

Reizigerseffecten van onbetrouwbaar OV in maatschappelijke kostenbatenanalyses

Niels van Oort

TU Delft / Goudappel Coffeng¹

Robert van Leusden

Bestuur Regio Utrecht²

Hoewel het verbeteren van de betrouwbaarheid van het openbaar vervoer (OV) vaak één van de belangrijkste doelen is van OV-projecten, ontbreekt in maatschappelijke kostenbatenanalyses (MKBA's) vaak expliciete, kwantitatieve aandacht voor de verwachte baten hiervan. In dit paper presenteren we een methodiek die het mogelijk maakt deze baten kwantitatief in kaart te brengen, waardoor ze wel meegenomen kunnen worden in een MKBA. De belangrijkste baten van een verbeterde betrouwbaarheid voor reizigers zijn een kortere reistijd en een zekerder aankomstmoment. Aan de hand van een casestudie laten we zien hoe de methodiek toegepast kan worden. Het betreft de geplande verbetering van de OV-verbinding tussen Utrecht Centraal en de Uithof. Deze case laat ook zien dat de betrouwbaarheidsbaten substantieel kunnen zijn en in dit geval zelfs het verschil maken tussen een baten-kostenratio van boven of onder de 1. In dit project bleken de betrouwbaarheidsbaten ca. tweederde van de totale verwachte baten te beslaan, waarmee de ratio positief uitkwam. Hierdoor heeft de Minister destijds besloten het project financieel te ondersteunen. Om betrouwbaarheidsbaten ook voor andere projecten te borgen in toekomstige MKBA's raden wij aan deze methodiek als suggestie op te nemen in de voorschriften van MKBA's, zoals de OEI-leidraad. Afhankelijk van het project kan dan evt. een gedetailleerde of quick scan analyse plaatsvinden.

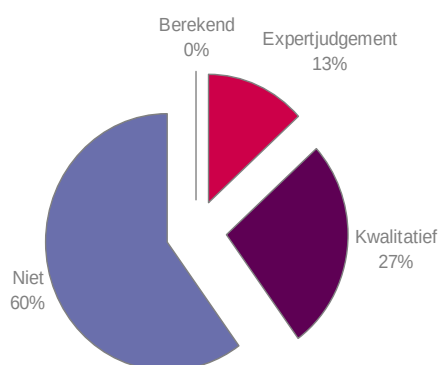
Trefwoorden: betrouwbaarheid; MKBA; OV; planning;

¹N.vanOort@TUDelft.nl

²R.van.Leusden@regioutrecht.nl

1. Inleiding

Betrouwbaarheid van mobiliteit krijgt de laatste jaren steeds meer aandacht (bijv. SHRP2 (2013), European Commission (2011) en OECD/ITF (2009)). Ook in het openbaar vervoer (OV) is betrouwbaarheid een belangrijk kwaliteitsaspect. Zowel reizigers als vervoerders zijn gebaat bij betrouwbare reistijden door kortere en voorspelbare reizen, resp. lagere kosten (bijv. Van Oort (2011), Savelberg en Bakker (2010) en Rietveld et. al (2001)). Veel OV-projecten hebben dan ook het realiseren van een hogere betrouwbaarheid als doel. Verrassend is echter dat in de besluitvorming via maatschappelijke kostenbatenanalyse (zie bijv. Mouter et. al (2012) en Annema et. al (2007)) weinig expliciete aandacht is voor de baten van betrouwbaarder OV. Hoewel in de richtlijnen van de MKBA (i.e. de OEI-leidraad (Eijgenraam et. al (2000)) betrouwbaarheid van OV als mogelijke baat wordt benoemd, ontbreken de handvatten voor een gestructureerde aanpak. Eerder berichtten bijv. Annema en Koopmans (2012) en Beukers et. al (2012) al over andere tekortkomingen van dit instrument. Afbeelding 1 laat de resultaten zien van een quick-scan naar het meewegen van betrouwbaarheidseffecten in meer dan 25 recente, willekeurig geselecteerde, OV-projecten in Nederland, waarmee we een representatief beeld kunnen schetsen. Deze afbeelding laat zien dat het expliciet meenemen van deze baten zeer beperkt gebeurt. Als er al baten benoemd worden, gebeurt dit op basis van een kwalitatieve inschatting of expert judgement. Ook Kroes en Koopmans (2014) tonen aan dat betrouwbaarheidsbaten van OV-projecten zelden expliciet en kwantitatief worden meegenomen.



Afbeelding 1. Mate van meenemen van onbetrouwbaarheidseffecten van Nederlandse OV projecten in MKBA's

In zowel OECD/ITF (2009) als Li et al. (2010) worden ontwikkelingen voor wat betreft MKBA's over de hele wereld geschetst. Ook zij trekken de conclusie dat de aandacht voor betrouwbaarheid beperkt is. Het wordt slechts in een beperkt aantal landen zoals Groot-Brittannië, Nederland, Denemarken, Nieuw Zeeland, Australië, Noorwegen en Zweden expliciet meegenomen. Inmiddels kunnen daar ook de VS en Duitsland aan toegevoegd worden. Echter, de meeste toepassingen richten zich op autoverkeer en niet op OV.

Eén van de redenen om OV-betrouwbaarheidsbaten niet mee te nemen is de complexiteit van de berekeningen en de databehoeft. Vaak gaat de aandacht uit naar de betrouwbaarheid van de voertuigen en niet, zoals de focus van MKBA's, naar de gebruikers. In dit artikel laten we zien dat het wel degelijk mogelijk is om betrouwbaarheidsbaten kwantitatief in kaart te brengen en met een case studie laten we ook zien dat de effecten substantieel kunnen zijn. Door de huidige beschikbaarheid van data, over zowel voertuig- als reizigers (zie bijv. Hickman (2004) en Pelletier

et. al (2011)) in combinatie met wetenschappelijke inzichten (Van Oort (2011)) hebben we een methode ontwikkeld om betrouwbaarheidsbaten te berekenen en in een MKBA mee te nemen.

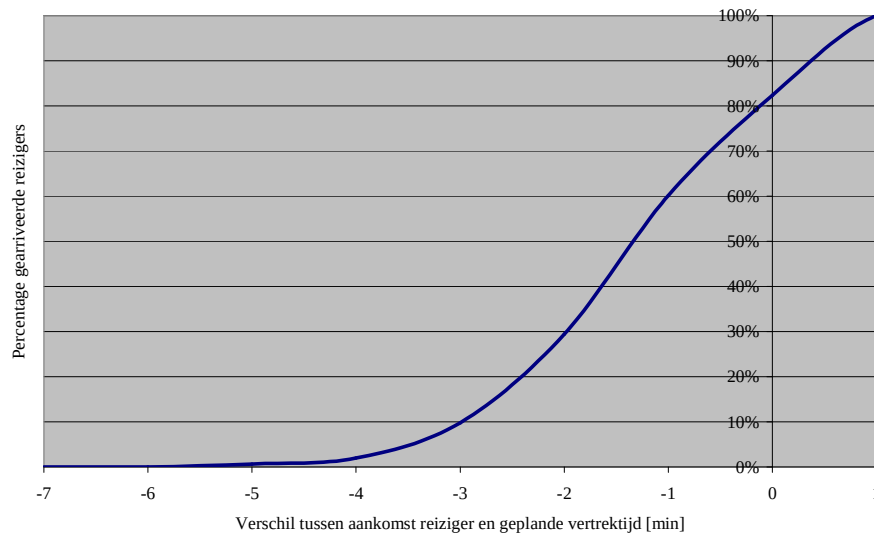
De opbouw van dit artikel is als volgt: in hoofdstuk 2 wordt beschreven wat de reizigerseffecten van onbetrouwbaar OV zijn. In het volgende hoofdstuk presenteren we onze aanpak om deze effecten kwantitatief mee te nemen in MKBA's, wat we in hoofdstuk 4 illustreren aan de hand van een casestudie. Hoofdstuk 5 sluit af met conclusies.

2. Berekenen van betrouwbaarheidseffecten op reizigers

Zoals geïllustreerd in Van Oort et. al (2014) heeft de betrouwbaarheid van OV impact op verschillende keuzes, zoals modaliteit en route. De drie belangrijkste effecten van onbetrouwbaarheid zijn een gemiddeld langere reistijd, spreiding in aankomsttijd en grotere drukte in het voertuig. Alle drie zouden in een MKBA meegenomen moeten en kunnen worden. In dit artikel kijken we alleen naar reistijdeffecten. Zie bijvoorbeeld Kroes en Koopmans (2014), Cats et. al (2014) en De Cea en Fernandez (1993) voor een uitgebreide beschouwing van drukte-effecten.

In Van Oort et. al (2014)) wordt uiteengezet dat de essentie van het berekenen van reizigerseffecten van onbetrouwbaar OV de vertaling van voertuigeffecten naar reizigers is. De gebruikelijke indicatoren voor betrouwbaarheid van OV, stiptheid en regelmaat, dekken niet (volledig) de reizigerseffecten. Deze indicatoren richten zich meer op de variatie van het aanbod. Hoewel dat wel een relatie heeft met de reizigerseffecten is het niet één op één te vertalen. Van Oort (2011) laat hiervoor verschillende voorbeelden zien. Drie minuten te vroeg rijden heeft vaak veel grotere consequenties dan drie minuten te laat bijvoorbeeld. Bij hoge frequenties is de stiptheid überhaupt niet meer relevant. Om met deze tekortkoming van OV-indicatoren om te gaan, hebben we een nieuwe betrouwbaarheidsmaat ontwikkeld (Van Oort (2011)). Deze maat, de extra gemiddelde reistijd per reiziger, geeft aan hoeveel de reistijd van reizigers langer wordt als gevolg van een dienstuitvoering die afwijkt van de planning. Dit is de basis voor het meenemen van betrouwbaarheidsbaten in MKBA's. Naast de absolute waarde, de gemiddelde extra reistijd, gaat het ook om de spreiding in de reistijd, die het resultaat is van onbetrouwbaar OV.

Als de dienstuitvoering precies gelijk is aan de dienstregeling ervaart de reiziger geen extra reistijd. Zijn reistijd bestaat uit voor- en natransport, wachttijd op de halte en in-voertuigtijd. In sommige gevallen is er ook nog sprake van overstaptijd (in ca. de helft van de gevallen voor treinreizigers bijvoorbeeld (Savelberg en Bakker (2010))). Als de reiziger willekeurig aankomt op de vertrekhalte is de wachttijd overigens niet vast, maar uniform verdeeld tussen 0 en de intervaltijd. Gemiddeld is de wachttijd, bij een 100% betrouwbare uitvoering, dus de helft van de intervaltijd. Willekeurige aankomsten vinden over het algemeen plaats bij hoge frequenties. Hoge frequenties beschouwen we als intervallen van 10 minuten of minder. Naar aanleiding van een reizigersonderzoek in Den Haag (Van Oort (2011)) concludeerden we dat dat het interval is, waarbij de meeste reizigers niet meer de dienstregeling hanteren, maar willekeurig naar de vertrekhalte gaan. Dit is in lijn met eerder onderzoek op dit terrein (O'Flaherty en Mangan (1970) en Seddon en Day (1974)). In het geval dat reizigers de vertrektijd kennen en daar hun aankomst op de beginhalte op afstemmen is de wachttijd wel vast (bij een stipte dienstuitvoering). Afbeelding 2 laat zien hoe dit aankomstmoment verdeeld is over reizigers op basis van een reizigersonderzoek in Den Haag (Van Oort (2011)).



Afbeelding 2. Verdeling van aankomsttijd van reizigers voor de geplande vertrektijd

In het geval dat variatie in de dienstuitvoering optreedt, heeft dat consequenties voor zowel de wachttijd als de in-voertuigtijd. Het effect op de wachttijd hangt af van het aankomstpatroon van reizigers en de onregelmaat danwel punctualiteit van de voertuigen. Ook de eventuele overstaptijd wordt beïnvloed door variatie in het aanbod, zoals bij een te late aankomst waardoor een geplande overstap verloren gaat (zie bijv. Lee et. al (2014)).

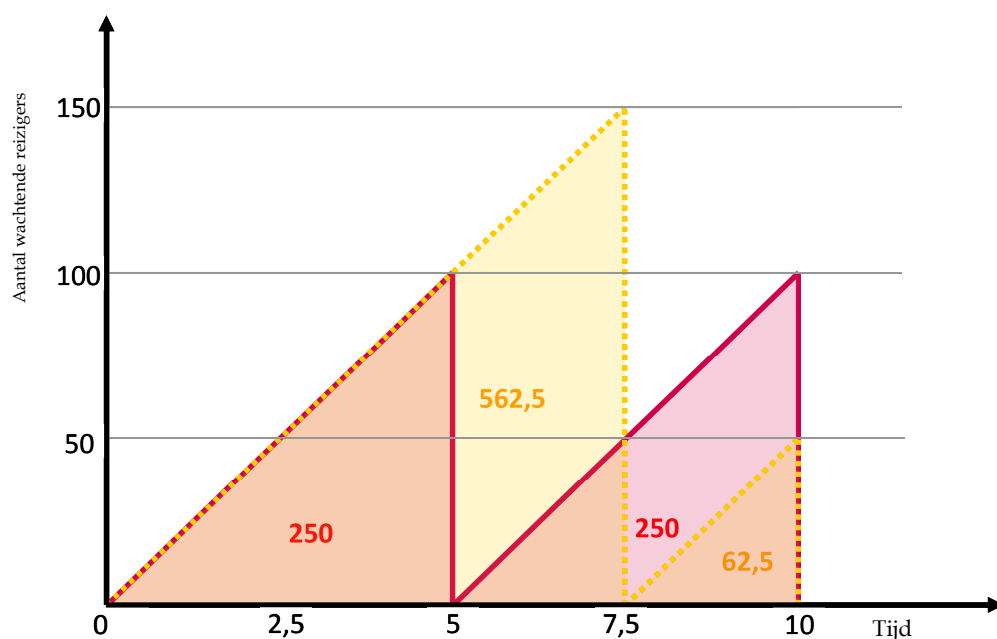
Door de variatie in de rijtijden en daarmee in de vertrektijden en opvolgtijden (onregelmaat) bij de halte wordt de gemiddelde wachttijd bij de halte en daarmee ook de totale reistijd verlengd (zie intermezzo voor een voorbeeld van de relatie tussen onregelmaat en wachttijd). De voor- en natransporttijden veranderen bij gelijkblijvende haltekeuze niet. De in-voertuigtijd wordt ook beïnvloed door spreiding in rijtijden, maar het effect verschilt per reiziger. Dit effect hangt af van keuzes in het dienstregelingontwerp. Als de gemiddelde waarde van de rijtijd wordt gebruikt voor de dienstregeling, en periodes hebben een gelijke verdeling van rijtijden, hebben sommige reizigers een langere in-voertuigtijd en andere een kortere dan gemiddeld. Gemiddeld heeft men echter dezelfde in-voertuigtijd als gepland, tenzij er door bijsturing wordt ingegrepen om bijvoorbeeld het te vroeg vertrekken van voertuigen te voorkomen. Effecten hiervan worden gepresenteerd in Van Oort et. al (2012). Om te komen tot gemiddelde waarden van de extra reistijdeffecten voor alle reizigers worden alle individuele reizen berekend om daar vervolgens een gemiddelde uit te destilleren. In Van Oort et. al (2014) worden bovenstaande stappen wiskundig beschreven. In onderstaand intermezzo lichten we de relatie tussen wachttijd en onregelmaat toe.

Intermezzo

Om het effect aan te duiden van een onregelmatige dienstuitvoering, is een fictief voorbeeld van een OV-lijn uitgewerkt (o.b.v. theorie uit Van Oort en Van Nes (2009)). In het voorbeeld wordt de wachttijd beschouwd op een halte gedurende 10 minuten. Bij een regelmatige dienstuitvoering vertrekt daar elke 5 minuten een voertuig. De passagiers arriveren op een willekeurig moment op de halte (gelijkmatig verdeeld over de tijd). Elke 10 minuten vertrekken er 200 reizigers. Het patroon van het aantal wachtende reizigers over de tijd dat ontstaat bij een regelmatige dienstuitvoering weergegeven middels de rode lijn in Afbeelding 3.

Indien de regelmaat is verstoord is het patroon niet meer regelmatig. In dit voorbeeld arriveert het eerste voertuig 2,5 minuten te laat, dus pas na 7,5 minuten in plaats van na 5 minuten. Het tweede voertuig arriveert wel op tijd (na 10 minuten). Het patroon in deze onregelmatige dienstuitvoering in relatie tot het aantal wachtende reizigers is opgenomen in Afbeelding 3 via de gele onderbroken lijn.

De hinder voor de reiziger is nu uit te drukken door voor alle 200 reizigers de wachttijd te bepalen, en daaruit het gemiddelde te herleiden. Omdat er sprake is van een gelijkmatige aankomst van reizigers bij de halte, is het mogelijk de totale wachttijd te bepalen aan de hand van de oppervlakte onder de grafiek (aantal wachtende reizigers x wachttijd/reiziger). Afbeelding 3 geeft de waarden van deze oppervlaktes tot het vertrek van een voertuig weer.



Afbeelding 3. Voorbeeld betrouwbaarheidseffect voor wachttijd reiziger bij een regelmatige (rood) en onregelmatige (geel) dienstuitvoering

Door voor de onderzochte 10 minuten de oppervlaktes voor de regelmatige en de onregelmatige dienstuitvoering op te tellen en te delen door het totaal aantal reizigers in dezelfde periode, ontstaat een beeld van de gemiddelde wachttijd voor de reiziger (opgenomen in Tabel 1). Daaruit blijkt dat een onbetrouwbare dienstuitvoering de gemiddelde wachttijd voor de reiziger vergroot.

Tabel 1. Gemiddelde wachttijdverschillen bij regelmatige en onregelmatige dienstuitvoering

	Totale wachttijd (200 reizigers)	Gemiddelde wachttijd
Regelmatige dienstuitvoering	500 minuten	2,5 minuten
Onregelmatige dienstuitvoering	625 minuten	3,1 minuten

Einde intermezzo

Het voordeel van het gebruik van de hierboven gepresenteerde maat van onbetrouwbaarheid is dat de focus verschuift van voertuigen naar reizigers. Hierdoor kunnen effecten van bepaalde ontwerpkeuzes in bijvoorbeeld netwerk en dienstregeling direct worden getoetst op reizigerseffecten. Deze maat is door de reizigersfocus ook goed te gebruiken in maatschappelijke kostenbatenanalyses. Iets wat tot voor kort (Snelder en Tavasszy (2010)) niet goed mogelijk was. Een ander voordeel van deze indicator is dat de trade off tussen snelheid en betrouwbaarheid (zoals door Furth en Muller (2009) behandeld) goed in kaart te brengen is. Ze worden beide immers in tijdseffecten uitgedrukt. Soms zijn maatregelen goed voor de betrouwbaarheid, maar niet voor de snelheid. Denk bijvoorbeeld aan tijdbuffers in de dienstregeling. Onze indicator kan het saldo-effect hiervan op de reistijd van de reiziger goed in kaart brengen. Met alleen de focus op betrouwbaarheid van het voertuig kan de tijdbuffer in de dienstregeling te groot worden, waardoor de dienstuitvoering wel stipt wordt, maar de reiziger per saldo langer onderweg is.

De gemiddelde extra reistijd per reiziger is in het OV een nieuwe maat in zowel de wetenschappelijke als de praktische wereld. Een internationaal onderzoek (Van Oort (2011)) laat zien dat alleen TfL in Londen een soortgelijke indicator hanteert: "excess journey time" (Frumin et al. (2009)). Deze indicator kijkt ook naar extra reistijd als gevolg van een onbetrouwbare dienstuitvoering, maar vergelijkt deze met de "free-flow" in plaats van de geplande reistijd. In dit artikel wordt een toepassing van onze indicator gedemonstreerd, te weten de toepassing in MKBA's.

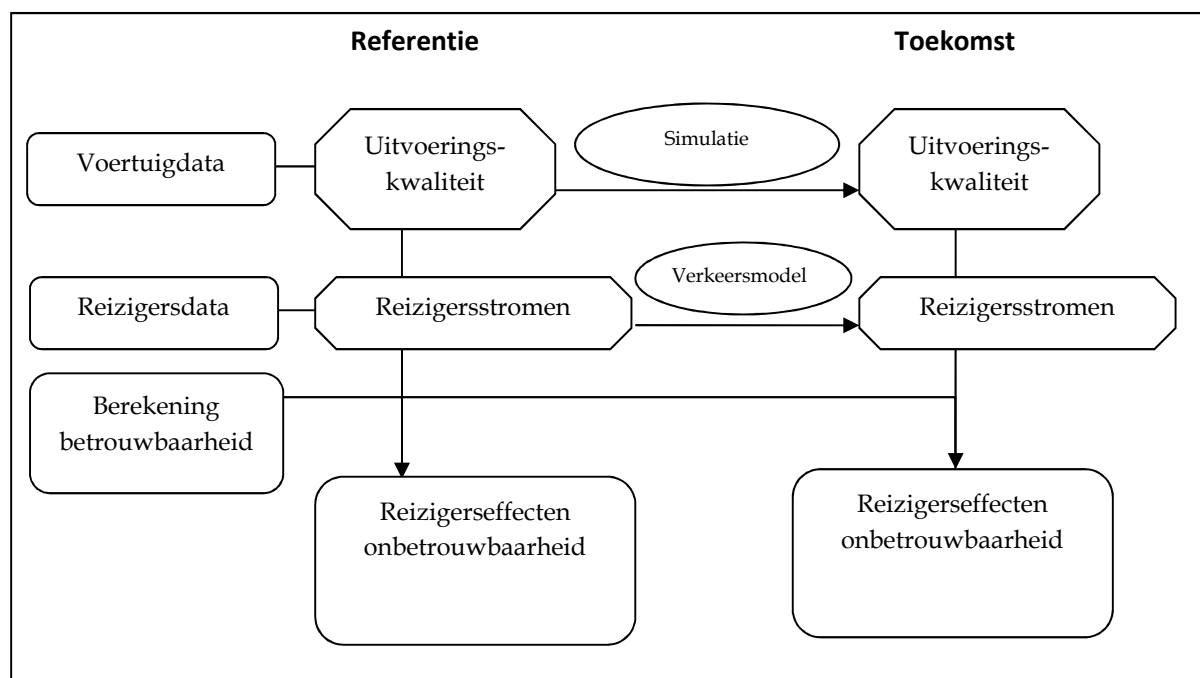
Naast de extra reistijd zorgt een onbetrouwbare dienstuitvoering in het algemeen ook voor spreiding in de reistijd. In een 100% betrouwbaar systeem zijn de reistijden altijd hetzelfde; indien er stochastische verstoringen zijn, zal de totale reistijd per keer anders zijn en zijn de aankomsttijden van de reiziger op zijn bestemming ook stochastisch. Alleen als de verstoringen altijd hetzelfde zijn is er wel sprake van extra reistijd, maar niet van spreiding. In dat, zeldzame, geval ligt het echter voor de hand de dienstregeling aan te passen. Om de spreiding in de reistijd uit te drukken zijn er in de literatuur verschillende maten (bijv. Tseng (2008)), zoals verschillen in percentielwaarde en de standaarddeviatie. Furth en Muller (2006) ontwikkelden de Reliability Buffer Tijd (RBT): de tijd die de gemiddelde reistijd verlengd wordt in 5% van de gevallen (i.e. verschil tussen 95- en 50-percentielwaarde). Zij beredeneren dat als forenzen deze buffer meenemen in hun planning, dat zij slechts 1 keer per maand (1 uit 20 reizen) te laat komen op hun werk.

3. Meenemen onbetrouwbaarheidseffecten in MKBA's

Zoals Afbeelding 1 laat zien, worden betrouwbaarheidseffecten beperkt meegenomen in Nederlandse MKBA's voor OV-projecten. Voor wat betreft wegprojecten is er meer aandacht voor dit fenomeen, hoewel Snelder en Tavasszy (2010) concluderen dat de traditionele aanpak een onderschatting is en te weinig projectspecifiek. In deze aanpak worden de betrouwbaarheidseffecten met een waarde van 25% van de reistijdbaten meegenomen (Besseling (2004)). Hoewel er analogieën zijn tussen wegverkeer en OV, is de berekening van betrouwbaarheidsbaten in het OV complexer, omdat er een dienstregeling is en omdat reiziger en voertuig niet precies dezelfde processen doorlopen. Met name de wachttijd maakt een groot verschil. Omdat het berekenen van deze effecten echter mogelijk is via algoritmes uit Van Oort (2011) en er steeds meer benodigde data beschikbaar komt, is het tegenwoordig goed mogelijk de baten te berekenen en mee te nemen in een MKBA. We hebben daarvoor een stappenplan ontwikkeld. Dit bestaat uit de volgende stappen:

1. Het berekenen van voertuigeffecten; dit betreft bijvoorbeeld de stiptheid en regelmaat van het systeem, maar ook de rijtijd en de spreiding daarin.
2. Op basis van stap 1 en de aanpak uit Hoofdstuk 2 worden de reizigerseffecten berekend, zijnde extra gemiddelde reistijd en de spreiding daarin. De reizigerseffecten worden uitgedrukt in extra reistijd en een standaarddeviatie van de reistijd.
3. Met behulp van de waarden die reizigers bereid zijn te betalen voor (reductie in) reistijd en spreiding daarin (value of time, resp. value of reliability) kunnen deze vervolgens gemonetariseerd worden. In Significance et. al (2013) wordt uitgebreid ingegaan op dit thema en worden deze waarden voor verschillende motieven en modaliteiten in Nederland gepresenteerd.

In dit stappenplan worden twee belangrijke onderdelen onderscheiden als input voor een MKBA. Allereerst het reizigerseffect (stap 1 en 2) van een project of ontwikkeling, de hoeveelheid hiervan wordt vaak aangeduid als "Q" (Quantity). De tweede component is de "P" (Price; stap 3), de waarde per eenheid effect zogezegd. Veel wetenschappelijk onderzoek op het gebied van betrouwbaarheid en MKBA's in het OV richt(te) zich op de P-zijde (bijv. Kroes en Koopmans (2014), Hensher et al. (2011) en Bates et. al (2001)). De Q-zijde, om hoeveel minuten reistijd en de grootte van de standaarddeviatie daarvan het gaat, bleef lang onderbelicht, maar kan door de aanpak uit Hoofdstuk 2 worden berekend. Afbeelding 4 laat schematisch de berekeningsstappen zien om bovenstaande toe te passen in een MKBA. Op basis van voertuig- en reizigersdata worden de uitvoeringskwaliteit, resp. reizigersstromen bepaald. Met behulp van onze aanpak (Hoofdstuk 2) kunnen deze worden omgezet naar reizigerseffecten van onbetrouwbaarheid. Voor de toekomstige situatie kan er met simulatietechnieken en verkeersmodellen hetzelfde worden gedaan om te komen tot de verwachte reizigerseffecten. Het verschil in beide effecten kan met behulp van values of time en reliability worden meegenomen in een MKBA.



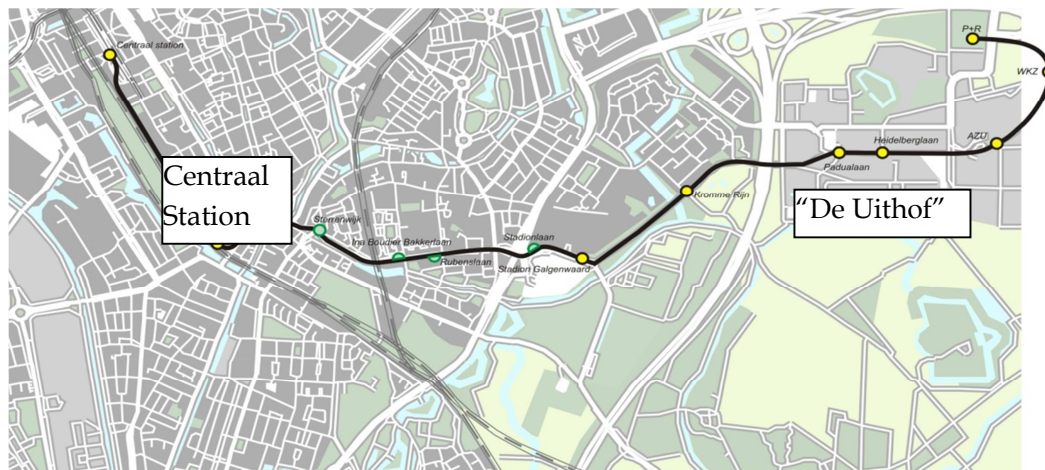
Afbeelding 4. Berekeningsstappen voor betrouwbaarheidseffecten OV-projecten

4. Case studie: de “Uithoflijn”

4.1 Introductie

Naast het ontwikkelen van een theoretisch raamwerk voor onbetrouwbaarheidseffecten in MKBA's hebben we deze ook in verschillende cases studies toegepast (o.a. Amstelveenlijn en Uithoflijn). In dit artikel schetsen we de werkwijze en resultaten van de MKBA voor de Uithoflijn in Utrecht. De regio heeft een tramlijn gepland tussen het Centraal Station en De Uithof (zie Afbeelding 6) en voor cofinanciering vereiste het Ministerie van Infrastructuur en Milieu een positieve MKBA-score.

Ten tijden van het onderzoek was de kwaliteit van de busverbinding tussen Utrecht Centraal en De Uithof matig. Afbeelding 5 laat de route van deze buslijn 12 zien. De lijn had een geplande rijtijd van ca. 18 minuten en vervoerde in 2011 zo'n 30.000 reizigers per dag.

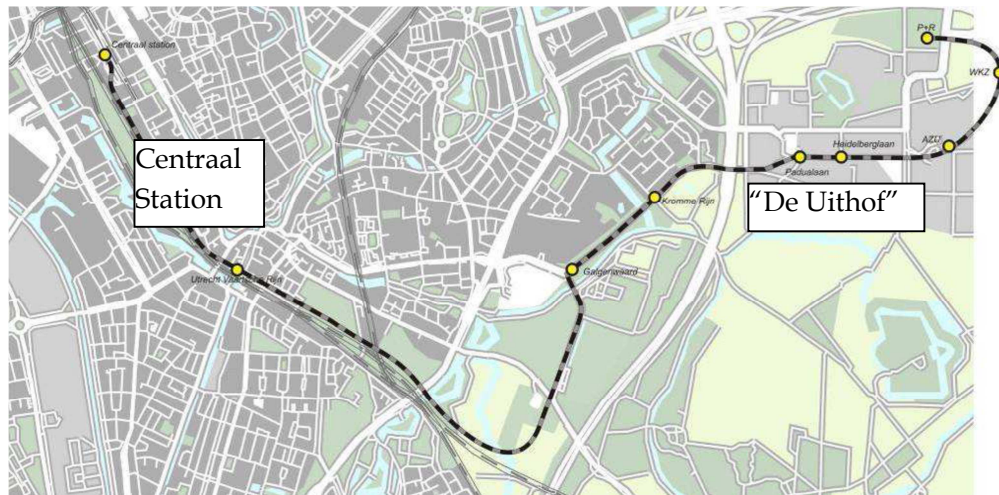


Afbeelding 5. Huidige route buslijn 12 Centraal Station-Uithof en vv. in Utrecht

Hoewel de OV lijn met dubbelgelede bussen in een frequentie van 23x/uur/richting werd geëxploiteerd, was de capaciteit voor reizigers beperkt. Elke dag kwam het voor dat reizigers tijdens de spitsuren pas konden instappen in de tweede of derde bus. Alleen op een deel van de lijn is een aparte busbaan aanwezig en op de andere delen komen conflicten en bijkomende verstoringen voor met voetgangers, fietsers en automobilisten. Het “bunchen” van twee of zelfs drie bussen was niet ongebruikelijk. De lijn stond bekend als erg onbetrouwbaar: de gemiddelde afwijking van de dienstregeling per bus was ook groter dan het geplande interval, zo'n 4 minuten.

De Uithof is gelegen in het oosten van Utrecht en vormt een kenniscluster waarin o.a. de universiteit, hogeschoolen, het ziekenhuis en gerelateerde bedrijvigheid is gevestigd. De plannen van de gemeenten behelzen een uitbreiding van de bedrijvigheid van zo'n 25%. In de eindsituatie bezoeken zo'n 53.000 studenten en 30.000 werknemers dit gebied dagelijks. Naast deze uitbreiding zet de gemeente in op duurzame bereikbaarheid met een stimulans voor fiets en OV. Er worden in principe geen extra parkeerplaatsen gerealiseerd. Vervoerprognoses geven een verwachte groei tot 45.000 reizigers per dag op lijn 12 in 2020. Om voldoende capaciteit te bieden, zou dit minimaal 50 bussen per uur per richting vereisen. Dit kan echter niet worden afgehandeld op de huidige infrastructuur.

Om de reizigersgroei op te vangen met een hoogwaardig OV-systeem is een nieuwe verbinding ontworpen tussen Centraal Station en De Uithof. Om een betrouwbare en hoogwaardige dienstuitvoering te garanderen ging de voorkeur uit naar een tram. Deze Uithoflijn is te zien in Afbeelding 6. De lijn heeft een lengte van 8 km en zal tijdens de ochtendspits een frequentie kennen van tussen de 16 en 20 trams per richting.



Afbeelding 6. Geplande route Uithoflijn: Centraal Station-Uithof en vv. in Utrecht

Het grote voordeel van tram- boven busexploitatie is dat, naast het vermijden van directe emissie bij het voertuig, minder voertuigen nodig zijn om de vervoervraag te kunnen bedienen. Door deze lagere intensiteit zijn conflicten met overig verkeer (zoals fiets en auto) beperkt, wat goede doorstroming van alle verkeer mogelijk maakt. Daarnaast is de kans op “bunching” of “harmonica-effect” veel kleiner, waardoor de betrouwbaarheid op peil blijft. Over het algemeen zijn de investerings- en exploitatiekosten van een tramsysteem echter hoger dan die van een bus, zeker omdat Utrecht nog geen uitgebreid stedelijk railnetwerk heeft. Om de kosten en baten goed inzichtelijk te krijgen is de maatschappelijke kostenbatenanalyse een goed instrument. Naast dit inzicht is de MKBA ook behulpzaam bij het verder optimaliseren van varianten. In het vervolg van dit paper worden de varianten en resultaten van de MKBA van de Uithoflijn behandeld.

4.2 MKBA Uithoflijn

Voor de aanleg van de Uithoflijn stelde het Ministerie van Infrastructuur en Milieu €110 miljoen ter beschikking. Echter werd daaraan de voorwaarde verbonden dat de MKBA een positieve uitkomst moest hebben, ofwel dat het een maatschappelijk rendabel project zou zijn. Hoewel de verwachting was dat de verbeterde betrouwbaarheid een groot deel van de baten zou beslaan, was het in Nederland niet gebruikelijk deze baten kwantitatief te benoemen (zie Afbeelding 1). Er kon echter gebruik worden gemaakt van wetenschappelijk onderzoek, waarin een methode was ontwikkeld om betrouwbaarheid vanuit reizigersoptiek te berekenen. Deze aanpak, zoals in de vorige hoofdstukken is gepresenteerd, werd daarmee voor de eerste keer toegepast (Goudappel Coffeng (2011)).

Om te komen tot een goede vergelijking van alternatieven in de MKBA zijn in overleg met BRU vijf varianten voor de Uithoflijn vastgesteld (Goudappel Coffeng (2011) en Ecorys (2011)). Deze zijn zo gekozen dat er een breed spectrum van oplossingsrichtingen werd onderzocht, waarbij zowel bus als tram als een bestaand en nieuw tracé worden geanalyseerd. Op deze manier kon een goed beargumenteerde afweging worden gemaakt. De varianten en de verschillende tracés zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Overzicht van de vijf varianten Uithoflijn

Naam	Beschrijving
1 0-variant (referentie 2020)	Bus via huidige route
2 0+ variant (2020)	Bus via huidige route, kleine aanpassingen infrastructuur en 25 bussen/uur/richting.
3 HOV bus 2020 via HOV om de Zuid	Huidig ontwerp nieuwe busbaan en 30 bussen/uur/richting.
4 HOV bus+ 2020 via HOV om de Zuid	Huidig ontwerp aangevuld met grootschalige maatregelen om doorstroming van de bussen die nodig zijn mogelijk te maken zodanig dat infra- en vervoercapaciteit toereikend zijn.
5 HOV tram 2020 via HOV om de Zuid	Huidig ontwerp nieuwe trambaan.

In Goudappel (2011) zijn de varianten gedetailleerd beschreven.

4.3 Resultaten

In deze MKBA zijn de betrouwbaarheidsbaten kwantitatief meegenomen. Hiervoor is de aanpak uit Hoofdstuk 2 toegepast. Er is een analyse van voertuig- en reizigersdata van 2008 gemaakt, naast een prognose voor 2020. Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de betrouwbaarheidsanalyse.

Om te komen tot de reizigerseffecten van onbetrouwbaar OV (en daarmee ook de effecten van verbeteringen) hebben we voertuigdata van de huidige situatie gebruikt. Met behulp van het regionale verkeersmodel (VRU-model) hebben we prognoses van de vervoervraag van de verschillende varianten gemaakt en daarnaast hebben we met simulaties (cf. de aanpak uit Van Oort et. al 2014) de toekomstige voertuig- en reizigersdata berekend. Hiervoor zijn verdelingen van processen als halteren en rijden geschat voor de nieuwe situatie, waarmee de reizigerseffecten voor onbetrouwbaarheid zijn bepaald.

In Tabel 3 is per variant aangegeven wat de verwachte betrouwbaarheidseffecten voor de verschillende varianten zijn. De basis voor de berekening is een analyse van de huidige betrouwbaarheid. In Goudappel Coffeng (2011) zijn de detailresultaten te zien. Het gaat hierbij om de gemiddelde extra in-voertuigtijd per reiziger (ten opzichte van de dienstregeling) en de spreiding daarin. Daarnaast is de gemiddelde extra wachttijd per reizigers als gevolg van onbetrouwbaarheid weergegeven, naast de spreiding daarin. Als indicatie is ook de gemiddelde reistijd (wachten en rijden) tussen het Centraal Station en De Uithof weergegeven. Deze tijd is stochastisch, waardoor sommige reizigers geconfronteerd worden met een langere reistijd en andere met een kortere.

Te zien is dat de wachttijd voor variant 4 het kortste is in verband met de hoge frequentie. Ook is te zien dat de betrouwbaarheid in de referentie laag is, waardoor de extra reistijd en spreiding daarin hoog is. De verwachting is dat de betrouwbaarheid van zowel variant 4 als 5 hoog en daardoor de extra reistijd en spreiding laag. In verband met de grote hoeveelheid bussen in variant 4 is de kans op verstoringen echter groter dan in variant 5. In variant 5 vindt ook wel degelijk variatie in de uitvoering plaats, dat is nooit helemaal te voorkomen, maar de effecten op de reizigers zijn (op basis van de berekeningswijze uit Van Oort et. al 2014 en de gehanteerde uitgangspunten) nihil.

Tabel 3. Overzicht resultaten betrouwbaarheidsanalyse varianten Uithoflijn

Variabele	Var. 1 (ref)	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5
Frequentie ochtendspits	23x	25x	30x	59x	16x
(per uur per richting)					
Rijtijd één richting (dienstregeling)	22 min	21 min	19 min	17 min	17 min
Gemiddelde wachttijd (dienstregeling)	1,3 min	1,2 min	1 min	0,5min	1,9 min
Extra in-voertuigtijd	2 min	2 min	2 min.	0,6 min	0 min
Spreiding extra in-voertuigtijd (σ)	2 min	1,7 min	1,5 min	0,6 min	0 min
Extra wachttijd	2,9 min	2 min	1,0 min	0 min	0 min
Spreiding extra wachttijd (σ)	1,4 min	1 min	0,5 min	0 min	0 min
Gemiddelde reistijd CS-UH (incl. wachten)	28 min	26 min	23 min	18 min	19 min

Nadat we de reizigerseffecten hebben bepaald, zijn deze gemonetariseerd, met gebruik van de values of time en reliability, zoals destijds beschikbaar via RAND Europe en AVV (2005). In Tabel 4 zijn de kosten en baten per aspect opgenomen, inclusief een totaalscore. De resultaten uit de vorige paragrafen zijn hiervoor belangrijke input. De resultaten worden weergegeven in de netto contante waarde (NCW) en de batenkosten-verhouding. Te zien is dat de betrouwbaarheidsbaten voor alle varianten substantieel zijn en dat zonder deze waarden de verhouding veel lager zou uitvallen, voor de varianten 3,4 en 5 zelfs onder de 1 (dus maatschappelijk onrendabel).

Te zien is dat de investeringskosten groot zijn bij zowel variant 4 en 5, maar daar staan hoge betrouwbaarheidsbaten tegenover. Deze zijn ongeveer tweederde van de totale baten. De voorkeursvariant van de regio, variant 5 (de tram), blijkt maatschappelijk rendabel te zijn (verhouding is groter dan 1).

Tabel 4. Samenvatting maatschappelijke kosten en baten per variant Uithoflijn, vergeleken met referentie (Ecorys (2011))

Varianten Effecten	Contante waarde in mln Euro			
	2	3	4	5
Investeringskosten	-1	-93	-237	-222
Exploitatiekosten	2	-6	-33	-66
Reistijdwinst	30	52	89	67
<i>Betrouwbaarheid</i>				
Afname extra reistijd	20	39	100	123
Afname spreiding aankomsten	20	36	60	78
Toename zitplaatskans	0	0	2	4
Niet gefaciliteerde vraag	0	0	6	5
Werkgelegenheid	4	8	16	18
Emissies	0	+	-	+
Geluid	0	0	-1	1
Verkeersveiligheid	0	0	-2	1
Hinder kruisend verkeer	0	-1	3	1
<i>Hinder tijdens aanleg</i>				
Auto	0	-	-	-
OV	0	-	--	-
Toekomstvastheid	-	-	+	++
Maatschappelijke weerstand	--	-	--	+
Totale kosten	2	-99	-270	-288
Totale baten	80	158	311	336
NCW	81	59	40	48
Baten/kostenverhouding	++	1,6	1,1	1,2
Baten/kostenverhouding, zonder betrouwbaarheidsbaten	++	0,8	0,6	0,5

5. Conclusies

Betrouwbaarheid is een belangrijk kwaliteitsaspect van OV, voor zowel reizigers als vervoerders. Veel OV-projecten zijn dan ook gericht op het verbeteren daarvan. Echter, in besluitvorming wordt vaak gebruik gemaakt van maatschappelijke kostenbatenanalyses (MKBA's), waarin OV betrouwbaarheid zelden kwantitatief wordt meegenomen. In dit artikel presenteren we een methodiek die dit wel mogelijk maakt. Aan de hand van een case studie, de Uithoflijn in Utrecht, tonen we aan dat deze aanpak ook praktisch toepasbaar is en dat de betrouwbaarheidsbaten substantieel en zelfs doorslaggevend in de batenkostenratio kunnen zijn. We verwachten dat dit voor meer OV-projecten geldt. We adviseren dan ook om de gepresenteerde aanpak als suggestie op te nemen in de voorschriften van MKBA's, zoals de OEI-leidraad. Afhankelijk van onder andere het project en de verwachte effecten kan vervolgens gekozen worden voor een gedetailleerde of quick-scan aanpak. Door deze baten niet achterwege te laten, maar kwantitatief te benoemen, wordt de ondersteuning voor besluitvorming verbeterd, door betere inzichten.

De kern van de aanpak is de focus op reizigerseffecten. Vaak richten betrouwbaarheidsindicatoren en verbeterplannen zich op het aanbod, ofwel de voertuigen. Bekende maten zijn stiptheid en regelmaat. Onze aanpak bestaat grosso modo uit drie stappen:

De eerste stap is het bepalen van de variatie van de aanbodzijde. In de tweede stap vertalen we deze effecten via een wiskundig raamwerk in reizigerseffecten, te weten de gemiddelde extra reistijd per reiziger en de spreiding daarin. In de derde stap monetariseren we deze effecten met behulp van values of time en reliability, waarna ze gereed zijn als input voor de MKBA. Door deze aanpak hebben we voor het project Uithoflijn laten zien dat de verwachte betrouwbaarheidsbaten zo'n 2/3 van de totale verwachte baten zijn. Zonder het expliciet maken van deze baten was de MKBA-score niet positief geweest voor de HOV-varianten.

Hoewel de aanpak zowel wetenschappelijk als praktisch van waarde is, is er ook ruimte voor verdere verfijning en uitbreiding. Het effect van drukte in het voertuig is nog buiten beschouwing gelaten, terwijl hier een effect op de betrouwbaarheid en vice versa te verwachten is. Ook de interactie tussen betrouwbaarheid en de vervoervraag is nog niet meegenomen. Op dit moment vindt onderzoek plaats om ook deze zaken inzichtelijk te krijgen en daarmee de aanpak verder aan te scherpen.

Dankwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de Bestuur Regio Utrecht (BRU), TU Delft, en Goudappel Coffeng.

Referenties

Annema, J.A., C. Koopmans (2012), De leefomgeving in maatschappelijke kosten-batenanalyses van transportprojecten, *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, 48 (2), pp. 51-67

Annema, J.A., C. Koopmans, B. van Wee (2007), Evaluating transport infrastructure investments: the Dutch experience with a standardized approach, *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 2, pp. 125-150.

Bates, J., J. Polak, P. Jones, A. Cook (2001), The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research Part E*, Vol.37, pp. 191-229.

Besseling, P., W. Groot, A. Verrips (2004), Economische toets op de Nota Mobiliteit, CPB, Document 65, Den Haag.

Beukers, E., L. Bertolini, M. te Brömmelstroet (2012), Percepties in het MKBA proces, *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, 48 (2), pp. 68-79

Cats, O., J. West, J. Eliasson (2014) Appraisal of Increased Public Transport Capacity. Presented on the 3rd European Symposium on Quantitative Methods in Transportation Systems.

De Cea, J., Fernandez, E., (1993). Transit assignment for congested public transport systems: an equilibrium model. *Transportation Science* 27 (2), 133-147

Ecorys (2011), MKBA Uithoflijn, Resultaten.

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang, en A.C.P. Verster (2000). *Deel I Hoofdrapport. Evaluatie van grote infrastructuurprojecten. Leidraad voor kosten-baten analyse. Onderzoeksprogramma economische effecten infrastructuur*. Centraal Planbureau en Nederlands Economisch Instituut.

European Commission (2011), White paper on transport

Frumin, M., D. Uniman, N.H.M. Wilson, R. Mishalani, J. Attanucci (2009), Service Quality Measurement in Urban Rail Networks with Data from Automated Fare Collection Systems, Proceedings of CASPT conference, Hong Kong.

Furth, P. G., T.H.J. Muller (2009), Optimality conditions for public transport schedules with timepoint holding, *Public Transport*, Vol. 1, pp.87-102.

Furth, P. G., T. H. J. Muller (2006). Service Reliability and Hidden Waiting Time: Insights from Automated Vehicle Location Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1995, 79-87.

Goudappel Coffeng (2011), Vervoerwaarde- en betrouwbaarheidsanalyse Uithoflijn Utrecht.

Hensher, D. A., J. M. Rose, A. Collins (2011). Identifying Commuter Preferences for Existing Modes and a Proposed Metro in Sydney, Australia. *Public Transport: Planning and Operations*, 3(2), 109-147.

Hickman, M. (2004). Evaluating the Benefits of Bus Automatic Vehicle Location (AVL) Systems. Chapter 5 in D. Levinson and D. Gillen (eds.), *Assessing the Benefits and Costs of Intelligent Transportation Systems*, Kluwer, Boston.

Kroes, E., C. Koopmans (2014), De baten van comfort in het openbaar vervoer; een overzicht van de literatuur, *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, 50 (2), pp. 36-51.

Mouter, N., Annema, J.A., & Van Wee, G.P. (2012). Maatschappelijke Kosten- en Batenanalyse inhoudelijk geëvalueerd. Den Haag: Nicis Institute.

Lee, A. N. van Oort, R. van Nes (2014), Service reliability in a network context, *Transportation Research Record*, No. 2417, pp. 18-26

Li, Z., D.A. Hensher, J.M. Rose (2010), Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: A review and some new empirical evidence, *Transportation Research Part E*, 46, pp. 384-403.

OECD/ITF (2009), Improving reliability on surface transport networks.

O'Flaherty, C.A. and D.O. Mangan (1970), Bus passengers waiting time in central areas, *Traffic Engineering Cont.* 11, pp. 419-421.

Oort, N. van (2011), Service Reliability and Urban Public Transport Design, T2011/2, TRAIL PhD Thesis Series, Delft

(http://www.goudappel.nl/media/files/uploads/2011_Proefschrift_Niels_van_Oort.pdf)

Oort, N. van, J.W. Boterman, R. van Nes (2012), The impact of scheduling on service reliability: trip-time determination and holding points in long-headway services, *Public Transport*, 4(1), 39-56.

Oort, N. van, R. van Leusden, T. Brands (2014), Verkeersmodellen verrijken met onbetrouwbaarheid OV vanuit een reizigersperspectief, *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, 50 (3).

Oort, N. van and R. van Nes (2009). Regularity analysis for optimizing urban transit network design. *Public Transport*, 1(2), 155-168.

Pelletier, M., M. Trepanier and C. Morency (2011). Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), 557-568.

RAND Europe, AVV (2005), The value of reliability in transport: Provisional values for The Netherlands based on expert opinion, Leiden/Rotterdam.

Rietveld, P., F.R. Bruinsma, D.J. van Vuuren (2001), Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands, *Transportation Research*, 35A, pp. 539-559.

Rietveld, P., J. Rouwendal, E.T. Verhoef (2000), Enkele welvaartseconomische aspecten van de evaluatie van grote infrastructuurprojecten, *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, Vol. 36, pp. 34-40.

Savelberg, F., P. Bakker (2010), Betrouwbaarheid en robuustheid op het spoor, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, Den Haag.

Seddon, P.A., M.P. Day (1974), Bus passengers waiting times in greater Manchester, *Traffic Engineering Cont.* 15, pp. 422-445.

SHRP 2 Reliability Project L05 (2013). Incorporating Reliability Performance Measures into the Transportation Planning Programming Processes. Transportation Research Board of the National Academies, Strategic Highway Research Program, Washington, D.C

Significance, VU University, John Bates Services, TNO, NEA, TNS NIPO en PanelClix (2013) Values of time and reliability in passenger and freight transport in The Netherlands, Report for the Ministry of Infrastructure and the Environment, Significance, The Hague.

Snelder, M., L.A. Tavasszy (2010) Quantifying the full reliability benefits of road network improvements, Proceedings of WCTR 2010, Lisbon, Portugal.

Tseng, Y.Y. (2008), Valuation of travel time reliability in passenger transport, PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.