de volgende inputvariabele van belang:

- Reizigersbezetting: doordat voertuigen niet te vroeg mogen vertrekken, wachten ze de tijd af op de halte. Dit heeft consequenties voor de reizigers in het voertuig: deze worden geconfronteerd met extra wachttijd en dus extra reistijd.

3. Model voor analyse effecten rijtijdkeuze

Voor de analyse van het effect van de rijtijdvaststelling op de stiptheid en daarmee de reistijd van reizigers en kans om op tijd vertrekken is een model ontwikkeld. In dit hoofdstuk wordt dit model beschreven en wordt daarnaast de gebruikte data behandeld

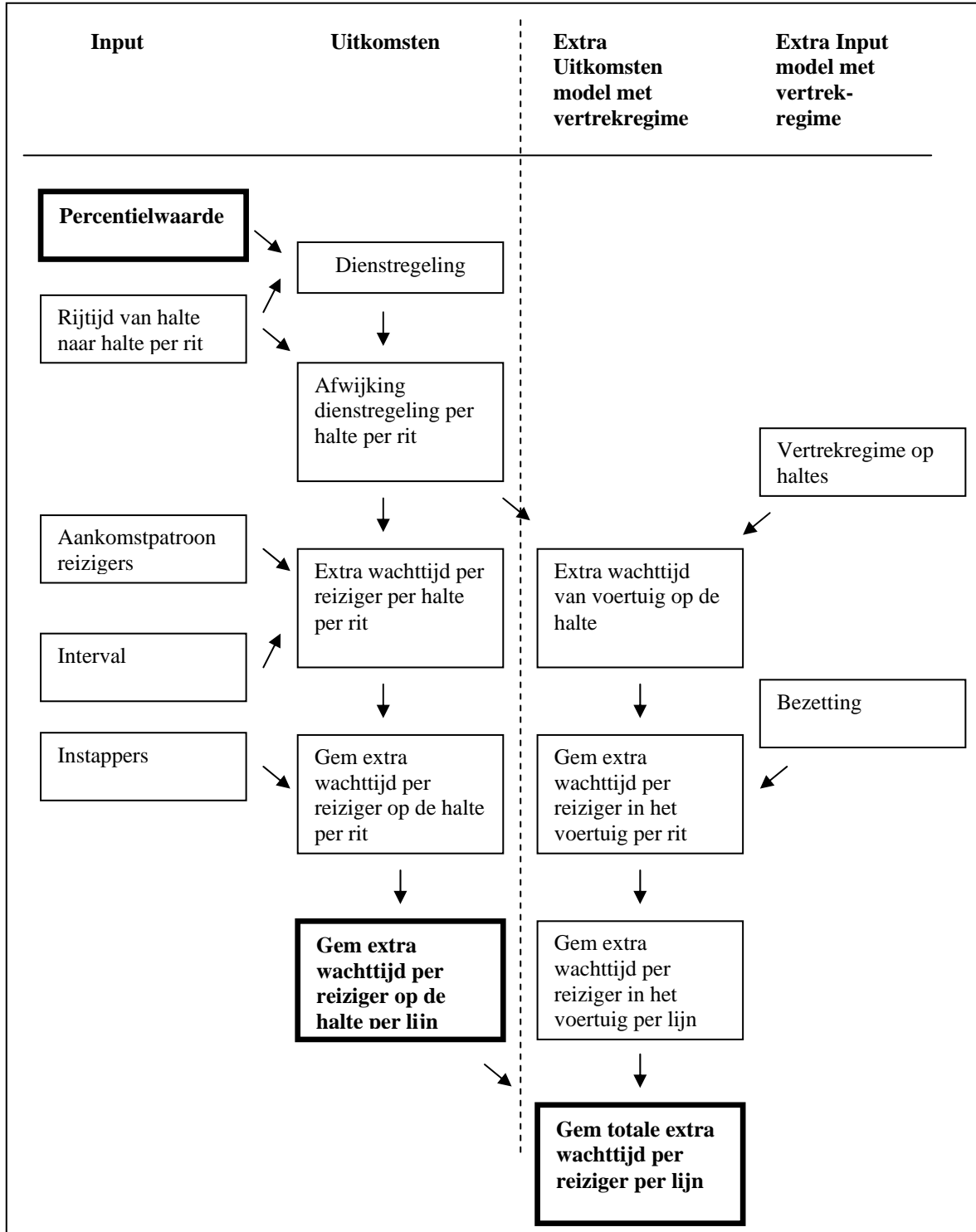
3.1 Berekening extra wachttijd

In figuur 5 is schematisch de werking van het model weergegeven. In het linker deel is het gewone model te zien. In het rechter deel is de variant te zien, waarmee ook de effecten berekend worden indien er een vertrekregime wordt gehandhaafd, waardoor te vroeg vertrekken wordt voorkomen.

3.1.1 Model zonder vertrekregime

De eerste stap in het model is het vaststellen van de dienstregeling. De beslissingsvariabele is de percentielwaarde. Het vaststellen vindt plaats op basis van actuele rijtijdgegevens uit het verleden. Samen met de keuze voor een percentielwaarde wordt hiermee de dienstregeling vastgesteld. Vervolgens wordt deze dienstregeling vergeleken met de stochastische rijtijdgegevens. Hierbij is de aanname dat de dienstuitvoering niet verandert als gevolg van de dienstregeling.

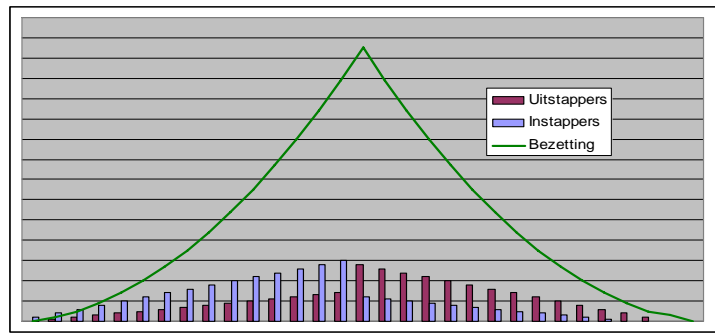
Nadat de afwijking van de dienstregeling per halte per rit is vastgesteld, wordt de extra wachttijd per halte per rit vastgesteld. Dit hangt af van het aankomstpatroon van reizigers, dat aangenomen wordt binnen een bandbreedte. Indien het voertuig binnen deze bandbreedte vertrekt is er geen sprake van extra reistijd. Als het voertuig vroeger vertrekt dan wordt de extra wachttijd de intervaltijd. Voor te late voertuigen wordt de vertraging vanaf de maximumwaarde van de bandbreedte als vertraging meegerekend.



Figuur 5: Model berekening effecten rijtijdbepaling

Met de verdeling van instappers en bezetting over de lijn (hiervoor is een aanname gedaan, welke in figuur 6 te zien is)

wordt hierna de gemiddelde extra wachttijd per rit over de gehele lijn berekend. Veel instappers op haltes waar veel



Figuur 6: Reizigersverdeling theoretische lijn

afwijking van de dienstregeling voorkomt heeft bijvoorbeeld een groot effect. Als dit berekend is kan het gemiddelde van alle ritten samen worden berekend. Dit is de extra wachttijd en dus extra reistijd per reiziger per lijn. In dit model wordt niet gerekend met wegingen voor verschillende reistijdelementen.

3.1.2 Model met vertrekregime

In een variant van het model wordt de rijtijd wel beïnvloed door de dienstregeling: er wordt dan niet meer te vroeg vertrokken van elke halte: voertuigen wachten hun tijd af op de halte als ze te vroeg arriveren. Dit betekent een toename in de rijtijd. Dit is ook te zien in figuur 5. In deze variant worden alle negatieve stiptheidswaarden op 0 nul gezet (het voertuig wacht op zijn vertrektijd). Deze wachttijd wordt apart geregistreerd. Door het voertuig te laten wachten wordt de negatieve stiptheid verder op de lijn ook positief beïnvloed. In deze variant bestaat de extra wachttijd dus uit twee elementen: de wachttijd op de halte voor instappende reizigers en de wachttijd in het voertuig voor doorgaande reizigers.

3.2 Berekening kans op tijd vertrekken

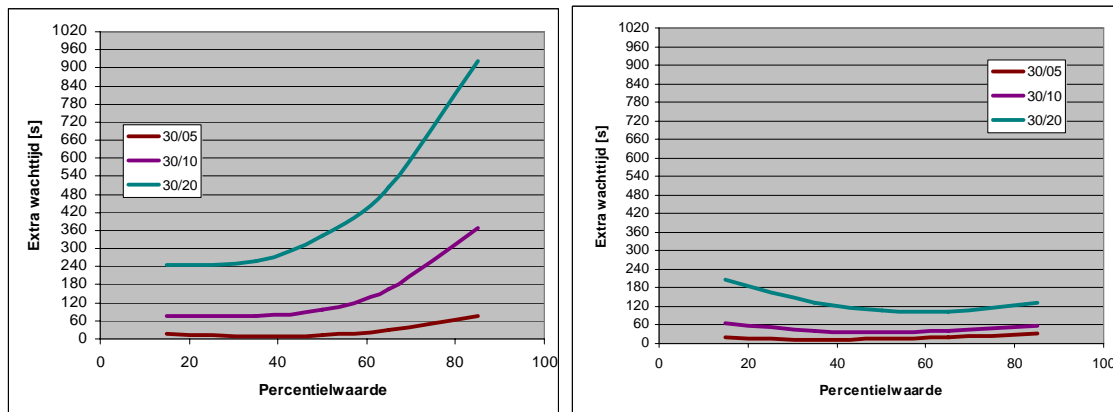
Naast de extra reistijd voor reizigers wordt ook de kans om op tijd te vertrekken vanaf de eerste halte beïnvloed door de keuze voor een percentielwaarde. Ook dat wordt berekend in het model. Hierbij wordt gekeken naar de aankomstvertraging op de laatste halte in relatie met het stationnement. Het verschil van beide geeft de vertrekvertraging aan of de resterende stationnementstijd. Dit wordt per rit berekend, waarna vervolgens over alle ritten de kans wordt berekend.

4. Analyse effecten rijtijdbepaling op extra rijtijd en kans op tijd vertrekken

In dit hoofdstuk worden zowel uitkomsten van een theoretische analyse als een praktische case studie gegeven. Het in het vorige hoofdstuk beschreven model is gebruikt om de effecten te berekenen van de keuze voor de percentielwaarde voor rijtijdvaststelling. Voor beide situaties is tevens gekeken naar de effecten van een wachregime: het niet te vroeg vertrekken van voertuigen vanaf elke halte. De bandbreedte voor de aankomst van reizigers is aangenomen op -2 minuten tot +1 minuut.

4.1 Theoretische analyse

Voor de theoretische analyse is gebruik gemaakt van een theoretische lijn met een rijtijd van 30 min en 30 haltes. Als variabelen voor de rijtijd is de standaard deviatie gebruikt, waarbij de aanname is dat de rijtijd normaal verdeeld is. Voor verschillende percentielwaarden zijn drie verschillende waarden voor standaard deviatie gebruikt: 5%, 10% en 20% van de rijtijd. De resultaten van de analyse voor de situatie dat de rijtijd niet wordt beïnvloed door de dienstregeling zijn te zien in figuur 7 (links). Voor drie verschillende rijtijden is het effect van de percentielwaarde te zien op de extra wachttijd per reiziger. Te zien is dat de gemiddelde extra reistijd per reiziger toeneemt met de spreiding in de rijtijd en ook met een hogere percentielwaarde. Bij een percentielwaarde van ca. 35 of lager hoort een minimale extra reistijd. Deze ligt, afhankelijk van de spreiding in de rijtijd tussen 0,5 en 4 min. Het verschil tussen de 85 en 35 percentiel is tussen de 0,5 en 11 min.

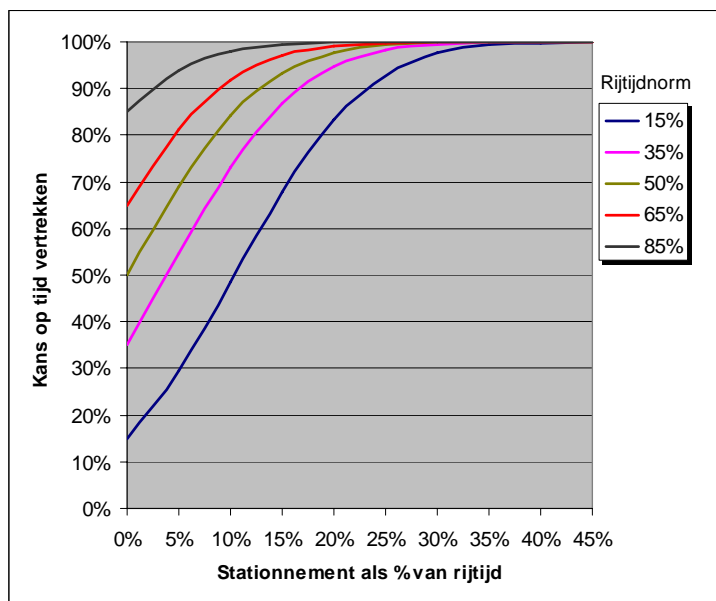


Figuur 7: Gemiddelde extra wachttijd per reiziger zonder (links) en met (rechts) regime ter voorkoming te vroeg vertrekken (rijtijd 30 min en standaard deviatie 5, 10 en 20%)

In de situatie dat er voor gekozen wordt om voertuigen niet te vroeg van een halte te laten vertrekken (zoals bijv. bij RandstadRail in Den Haag (zie Van Oort en Post (2005)) verandert

de situatie, zie figuur 7 (rechts). De getoonde extra wachttijd is een optelsom van de extra wachttijd op de halte voor instappers en in het voertuig voor doorgaande reizigers. Deze figuur laat zien dat de gemiddelde extra reistijd per reiziger sterk afneemt door het regime. Het optimum ligt ook anders: de 65 percentielwaarde komt overeen met de minimum extra reistijd en ligt tussen de 0,5 en 2 min.

In figuur 8 is te zien wat het effect is van de rijtijdbepaling op de kans om op tijd te vertrekken voor een theoretische lijn met 30 min. rijtijd en 10% standaard deviatie. Deze kans neemt zowel toe met een toename van het stationnement als met de percentielwaarde. Voor de kans op een stipt vertrek van 100% is een stationnement van tussen de 15% en 35% van de rijtijd. In deze berekening is er geen vertrekregime van toepassing. De kans om op tijd te vertrekken vanaf het beginpunt zal kleiner zijn door het niet te vroeg vertrekken van voertuigen. Te vroege voertuigen hebben immers ruimte voor de opvang van verstoringen later op de lijn. Door deze weg te nemen wordt de kans kleiner dat ze bij een verstoring deze nog op kunnen vangen.



Figuur 8: De kans om op tijd te vertrekken als functie van de percentielwaarde en het stationnement

Bij een lagere percentielwaarde is meer stationnement nodig om dezelfde vertrek kans voor de retourrit te creëren. Deze wordt echter gewonnen door een kortere rijtijd in de dienstregeling. Op deze manier vindt er een herverdeling van de omlooptijd plaats: van rijtijd naar stationnement. De totale omlooptijd blijft dan hetzelfde.

4.2 Case studie: tramlijnen in Den Haag

Naast een theoretische studie is er ook een case studie gedaan naar de effecten van rijtijdbepaling. Hiervoor zijn vier tramlijnen van HTM in Den Haag onderzocht, met verschillende lengtes en spreiding in rijtijd. Werkelijke rijtijden zijn als input gebruikt voor het model. In tabel 1 staan de belangrijkste kenmerken van deze lijnen.

Tabel 1: Kenmerken lijnen case studie

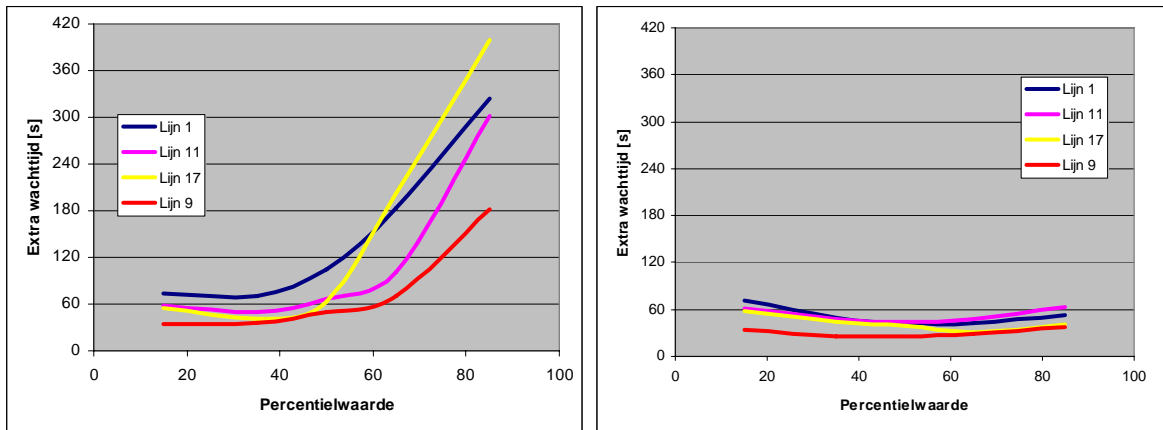
Lijn	Van	Naar	Interval	Lengte	Rijtijd	Standaard deviatie	Standaard deviatie relatief ²
1	Scheveningen	Delft	15 min	20,0 km	60 min	3 min	5%
9	Vrederust	Scheveningen	15 min	13,7 km	40 min	4 min	10%
11	Scheveningen	Den Haag HS	15 min	8,1 km	22 min	2 min	9%
17	Statenkwartier	Wateringen	15 min	16,4 km	42 min	3 min	7%

werkdagen april 2007 tussen 18:00 en 20:00 uur

² Als percentage van de gemiddelde rijtijd

Voor deze lijnen is gebruik gemaakt van data uit het programma TRITAPT (Muller en Knoppers (2005)) dat HTM gebruikt voor het monitoren van tram en buslijnen. Voor de analyse is gebruik gemaakt van data uit de periode april 2007, waarbij de ritten op werkdagen van 18 uur tot 20 uur meegenomen. In deze periode waren de intervallen 15 minuten.

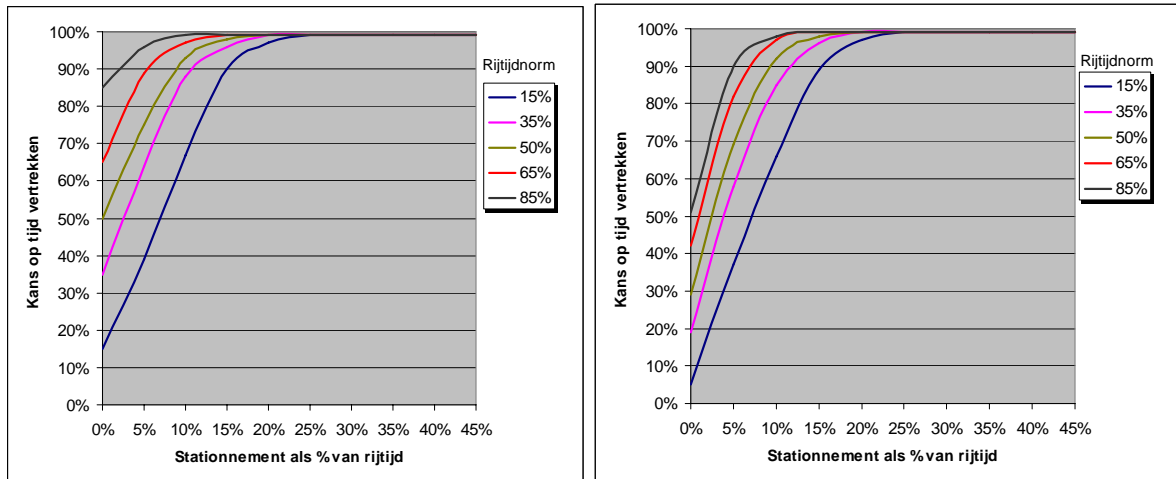
Figuur 9 (links) geeft het effect weer van de keuze voor percentielwaarde op de gemiddelde extra reistijd per reiziger voor de vier verschillende lijnen. Te zien is dat deze sterk toeneemt na bij een grotere percentielwaarde dan 50. Het minimum ligt ongeveer op de 35 percentielwaarde met een waarde van 0,5-1,5 min. Dit komt overeen met de theoretische berekening. De verschillen tussen de percentielwaarden zijn vrij groot. Tussen de 85 en 35 percentiel zit een verschil van 2 tot 5 min extra reistijd per reiziger.



Figuur 9: Gemiddelde extra wachttijd per reiziger zonder (links) en met (rechts) regime ter voorkoming te vroeg vertrekken

Ook de situatie met een vertekregime (figuur 9 (rechts)) komt goed overeen met de theoretische analyse. De gemiddelde extra wachttijd per reiziger ligt lager dan zonder de toepassing van een vertekregime. Eveneens ligt het optimum hier bij de 65 percentielwaarde: de extra wachttijd is dan ca. 0,5 minuut. De verschillen tussen de percentielen zijn hier kleiner: ongeveer 0,5 minuut tussen het minimum en maximum.

In figuur 10 is voor zowel de situatie zonder als met een vertekregime de kans om op tijd te vertrekken vanaf de beginhalte weergegeven voor lijn 11. Het verschil tussen beiden is het grootst bij lage waarden voor het stationnement. Naar mate deze toeneemt komen beide vertrekken dicht bij elkaar.



Figuur 10: De kans om op tijd te vertrekken als functie van de percentielwaarde en het stationnement voor lijn 11 zonder (links) en met (rechts) vertrekregime

Evenals de bij de theoretische verdeling zorgt een herverdeling van de omlooptijd voor een gelijke vertrek kans. De totale omlooptijd blijft hetzelfde, maar dienstregelingsrijtijd en stationnement worden uitgewisseld.

4.3 Conclusies analyse

In dit hoofdstuk is een analyse gemaakt van de effecten van rijtijdbepaling op de betrouwbaarheid. Zowel een analyse van een theoretische lijn als een case studie van tramlijnen in Den Haag laten zien dat bij de keuze voor een 35 percentielwaarde voor de rijtijd de extra reistijd per reiziger minimaal is. Verschillen tussen percentielen kunnen oplopen tot 5 min extra reistijd per reiziger. Dit wordt met name veroorzaakt door het te vroeg rijden en het wachten van een heel interval dat daarmee wordt veroorzaakt. In het geval van de toepassing van een vertrekregime wordt dit te vroeg rijden voorkomen. Hierdoor wordt een sterke reductie bereikt in extra reistijd, die in dit geval bestaat uit de som van extra reistijd op de halte en in het voertuig. Het optimum ligt dan op de 65 percentielwaarde. De verschillen tussen de percentielwaarden zijn hier kleiner: ca. 1 minuut.

Bij de handhaving van een vertrekregime ontstaat er een trade off tussen snelheid van het voertuig en de betrouwbaarheid. Een lage percentielwaarde betekent veel vertraging en een hoge waarde betekent veel wachten op de halte in verband met een te vroeg aankomst. Dit laat zien dat de hoogste snelheid op papier (lage percentielwaarde) niet per definitie leidt tot de hoogste snelheid voor de reiziger (laagste extra reistijd).

5. Conclusies

Betrouwbaarheid is een belangrijke indicator voor kwaliteit van stedelijk openbaar vervoer. Momenteel is met name aandacht voor verbeteringen in de operationele sfeer: bijvoorbeeld prioriteit bij VRI's en bijsturing door de Centrale Verkeersleiding. Deze paper beschrijft een onderzoek naar de invloed van het ontwerp van de dienstregeling op de betrouwbaarheid bij lage frequenties. In het geval van lage frequenties kan het aankomstpatroon van reizigers op de halte beïnvloed worden, waardoor de wachttijd verandert. Met name te vroege doorkomsttijden zijn van grote invloed: deze leiden tot extra wachttijd van een heel interval. Er is een analyse gemaakt van het effect van de rijtijdvaststelling op de extra wachttijd en dus reistijd van reizigers en de kans om aan het einde van de rit weer op tijd te kunnen vertrekken. Er is zowel een theoretische analyse als een case study gedaan. Tramlijnen van HTM in Den Haag zijn onderzocht en sluiten goed aan bij de gekozen theoretische lijn. Er blijkt dat de hoeveelheid extra reistijd minimaal is bij de 35 percentielwaarde. De extra reistijd is dan ca. 0,5-1,5 minuut per reiziger. Deze is ca. 2-5 min. lager dan bij de 85 percentielwaarde, die vaak gebruikt wordt binnen stedelijk OV. Indien een vertekregime wordt toegepast daalt de extra reistijd per reiziger sterk door het voorkomen van te vroege vertrekken (en bijbehorende wachttijden van het interval): deze wordt ca. 0,5 minuut. In dat geval ligt het minimum bij ca. 65 percentiel. Het verschil van de 65 met de 85 en de 15-percentielwaarde is ca. 1 min. Dit laat zien dat de hoogste snelheid op papier (lage percentielwaarde en korte rijtijd in de dienstregeling) niet per definitie leidt tot de hoogste snelheid voor de reiziger (laagste extra reistijd).

Op basis van dit onderzoek wordt aanbevolen de analyse op het gebied van rijtijdbepaling uit te breiden. Naast de analyse van het effect van de reizigersverdeling over de lijn verdient ook het toepassen van een vertekregime, waarbij slechts op een aantal belangrijke haltes de tijd wordt afgewacht, de aanbeveling om te onderzoeken.

Acknowledgements

Dit onderzoek is uitgevoerd met steun van en HTM Personenvervoer, het stedelijk OV bedrijf van Den Haag, het Transport Research Centre Delft en de TU Delft, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, afdeling Transport & Planning.

Referenties

- Cham, L.C., Wilson, N.H.M. (2006) *Understanding bus service reliability, A practical framework using AVL/APC data*, Washington DC
- Chang, J. et al. (2003), *Evaluation of service reliability impacts of traffic signal priority strategies for bus transit*, in: Transportation Research Record no. 1841, Washington D.C. pp 23-31
- O'Flaherty C.A., Mangan D.O. (1970) *Bus passengers waiting time in central areas*, in: Traffic Engineering Cont. 11, pp.419-421
- Furth, P.G., Muller, Th.H.J. (2006) *Reliability-based timepoint and recovery schedules for long headway transit routes*, bijdrage CASPT conferentie Leeds
- Muller Th.H.J., Furth P.G.(2000), *Conditional bus priority at signalized intersections: better service with less traffic disruption*, in: Transportation Research Record no. 1731, Washington D.C pp. 23-30
- Muller, Th.H.J., Knoppers P., *Modal shift: The objective of improving transit quality. The contribution of off-line trip information to planning, operational control, process management and service information*, TU Delft
- Muller Th.H.J., Knoppers P. (2005), *TRIP Time Analysis in Public Transport*, [<http://tritapt.nl/>]
- Oort N. van / Nes R. van (2004), *Regelmaatprognose bij het netwerk ontwerp van stedelijk openbaar vervoer*, TU Delft / HTM Personenvervoer Den Haag, bijdrage CVS 2004
- Oort N. van / Post M.R. (2005), *RandstadRail: Kwaliteitsprong in operationele kwaliteit door exploitatiebeheersing*, HTM Personenvervoer Den Haag, bijdrage CVS 2005
- Oort N. van / Nes R. van (2006), *Betrouwbaarheid in stedelijk openbaar vervoer in relatie tot tactische en strategische planning*, TU Delft / HTM Personenvervoer Den Haag, bijdrage CVS 2006
- Seddon P.A., Day M.P. (1974) *Bus passengers waiting times in greater Manchester*, in: Traffic Engineering Cont. 15, pp. 422-445
- Wilson, et al. (1992) *Improving service on the MBTA green line through better operations control*", Transportation Research Record 1361, TRB, National Research Council, Washington , D.C., pp. 296-304