

# **Optimalisatie van het wegontwerp van het luchtzijdige wegverkeerssysteem op de luchthaven Schiphol**

E.M. de Jong – eveline.dejong@hotmail.com

J.H. Baggen – Technische Universiteit Delft – j.h.baggen@tudelft.nl

V.L. Knoop – Technische Universiteit Delft – v.l.knoop@tudelft.nl

## **Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 24 en 25 november 2016, Zwolle**

### **Samenvatting**

Het luchtzijdige wegverkeerssysteem op de luchthaven Amsterdam Airport Schiphol (Schiphol) is een niet-openbaar wegverkeerssysteem dat wordt gebruikt door afhandelaren van de vliegtuigen, bussen voor de passagiers en de ordehandhaving van de luchthaven. Naast een grote verscheidenheid aan voertuigen die we er aantreffen gelden er ook andere regels dan op de openbare weg. De problemen die ondervonden worden in de huidige situatie zijn vertragingen en verkeersongevallen.

Het doel van dit paper is het vinden van een infrastructureel wegontwerp dat de effectiviteit van de randwegen rondom de pieren verbetert. Daarbij wordt effectiviteit gemeten in reistijd, reisafstand, robuustheid, veiligheid, ruimtegebruik en kosten. De randwegen rondom de B-pier van Schiphol worden gebruikt als voorbeeldstudie, en om generieke inzichten te krijgen in de invloed van het wegontwerp worden ook twee generaliseerde netwerkvormen gebruikt.

Het onderzoek biedt een overzicht van wegsectie- en knooppuntontwerpen die kunnen worden toegepast op wegverkeerssystemen gebaseerd op ontwerpen voor de openbare weg en wegontwerpen op andere vliegvelden. De combinaties van wegsectie- en knooppuntontwerpen worden toegepast op het netwerk van pier B in het verkeerssimulatiepakket VISSIM. De effecten op reistijd, reisafstand, robuustheid en veiligheid worden bepaald met de simulatieresultaten en voertuigtrajectanalyses in het *surrogate safety assessment model* (SSAM). Het ruimtegebruik en de kosten van de alternatieven zijn onderdeel van de ontwerpspecificaties.

De uitkomst van het onderzoek is dat wegontwerpen allemaal ten minste één van de zes aspecten verbeteren ten opzichte van de basissituatie, dat er geen enkel alternatief is dat voor elk aspect het beste resultaat heeft en er dat er geen enkel alternatief is dat alle aspecten van de basissituatie verbetert. Een actorenanalyse laat zien dat de actoren verschillende belangen en interesses hebben, en dat het toepassen van gewichtensets per actorengroep resulteert in verschillende resultaten. Op basis van de beoordeling van de meerderheid van de actorengroepen is het ontwerp met tweerichtingsverkeer met voorrangspein het beste ontwerp voor pier B.

## 1. Inleiding

De luchtzijde van een luchthaven is het gebied waar vliegtuigen landen, opstijgen en worden afgehandeld op de platformen en aan de *gates*. Het luchtzijdige wegverkeerssysteem op de luchthaven Amsterdam Airport Schiphol (Schiphol) bestaat uit een ringweg (de Rinse Hofstraweg) en randwegen rondom de pieren. Het luchtzijdige wegverkeerssysteem wordt gebruikt door de afhandelaren en ordehandhaving op dezelfde manier als een openbaar verkeerssysteem. Echter, er zijn grotere verschillen tussen de type voertuigen: o.a. personenauto's, bagagetreinen en *push-backwagens*. Daarnaast is het wegverkeerssysteem geen onderdeel van de openbare weg; er gelden daarom andere verkeersregels. De problemen die ondervonden worden op het luchtzijdige wegverkeerssysteem zijn vertragingen en verkeersongevallen.

De focus van dit onderzoek ligt op het vinden van een infrastructurele ontwerp dat het luchtzijdige wegverkeerssysteem van de randwegen rondom de pieren van Schiphol verbetert, gebaseerd op het afstudeeronderzoek van De Jong (2016). De hoofdonderzoeksvraag is: "Hoe kan het ontwerp van het luchtzijdige wegverkeerssysteem rondom de pieren van Amsterdam Airport Schiphol worden verbeterd op het gebied van reistijd, reisafstand, robuustheid, veiligheid, ruimtegebruik en kosten?". Het luchtzijdige wegverkeerssysteem van Schiphol wordt onderzocht in dit onderzoek. De luchthaven is een van de grote luchthavens in Europa, met jaarlijks 58 miljoen passagiers, 1,6 miljoen ton vracht, en 451.000 vliegbewegingen (Schiphol Group, 2016). Het aantal passagiers en vliegbewegingen groeit nog steeds elk jaar. Bij het maken van een wegontwerp moet rekening worden gehouden met de toekomst, in dit onderzoek wordt de luchtzijdige situatie van 2025 gebruikt als basissituatie.

Er zijn twee eerdere onderzoeken gedaan naar het luchtzijdige wegverkeerssysteem. Het onderzoek van Borsboom (2012) was een analyse van de veiligheid, robuustheid, betrouwbaarheid en gebruik van het wegverkeerssysteem met mogelijke verbeteringen. De conclusies van het onderzoek waren dat het verminderen van de verkeersongevallen bij de knooppunten van de ringweg met de randweg kan resulteren in kostenbesparingen, twee rijstroken per richting zorgt voor een betere robuustheid en het omleiden van het verkeer over de westzijde kan resulteren in een meer optimale bezetting van het wegverkeerssysteem.

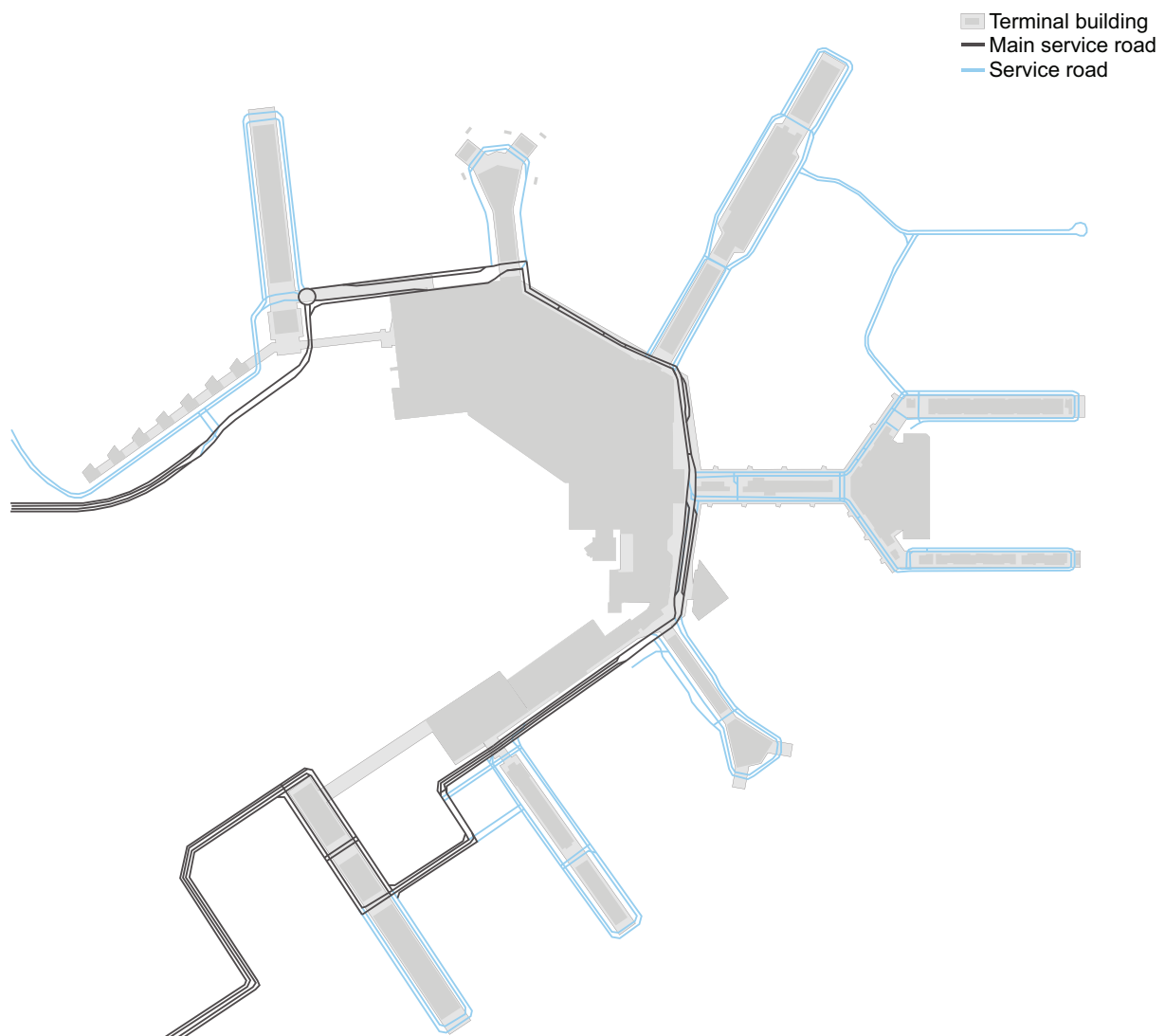
De focus van het onderzoek van Van der Horst (2014) was de netwerkprestatie en verkeersstromen van de ringweg, door gebruik te maken van het simulatiepakket VISSIM. De conclusies van het onderzoek waren dat het niet te druk is in het huidige wegverkeerssysteem, netwerkprestaties verbeterd kunnen worden door omleiden via de westkant, het aantal langzame voertuigen op de weg moet worden verminderd in de piekuren en dat het aantal ongevallen moet worden verminderd bij de knooppunten met de randweg. De netwerkprestaties werden niet verbeterd door het hebben van twee rijstroken per richting.

## 2. Het luchtzijdige wegontwerp op de luchthaven Schiphol

Voor een verbetering van het wegontwerp kijken we eerst naar de situatie van 2025 waarbij de nieuwe A-pier al in gebruik is, dit noemen we de basissituatie, zoals te zien in figuur 1. De karakteristieken van het gehele luchtzijdige wegverkeerssysteem vormen de mogelijkheden en beperkingen van het wegontwerp.

## 2.1 Het luchtzijdige wegverkeerssysteem

De snelheidslimiet op het luchtzijdige wegverkeerssysteem is 30 km/u. Er gelden dezelfde verkeersregels, wegmarkering en verkeersborden als op de openbare weg. Fietsen is echter niet toegestaan en voetgangers hebben geen voorrang bij oversteken. Er zijn twee soorten wegen: de ringweg (zwart aangegeven in figuur 1) en de randweg (blauw aangegeven in figuur 1). De randwegen rondom de pieren liggen direct naast het terminalgebouw en faciliteren de voertuigbewegingen van de afhandelingsvoertuigen van en naar de vliegtuigopstelplaatsen en de thuisbasis aan de terminalkant. Het wegverkeerssysteem is secundair aan het luchtverkeerssysteem. De breedte van het wegverkeerssysteem is afhankelijk van de hoeveelheid ruimte die over is nadat het luchtverkeerssysteem is geïmplementeerd, waardoor de wegbreedtes van de randwegen variëren van 7 tot 12 meter. De randwegen op de luchtzijde van Schiphol zijn uitgevoerd in tweerichtingsverkeer op bijna alle randwegen. Alleen rondom pier F is de randweg uitgevoerd als eenrichtingsverkeer.



Figuur 1: Situatie in 2025 op Schiphol, de basissituatie

De verschillende groottes van de vliegtuig opstelplaatsen bepalen het type vliegtuig dat kan worden aangesloten op de gates en het aantal voertuigen dat nodig is voor het

afhandelingsproces. Naast directe gates, waarbij het vliegtuig met een luchtbrug verbonden is met de gate, zijn er ook *busgates*, waar het vliegtuig op een remote platform staat en er bussen tussen de terminal en de platformen rijden. Onder de grond bevindt zich een complex netwerk van bagagehallen met meerdere in- en uitgangen die aansluiten op het wegverkeerssysteem. Bij het wegontwerp wordt rekening gehouden met de verscheidene voertuigen die rondrijden op de luchtzijde. De bussen, cateringwagens, brandstofverdelers, schoonmaakbusjes, toilet/water-busjes, bagage treintjes, pallettreintjes, push-backwagens en rolbandwagens hebben verschillende snelheden, lengtes, breedtes en draaicirkels waar rekening mee moet worden gehouden bij het wegontwerp. Er wordt ook rekening te worden gehouden met de bussen die alleen aan de rechterkant deuren hebben; parkeerplaatsen voor de bus mogen zich alleen aan de rechterkant van de weg bevinden zodat passagiers veilig kunnen in- en uitstappen. In het huidige ontwerp van het wegverkeerssysteem zorgen complexe en grote voertuigstromingen bij de knooppunten van de ringweg met de randweg voor ongevallen (Borsboom, 2012). Oorzaken van ongevallen op luchtzijde zijn menselijk falen, geen voorrang verlenen, botsen tegen een geparkeerd voertuig, gebrek aan heldere infrastructuur, slechte opleiding, tijdsdruk en gebrek aan handhaving. In De Jong (2016) is een voorbeeldstudie gedaan naar één pier, die een representatie vormt voor de andere pieren op de luchthaven. De B-pier is gekozen als een voorbeeldstudie omdat deze pier de meest uniforme vorm, uniforme lengte, een busstation en een thuisbasis voor een technische dienst heeft.

## 2.2 Wegontwerpen

De wegontwerpen die zijn onderzocht zijn gebaseerd op de archetypes van wegsecties en knooppunten op de openbare weg. Wegontwerpen voor het luchtzijdige wegverkeerssysteem moeten voldoen aan twee vooraf gestelde criteria:

- Rekening houden met niet-verwijderbare elementen en weggebruikers;
- Voldoen aan de officiële ontwerpregels voor vliegvelden van de Nederlandse overheid en EASA en regels en regulatie van Schiphol.

### *Wegsecties*

De archetypes van wegsectieontwerpen zijn wegen met tweerichtingsverkeer, wegen met eenrichtingsverkeer en *shared space*. Tweerichtingsnetwerken zijn in eerdere onderzoeken al vergeleken met eenrichtingsnetwerken. De voordelen van eenrichtingsnetwerken zijn minder conflictpunten op kruisingen, wat daar resulteert in minder ongevallen en vertragingen (Stemley, 1998). De nadelen van eenrichtingsnetwerken zijn de langere reistijd en reisafstand en verwarring bij incidentele gebruikers en openbaar vervoer gebruikers (Stemley, 1998). *Shared space* is een nieuwe applicatie van het woonerfconcept, waarbij interactie tussen weggebruikers belangrijk is en de ruimte voor mensen en verkeer gedeeld worden (Provincie Friesland, 2005).

Wegen met tweerichtings- en eenrichtingsverkeer worden in de huidige situatie toegepast op de luchtzijde van Schiphol. *Shared space* wordt toegepast op de luchtzijde van de luchthaven Brisbane (Pond, 2014).

In figuur 2 is te zien hoe de knooppuntontwerpen scoren op de criteria; de ontwerpvarianten moeten rekening houden met niet-verwijderbare elementen en weggebruikers en voldoen aan de regels en regulatie. De eenrichtingsontwerpen met verkeer dat tegen de klok inrijdt voldoet niet aan alle criteria, omdat de bussen niet met

hun rechthoekig aan de gevel kunnen parkeren. Varianten met een hele rijstrook voor parkeren houden geen rekening met de weggebruikers en voldoen niet aan de regels. De wegsectieontwerpvarianten tweerichtingsverkeer, eenrichtingsverkeer, eenrichtingsverkeer met parkeerhavens, eenrichtingsverkeer met verlengde vliegtuig opstelplaatsen en *shared space* voldoen.

CRITERION	TWO-WAY DESIGN					ONE-WAY DESIGN					SHARED SPACE DESIGN		
	Base situation	Counterclockwise	Counterclockwise with left parking bays	Counterclockwise with right parking bays	Counterclockwise and left parking	Counterclockwise and right parking	Clockwise 2 lanes	Clockwise with left parking bays	Clockwise with right parking bays	Clockwise and left parking	Clockwise and right parking	On service road	On apron
Non-removable elements and users	X						X*	X*	X*	X*	X*	X	X
Rules and regulation	X	X	X	X**			X	X**	X			X	
	PASSED						PASSED	PASSED	PASSED			PASSED	

Figuur 2: Gegeneerde wegsectieontwerpen

### Knooppunten

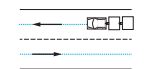
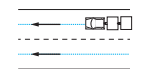
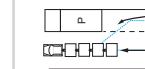
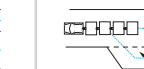

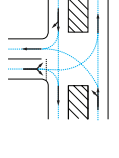
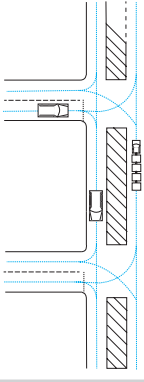
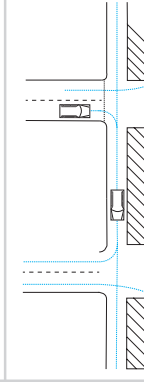
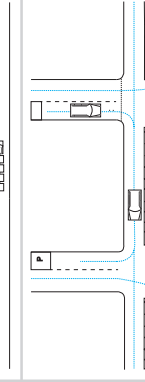
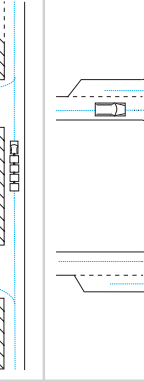
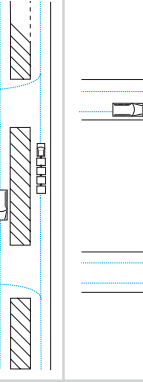
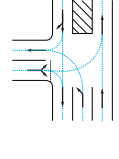
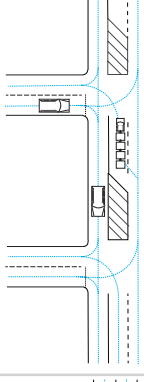
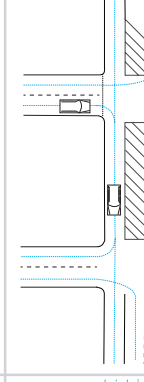
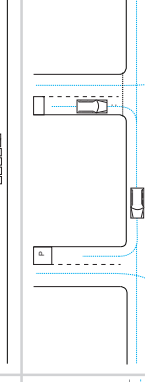

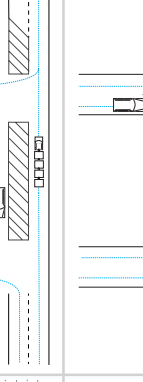
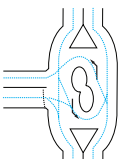
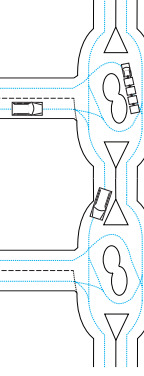
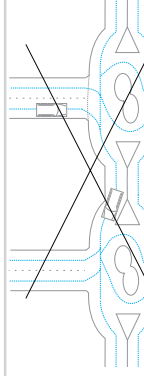



Gelijke kruisingen, rotondes en voorrangspunten zijn de knooppuntarchetypes. Bij gelijke T-kruisingen zorgen aparte afslagen voor links afslaand verkeer voor 60% minder ongevallen (CROW, 2002). Kruisingen waarbij het verboden is om linksaf te slaan zorgen voor minder conflictpunten en minder hinder (Gayah & Daganzo, 2012). Rotondes zorgen voor minder conflictpunten en lagere snelheden, hetgeen resulteert in minder (zware) ongevallen (SWOV, 2012). Een voorrangspunt is een combinatie van een voorrangskruising en een rotonde.

De gelijke kruisingen met en zonder aparte afslagen en rotondes worden al toegepast op luchtzijdige wegverkeerssystemen. Het voorrangspunt komt al wel voor op de openbare weg, maar wordt nog niet toegepast op de luchtzijde van vliegvelden.

In figuur 3 is te zien hoe de knooppuntontwerpen scoren op de criteria; de ontwerpvarianten moeten rekening houden met niet-verwijderbare elementen en weggebruikers en voldoen aan de regels en regulatie. De eerste rotondevariant is te groot en de tweede rotonde voldoet niet aan de dimensie-eisen. De knooppuntontwerpvarianten gelijke kruising, gelijke kruising met aparte afslagen en het voorrangspunt voldoen.

CRITERION	EQUAL CROSSING DESIGN			SPECIAL CROSSING DESIGN		
	Equal crossing	Equal crossing with pre-sorting	Equal crossing with banned left	Roundabout 19.8 m diameter	Roundabout 12 m diameter	Voorrangspunt
Non-removable elements and users	X	X*	X		X	X
Rules and regulation	X	X		X		X
	PASSED	PASSED				PASSED

Figuur 3: Gegeneerde knooppuntontwerpen

		Road section design					
		1	2	3	4	5	
		 <p>Two-way</p>	 <p>Clockwise one-way 2 lanes</p>	 <p>Clockwise one-way with parking bays at the building</p>	 <p>Clockwise one-way with extended aircraft stands</p>	 <p>Shared space</p>	
Junction design	A	 <p>Equal crossing</p>					
	B	 <p>Equal crossing with turning lanes</p>					
	C	 <p>Vorrangsplein</p>					

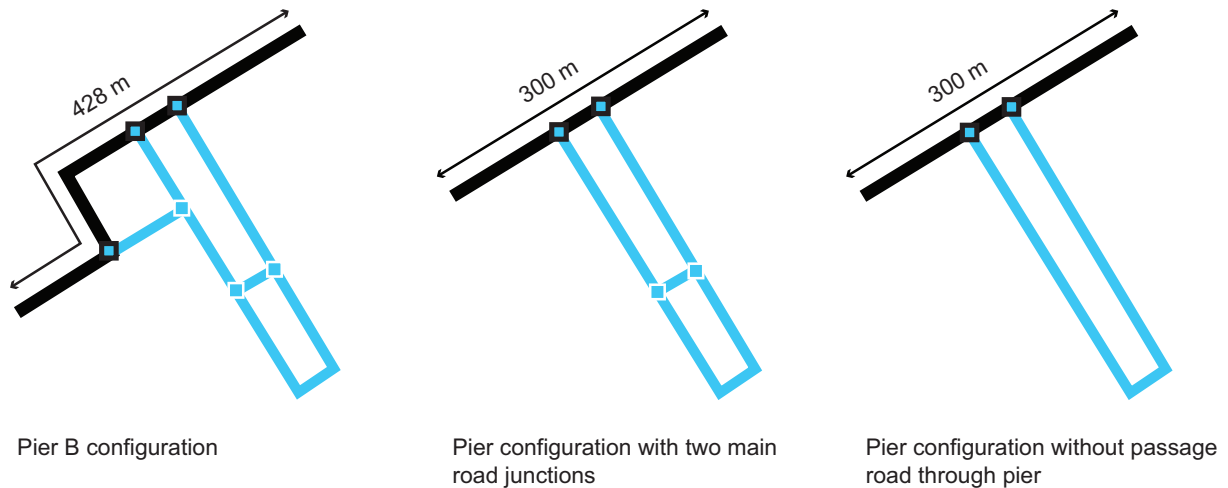
Figuur 4: Combinaties van wegsecties en knooppunten

### Combinaties

De wegsectieontwerpen en knooppuntontwerpen die voldoen worden met elkaar gecombineerd tot wegontwerpalternatieven, zoals te zien in figuur 4. Waarbij de wegsectieontwerpen 1 tot en met 5 worden genummerd en de knooppuntontwerpen de letter A, B of C toevoegen. Niet alle combinaties zijn toepasbaar; eenrichtingsverkeerswegen kunnen niet gecombineerd worden met voorrangspijnen en vormen geen ontwerpalternatieven. Twaalf ontwerpalternatieven zijn wel toepasbaar op het luchtzijdige wegverkeerssysteem.

### 3. Simulaties

De effectiviteit van het wegontwerp wordt getest op het wegverkeerssysteem rondom de B-pier. De netwerkvorm van de B-pier wordt gebruikt in de simulaties, zoals te zien in figuur 5. Om generieke inzichten te krijgen in de invloed van het wegontwerp worden ook twee generaliseerde netwerkvormen gebruikt.



Figuur 5: Netwerkvormen van wegverkeerssysteem rondom de B-pier

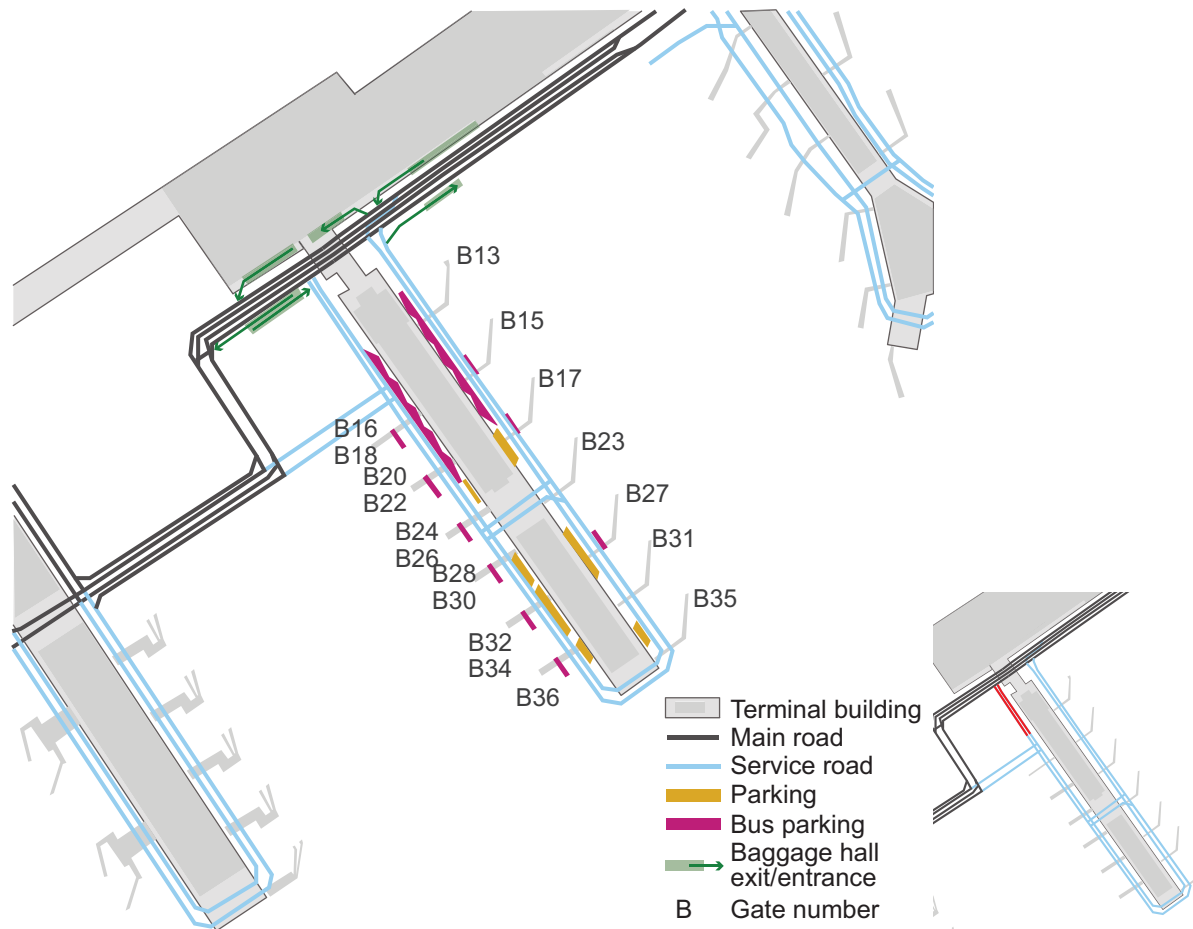
#### 3.1 Opzet van simulaties

De ontwerpalternatieven zijn gesimuleerd in het microscopische pakket VISSIM (PTV AG, 2012). VISSIM is gekozen als verkeerssimulatiepakket omdat het een uitgebreide studie van individuele voertuigen op verschillende wegsectie- en knooppuntontwerpen biedt, werkt met dynamische toewijzing van voertuigen, de gewenste uitkomst levert (Grontmij, 2002) en beschikbaar is bij TU Delft.

Het luchtzijdige wegverkeerssysteem van de ontwerpalternatieven worden geïmplementeerd in VISSIM volgens de ontwerpspecificaties en de specificaties van de basissituatie zoals in figuur 6. Zes voertuigtypes met verschillende lengten, breedtes en snelheden zijn geïmplementeerd. Om de robuustheid van een ontwerpalternatief te bepalen wordt de totale reistijd in een ongevalsscenario gemeten en vergeleken met de totale reistijd onder de normale omstandigheden.

VISSIM kan niet de effecten op veiligheid bepalen, daarom wordt de applicatie *surrogate safety assessment model* (SSAM) van de FHWA (2008) gebruikt om de gesimuleerde voertuigtrajecten te analyseren op conflicten door het berekenen van de *time-to-collision* (TTC) en de *post-encroachment-time* (PET). De verkeerstroom op het luchtzijdige wegverkeerssysteem worden gesimuleerd voor een ochtend van een dag met een gemiddeld aantal vliegbewegingen. Een periode van 3 uur en 40 minuten, waarin twee piekmomenten zitten, wordt gesimuleerd. De vluchtplanningdata van donderdag 19 november 2015 worden gecombineerd met statische afhandelingstijden en het aantal voertuigen nodig voor het afhandelingsproces in herkomst bestemming matrices (OD matrices). Er zijn twee voertuigcomposities en twee sets OD matrices, een voor het busverkeer en een voor het afhandelingsverkeer. De OD matrices worden

vermenigvuldigd met een matrix factor om rekening te houden met de verschillen tussen het aantal voertuigen tussen 2015 en 2025.



Figuur 6: Situatie rondom de B-pier in 2025 op Schiphol en ongevalsscenario

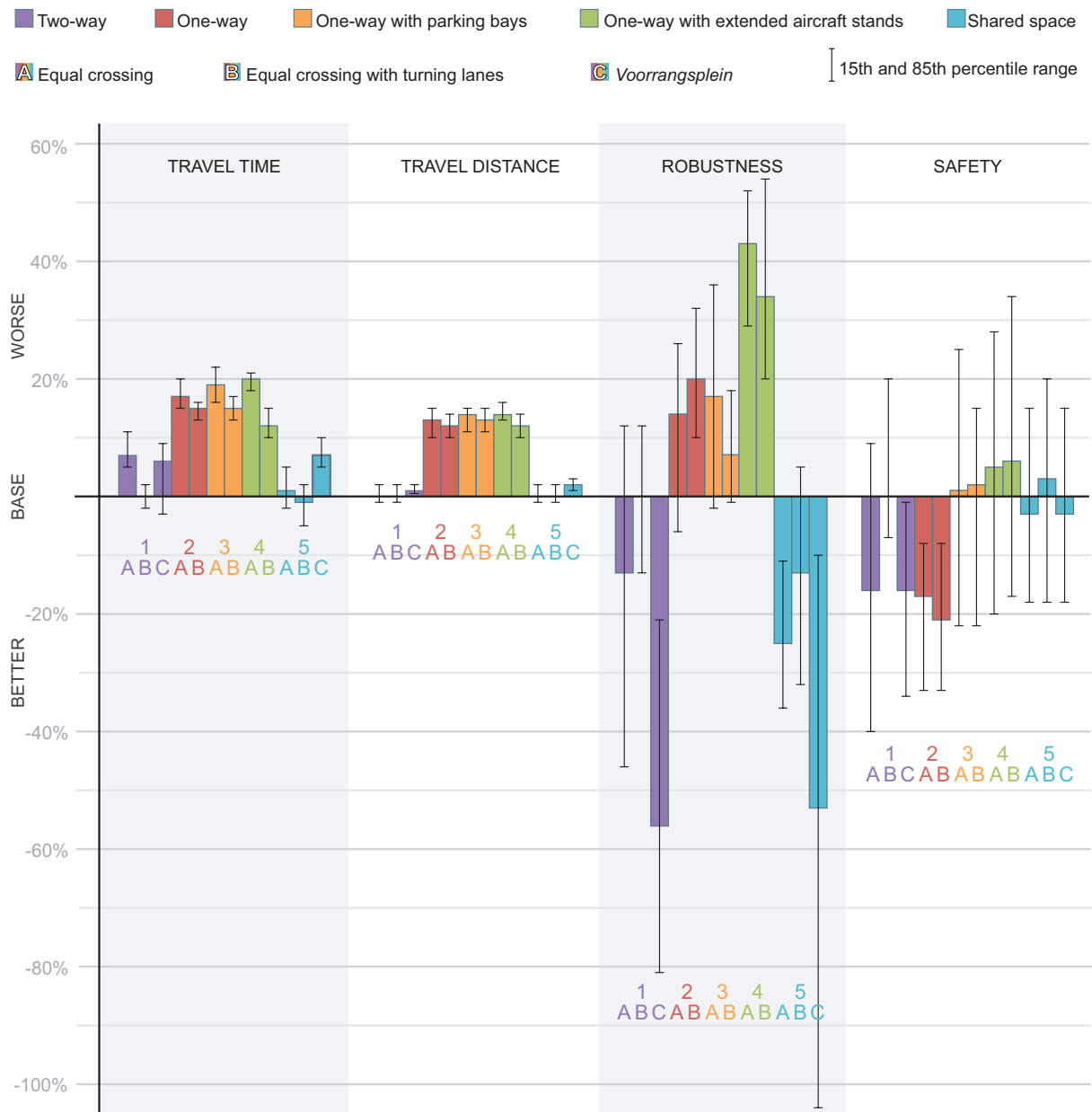
### Meting van effecten

Het ruimtegebruik en de kosten van de alternatieven zijn onderdeel van de ontwerpspecificaties. De effecten op reistijd, reisafstand, robuustheid en veiligheid worden bepaald op de volgende manier:

- reistijd: de totale reistijd van alle voertuigen gedurende de gehele simulatieperiode
- reisafstand: de totale reistijd van alle voertuigen gedurende de gehele simulatieperiode
- robuustheid: het percentage aan extra reistijd als de gehele wegsectie aangegeven in het ongevalsscenario van figuur 6 afgesloten is gedurende de gehele simulatieperiode
- veiligheid: het aantal conflicten geïdentificeerd in SSAM. Voertuigtrajecten waarbij de TTC lager is dan de drempelwaarde 1,3 seconden (Hyden, 1987). Conflicten met een  $TTC=0$  en  $PET=0$  worden uitgesloten van de resultaten (Caliendo & Guida, 2012).



### 3.2 Resultaten



Figuur 7: Resultaten van de alternatieven ten opzichte van de basissituatie

#### Beste wegsectieontwerp

Ontwerpen van wegverkeerssystemen die verkeer in meerdere richtingen rondom de pier toelaten hebben betere resultaten voor reistijd, reisafstand en robuustheid, zoals te zien is in figuur 7. De *shared space* (5-) alternatieven hebben de laagste totale reistijd en extra reistijd in het ongevalscenario. Voertuigen in de tweerichtingsverkeeralternatieven (1-) leggen de minste reisafstand af. Bij ontwerpen met eenrichtingsverkeer (2-, 3- en 4-), waar verkeer maar in één richting rondom de pier kan reizen, is het aantal conflicten het laagst en is hebben de beste veiligheidsresultaten. Wegsectieontwerpen met inhaalgebieden (3- en 4-) leiden tot betere reistijdresultaten en slechtere veiligheidsresultaten in vergelijking met wegsectieontwerpen die één rijstrook hebben per richting (2-).

### *Beste knooppuntontwerp*

In figuur 7 is te zien dat gelijke kruisingen met aparte afslagen voor links afslaand verkeer (-B) resulteren in betere reistijd- en reisafstandresultaten. Wegontwerpen met gelijke kruisingen (-A) hebben de beste veiligheidsresultaten volgens de simulatieresultaten. Er moet echter worden opgemerkt dat er conflicten ontstaan aan het begin van de afslagstrook door beperkingen in VISSIM, als deze conflicten niet mee worden genomen hebben de gelijke kruisingen met aparte afslagen (-B) de beste veiligheidsresultaten. Het voorrangsplein (-C) heeft de beste robuustheid.

### *Vergelijking met de basissituatie*

Er is geen enkel alternatief dat voor elk aspect het beste resultaat heeft, en er is geen enkel alternatief dat alle aspecten van de basissituatie (1B) verbetert. Het alternatief *Shared space* gecombineerd met gelijke kruisingen met aparte afslagen (5B) heeft een lagere reistijd dan de basissituatie. De reisafstand van de basissituatie is het kortst, en kan niet worden verbeterd. De andere tweerichtingsverkeeralternatieven (1-) en alle *shared space*-alternatieven (5-) hebben een lager percentage extra reistijd in het ongevalscenario en zijn meer robuust. Er is groot aantal alternatieven dat het aantal conflicten vermindert. Door te kiezen voor een van de twee andere tweerichtingsverkeeralternatieven (1-), de eenrichtingsverkeeralternatieven(2-), het *shared space* met gelijke kruisingenalternatief (5A) of het *shared space* met voorrangspleinalternatief (5C) wordt de veiligheid verbeterd.

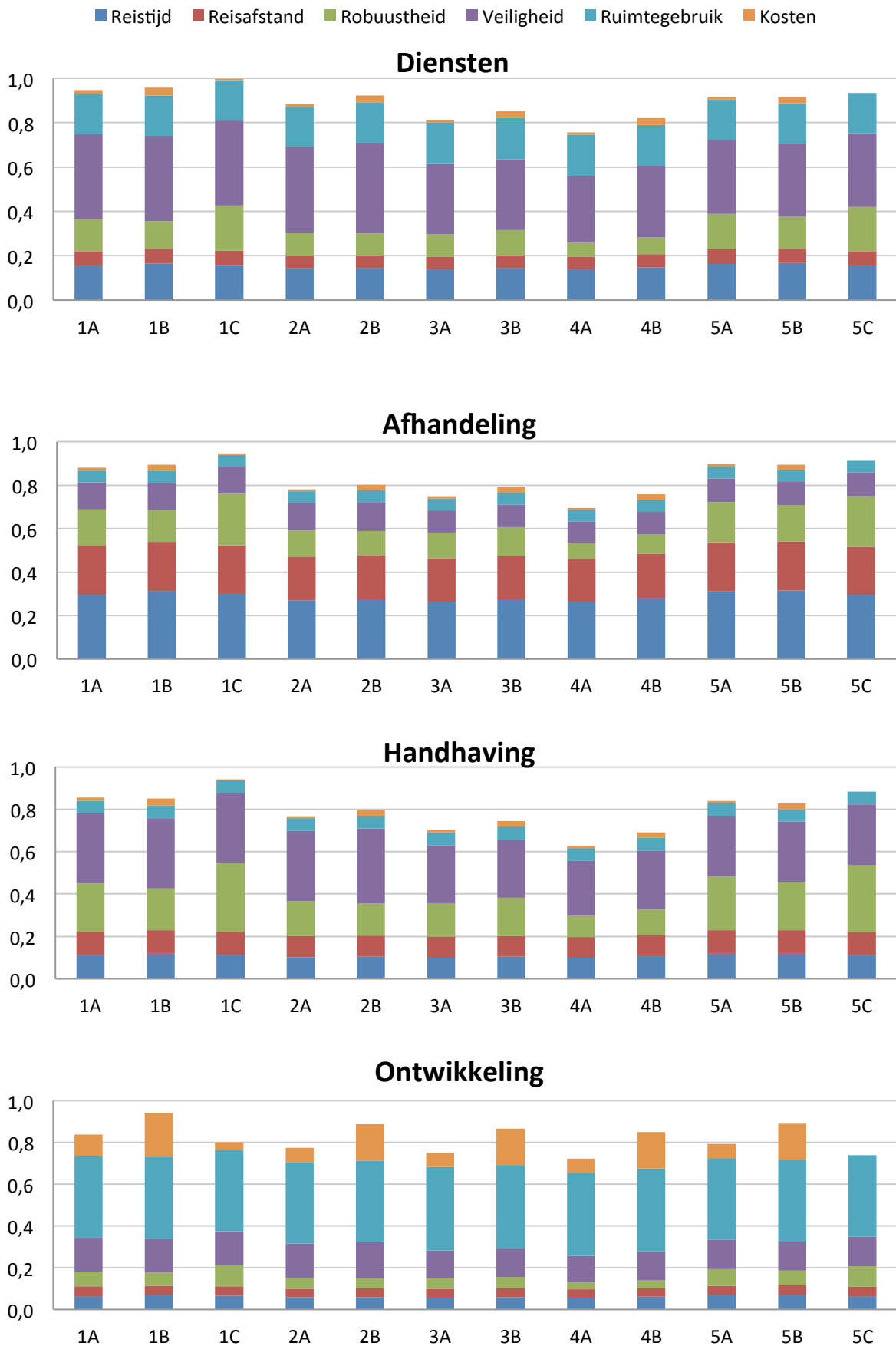
### *3.3 Generieke netwerkvormen*

Het wegverkeerssysteem aan de luchtzijde van Schiphol bestaat uit een ringweg met vijf pieren die verbonden zijn met de ringweg als onafhankelijke subsystemen en twee pieren die een integraal onderdeel zijn van het gehele systeem. Pier B is een integraal onderdeel van het gehele systeem. Om de effecten van reistijd, reisafstand, robuustheid en veiligheid te bepalen voor de andere pieren zijn vijf ontwerpalternatieven getest op twee generieke pier configuraties.

De configuratie van het wegverkeerssysteem heeft invloed op het aantal mogelijke routes voor een weggebruiker. Verkeer heeft meerdere route opties van herkomst naar bestemming wanneer de pier een integraal onderdeel is van het wegverkeerssysteem. Als de pier een onafhankelijk subsysteem is, is er maar één route voor doorgaand verkeer. Afhankelijk van de configuratie en ontwerp van het subsysteem, zijn er één of meerdere routes voor het bestemmingsverkeer.

Het wegsectieontwerp met de beste prestaties verandert niet als de configuratie van de pier verandert. De alternatieven van tweerichtingsverkeer en *shared space* hebben de beste resultaten voor reistijd, reisafstand en robuustheid. Bij ontwerpen met eenrichtingsverkeer is de veiligheid het best.

Voor de aspecten reisafstand en robuustheid veranderen de beste knooppuntontwerpen. Gelijke kruisingen met aparte afslagen resulteren in de beste reistijd-, robuustheid- en veiligheid resultaten, maar de reisafstand is beter wanneer een gelijke kruising zonder aparte afslagen wordt toegepast. Het veranderen van de functionaliteiten van de pier heeft een gelijkmatig verdeeld effect op de ontwerpalternatieven, en verandert de uitkomst van beste ontwerpalternatieven niet.



Figuur 8: Totale effectscores van de alternatieven voor de verschillende groepen

### 3.4 Beoordeling en implementatie

De effecten van de ontwerpen op de aspecten worden beoordeeld in een multi-criteria-analyse. De multi-criteria-analyse houdt rekening met de verschillende aspecten en laat gewichten toe in de beoordeling. De effecten van de ontwerpalternatieven zijn gestandaardiseerd met de methode van maximale standaardisatie. Het overzicht van gestandaardiseerde effect scores geeft een systematisch overzicht van de consequenties van de verschillende ontwerpen.

De actoren die betrokken zijn bij het besluitvormingsproces voor het ontwerp van het luchtzijdige wegverkeerssysteem zijn onder te verdelen in vier groepen. De afdelingen van Schiphol '*Process management airside*' (PMA), '*Analysis, development, and innovations*' (ADI) en '*Construction & maintenance control*' (CMC) zijn de groep 'Diensten'. De groep 'Afhandeling' bestaat uit het busbedrijf en de afhandelaren. De *authority officers*, de 'Koninklijke Marechaussee' (kMar) en de Douane vormen de groep 'Handhaving'. En de groep 'Ontwikkeling' bestaat uit de afdeling Development. Hoe belangrijk elke actorgroep de zes aspecten vinden ten opzichte van elkaar, bepaalt hun set van gewichten.

De vier sets van gewichten en een set met gelijke gewichten worden toegepast in de beoordeling van de ontwerpalternatieven op basis van gestandaardiseerde effectscores. De gestandaardiseerde effectscores vermenigvuldigt met de sets van gewichten geven de totale effectscores van de vier actorgroepen, die figuur 8. De totale effectscores laten zien dat het ontwerp met tweerichtingsverkeer met voorrangsplein het meest effectieve ontwerp is voor pier B voor drie van de vier actorgroepen. Voor de groep 'Ontwikkeling' is het ontwerp van de basissituatie, tweerichtingsverkeer met gelijke kruisingen met aparte afslagen, het beste. Voor de generieke pierconfiguraties is het ontwerp van de basissituatie het meest effectief.

De ontwerpalternatieven die zijn besproken en toegepast in dit onderzoek vereisen kleine infrastructurele ingrepen. Deze ingrepen zouden waar mogelijk gepland moeten worden binnen al geplande werkzaamheden. Wanneer er voldoende budget is vrijgemaakt kan het ontwerp in een paar maanden worden geïmplementeerd.

## 4. Conclusies en discussie

De hoofdvraag van dit onderzoek is hoe het ontwerp van het luchtzijdige wegverkeerssysteem kan worden verbeterd. Het ontwerp in de basissituatie rond pier B is tweerichtingsverkeer en gelijke kruisingen met aparte afslagen. Het tweerichtingsverkeer met gelijke kruisingenalternatief verbetert de robuustheid en veiligheid in alle pierconfiguraties, en verbetert de reisafstand in de bij de pieren met twee aansluitingen op de hoofdweg. Het tweerichtingsverkeeralternatief met voorrangsplassen verbetert de robuustheid in alle configuraties en de veiligheid voor pier B. Het eenrichtingsverkeer met gelijke kruisingenalternatief verbetert de veiligheid wanneer deze is toegepast op pier B; dit alternatief is niet toegepast op andere configuraties. Het eenrichtingsverkeeralternatief en gelijke kruisingen met aparte afslagen verbetert de veiligheid in alle pierconfiguraties. De eenrichtingsverkeeralternatieven met parkeerhavens en verlengde vliegtuig opstelplaatsen zijn alleen toegepast op pier B, en verbeteren allemaal het ruimtegebruik. De *shared space*-alternatieven met gelijke kruisingen en voorrangsplassen verbeteren de

robustheid, maar zijn alleen getest op pier B. Het *shared space* en gelijke kruisingen met aparte afslagen alternatief verbetert de reistijd en robustheid voor alle pierconfiguraties.

De hoofdconclusie is dat de twaalf besproken en toegepaste infrastructurele ontwerpalternatieven allemaal tenminste één van de zes aspecten verbeteren ten opzichte van de basissituatie. Er is geen ontwerpalternatief dat alle aspecten verbetert. Op basis van de beoordeling van de meerderheid van de actorengroepen is het ontwerp met tweerichtingsverkeer met voorrangsplein het beste ontwerp voor pier B. En de *shared space* en gelijke kruisingen met aparte afslagen of voorrangspelinen scoren ook beter dan het basisontwerp in de beoordeling. Verder onderzoek naar deze drie ontwerpen, en in het bijzonder naar het ontwerp met tweerichtingsverkeer met voorrangsplein, behoort dan ook tot de aanbeveling. In de generieke pierconfiguratie is het huidige ontwerp het beste, met daarna het ontwerp tweerichtingsverkeer met gelijke kruisingen.

Nader onderzoek kan zich richten op de rijomstandigheden aan de luchtzijde en hoe deze moeten worden vertaald naar verkeerssimulatiestudies en de applicatie van *shared space* in simulatiemodellen. Een breder beeld van alle kosten en beleidsalternatieven kan deel uitmaken van verder onderzoek naar het luchtzijdige wegverkeerssysteem van Schiphol.

## Literatuur

Ariza, A. (2011). *Validation of road safety surrogate measures as a predictor of crash frequency rates on a large-scale microsimulation network*. Toronto: University of Toronto.

Borsboom, M. (2012). *Research on the safety, robustness, reliability and utilization of the traffic system on the airside of Amsterdam Airport Schiphol*. Delft: TU Delft.

Caliendo, C., & Guida, M. (2012). Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts. *Journal of transportation engineering*, 1453-1467.

CROW. (2002). *Handboek wegontwerp buiten de bebouwde kom*. Ede: CROW.

FHWA. (2008). *Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)*. Georgetown Pike: U.S. Department of Transportation.

Gayah, V., & Daganzo, C. (2012). Analytical capacity comparison of one-way and two-way signalized street networks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 76-85.

Grontmij. (2002). *Leidraad model- en evaluatiestudies benuttingsmaatregelen*. Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Horst, E. van der (2014). *A study on the network performance of the road traffic system on airside at Amsterdam Airport Schiphol*. Delft: TU Delft.

Hyden, C. (1987). *The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflict technique*. Department of traffic planning and engineering. Lund: University of Lund, Lund institute of technology.

Jong, E. de (2016). *Optimisation of the airside road traffic system around the piers of Amsterdam Airport Schiphol*. Delft: TU Delft.

Pond, A. (2014). *Airside drivers handbook Brisbane Airport*. Brisbane: Brisbane Airport.

Provincie Friesland. (2005). *Shared Space: Ruimte voor iedereen*. Groningen: PlantijnCasparie.

PTV AG. (2012). *VISSIM 5.40 - User manual*. Karlsruhe: PTV AG.  
Schiphol Group. (2016). *Feiten en cijfers 2015*. Schiphol: Schiphol Group.  
Stemley, J. (1998). One-way streets provide superior safety and convenience. *ITE Journal* , 47-50.  
SWOV. (2012). *SWOV-Factsheet Rotondes*. Leidschendam: SWOV.