

De waarde van robuustheid

Bepaling van vuistregels robuustheid voor MKBA's

Definitief

In opdracht van:
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Grontmij Nederland B.V.
Infrastructuur & Milieu
De Bilt, 21 januari 2010

Verantwoording

Titel : De waarde van robuustheid
Subtitel : Bepaling van vuistregels robuustheid voor MKBA's
Projectnummer : 277316
Referentienummer : I&M-1015546-MK/jj
Revisie : E
Datum : 21 januari 2010

Auteur(s) : dr.ir. M.E. (Mariëtte) Kraan, dr.ir. H. (Huizhao) Tu,
ir. J. (Hans) Drolenga, drs. G.F. (Guus) Tamminga

E-mail adres : mariette.kraan@grontmij.nl

Gecontroleerd door : ir. G.H.A.M. (Guido) Vos

Paraaf gecontroleerd :

Goedgekeurd door : dr. G.A. (Bert) van Velzen

Paraaf goedgekeurd :

Contact : De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 30 220 74 44
F +31 30 220 02 94
infraenmilieu@grontmij.nl
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Aanpak.....	6
3	Verdiepingsslag incidenten.....	9
3.1	Inleiding.....	9
3.2	Werkwijze.....	9
3.3	Analyse.....	10
3.4	Verschillen in resultaten Robuustheidsscanner tussen oorspronkelijke en aangepaste incidentkans.....	13
4	Resultaten Robuustheidsscanner.....	14
4.1	Afhankelijkheid tussen I/C-verhouding en kwetsbaarheid en rijstroken.....	14
4.1.1	“Absolute” kwetsbaarheid.....	14
4.1.2	Relatieve kwetsbaarheid.....	18
4.1.3	Analyse van de spreiding.....	21
4.1.4	Conclusies ten aanzien van de relatie tussen kwetsbaarheid en I/C.....	23
4.2	Afhankelijkheid tussen I/C-verhouding en effect per incident en rijstroken.....	24
4.3	Effect van een project op zowel I/C-verhouding als kwetsbaarheid.....	29
4.3.1	Netwerkniveau.....	29
4.3.2	Verandering in kwetsbaarheid.....	33
4.3.3	Individuele wegvakken.....	33
5	Conclusies.....	39
5.1	Incidentkans.....	39
5.2	Relatie tussen kwetsbaarheid en I/C-verhouding.....	39
5.3	Effect per incident en relatie met I/C-verhouding.....	40
5.4	Effect van project op kwetsbaarheid.....	40
5.5	Aanbevelingen.....	41
Bijlage 1	Kaarten met de top 50 van kwetsbare wegvakken	
Bijlage 2	Verschillen tussen oorspronkelijke en aangepaste incidentkans	
Bijlage 3	Tabellen en figuren standaarddeviatie kwetsbaarheid	
Bijlage 4	Tabellen en figuren relatieve kwetsbaarheid	
Bijlage 5	Scatterplots kwetsbaarheid per I/C-verhouding naar aantal rijstroken	
Bijlage 6	Tabellen en figuren standaarddeviatie effect per incident (extra reistijd)	
Bijlage 7	Netwerkeffect op kwetsbaarheid en voertuigkilometers	
Bijlage 8	Effect op kwetsbaarheid voor individuele wegvakken	

1 Inleiding

Aanleiding

Op verzoek van het Directoraat-Generaal Mobiliteit (DGMo) onderzoekt het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) de mogelijkheden om de effecten op de robuustheid van wegennetwerken beter te verankeren in maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's).

Bij robuustheid gaat het hierbij om de effecten van incidenten, dus niet de 'normale' spreiding in reistijden. De studie richt zich met name op verkenningen en planstudies, waarbij in dit onderzoek geconcentreerd wordt op de weg.

Een eerste concept-tussenrapportage van het KiM met resultaten van deskresearch en een aantal interviews is inmiddels gereed. Hierin wordt geconstateerd dat de informatie ontbreekt om voldoende vuistregels te kunnen geven die standaard toegepast kunnen worden in een MKBA. Het gaat hier met name om de effecten van nieuwe verbindingen en verbredingen van bestaande wegen op netwerkniveau, en de relatie tussen de I/C-verhouding en de mate van kwetsbaarheid (als tegenhanger van robuustheid).

Tevens ontbreekt een standaardmethode om voor individuele projecten het effect op robuustheid in kaart te brengen. Dit terwijl er modellen beschikbaar zijn die de effecten op robuustheid in beeld brengen en bepalen. Hoewel de beschikbare modellen duidelijke nadelen hebben, zijn ze wel geschikt om meer kwantitatief inzicht te geven in de orde van grootte van het effect op robuustheid.

Doel

Doel van het project is om modelmatig robuustheidseffecten op netwerkniveau door te rekenen van een aantal projecten, gemeten in een toename van reistijden en/of voertuigverliesuren. In het geval van Grontmij wordt de Robuustheidsscanner toegepast om deze effecten in beeld te brengen.

Robuustheid en de Robuustheidsscanner

Robuustheid is een nog relatief nieuw aandachtsveld binnen de verkeerskunde. Wij definiëren de robuustheid van een netwerk als:

Het vermogen van een netwerk om de gevolgen van een capaciteitsvermindering door een incident op te vangen. Er wordt daarbij verondersteld dat de weggebruiker voldoende en betrouwbare alternatieven krijgt aangeboden, ook bij onvoorspelbare gebeurtenissen.

Bij Grontmij is, in samenwerking met DVS, een instrument ontwikkeld, de Robuustheidsscanner, om de robuustheid van een netwerk volgens deze definitie in beeld te brengen. De Robuustheidsscanner bepaalt op systematische wijze welke schakels in een netwerk het meest kwetsbaar zijn. Daarbij wordt zowel rekening gehouden met de kans op een ongeval als met het negatieve effect dat door een ongeval wordt veroorzaakt.

De methodiek die in de Robuustheidsscanner wordt toegepast kan als volgt worden omschreven:

- Selectie van een groot aantal kritieke wegvakken:
De Robuustheidsscanner bepaalt hoe groot de kans op een incident is en hoeveel verkeer er geblokkeerd raakt bij een incident waarbij 1 rijstrook wordt afgesloten en de overige rijstroken een gereduceerde capaciteit krijgen. Dit levert 'in potentie kwetsbare schakels'. Het aantal kritieke wegvakken dat geselecteerd wordt is 250. Dit aantal blijkt ruim voldoende te zijn: alle kwetsbare wegvakken zijn hiermee afgedekt, zie ook paragraaf 4.3.1. Grote kwetsbaarheid beperkt zich vooral tot de eerste tien wegvakken, daarna neemt de kwetsbaarheid snel af. Na de top 100 is de kwetsbaarheid per wegvak heel klein.

- Bepaling van de capaciteit van alternatieve routes:
Er wordt nagegaan of het netwerk voldoende capaciteit heeft om het verkeer via alternatieve routes om te leiden.
Door de totale extra reistijd van het verkeer bij een incident te berekenen, bepaalt de Robuustheidsscanner welke schakels relatief kwetsbaar zijn.

2 Aanpak

In het kader van deze studie hebben wij een aantal analyses uitgevoerd met de Robuustheids-scanner. Hiertoe zijn reeds eerder uitgevoerde runs met het NRM¹ gebruikt van vijf projecten waarvan in een aantal gevallen meerdere varianten doorgerekend zijn. In totaal kunnen we daarom acht vergelijkingen maken tussen project- en nulalternatief. Omdat het om de algemene effecten gaat, benoemen we de projecten niet. De projecten hebben de volgende kenmerken:

- Het betreft drie wegverbredingen en vijf nieuwe verbindingen
- Het betreft drie projecten in de Noordvleugel van de Randstad, vier in de Zuidvleugel en één buiten de Randstad.

De eerste selectie van een groot aantal potentieel kwetsbare wegvakken wordt bepaald door de incidentkans. Deze kans is in de oorspronkelijke versie van de Robuustheids-scanner gebaseerd op SWOV kentallen die het aantal incidenten per voertuigkilometer per wegtype weergeeft. Voor alle wegvakken van het zelfde type (rijkswegen, provinciale wegen, lokale wegen) is dit kental gelijk. Zo is het kental voor autosnelwegen 0,06 incidenten per miljoen voertuigkilometer en voor autowegen 0,18 incidenten per miljoen voertuigkilometer. De SWOV-kentallen zijn gebaseerd op door de politie geregistreerde letselongevallen en zijn voor een bepaald wegtype generiek over heel Nederland bepaald. Op basis van onderzoek² blijkt de incidentkans op in-, uitvoegers en weefvakken hoger te zijn dan op normale wegvakken. Daarom is bij aanvang van deze studie de incidentkans in de Robuustheids-scanner aangepast voor wegvakken met een in- en/of uitvoeger en weefvakken. Voor dergelijke wegvakken is de incidentkans verhoogd.

Daarnaast is tijdens deze studie een verdiepingsslag uitgevoerd naar de incidentkans op de hoofdwegen, met als doel de incidentkans in de Robuustheids-scanner afhankelijk te maken van het rijbaantype (normaal, weefvak, in- of uitvoeger) en het aantal rijstroken. Voor deze verdiepingsslag is een database van VCNL gebruikt met daarin alle geregistreerde incidenten (ongevallen en pechgevallen) op het hoofdwegenet waar IncidentManagement wordt toegepast. (zie hoofdstuk 3 voor deze incidentanalyse).

Op basis van deze verdiepingsslag is de incidentkans in de Robuustheids-scanner aangepast. En vervolgens zijn de projecten (referenties en varianten) opnieuw doorgerekend.

1. Robuustheid en I/C

Gevraagd is om te onderzoeken of er een relatie gelegd kan worden tussen de I/C-waarde van wegvakken en de kwetsbaarheid gemeten in reistijdverlies als gevolg van een incident. Het gaat hier om een gemiddelde in het gehele netwerk.

Anders dan in de onderzoeken waarbij de nadruk wordt gelegd op de meest kwetsbare wegvakken, is het in deze studie de bedoeling om de focus te verbreden. Ook weinig kwetsbare wegvakken zijn zinvol om in het onderzoek mee te nemen.

Voor elk project bepalen we daarom aan de hand van de incidentkans en het aantal geblokkeerde voertuigen, de kwetsbaarheid van een groot aantal wegvakken (250, alleen au-

¹ NRM: Nieuw Regionaal Model: modellen eigendom van Rijkswaterstaat. De gebruikte NRM's hebben basisjaar 2000 en prognosejaar 2020.

² Kraaijeveld, R., "Onderzoek naar de identificatie van kwetsbare wegvakken", Afstudeeropdracht Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, 2008.

tosnelwegen), zowel voor de ochtend- als de avondspitsperiode, maar ook voor de restdag. De gevolgen van de incidenten bepalen we aan de hand van:
 $kwetsbaarheid = incidentkans * verliestijd \text{ (in voertuigminuten)}$

Wij hebben de gemiddelde kwetsbaarheid bepaald van de wegvakken ingedeeld naar I/C-waarde en het aantal rijstroken.

Vervolgens is met statistische analyses nagegaan of er ook een significant verband kan worden gelegd tussen de kwetsbaarheid en de mogelijk verklarende wegvakkenmerken (I/C-waarde en aantal rijstroken). De kwetsbaarheid wordt niet alleen bepaald door de I/C-waarde van een wegvak, maar ook door de restcapaciteit op de alternatieve routes.

Tevens is de relatie tussen het effect van een incident (de verliestijd in het netwerk als gevolg van de afsluiting van één rijstrook) en de I/C-verhouding onderzocht (dus zonder de incidentkans).

2. Robuustheidseffect projectalternatieven

Daarnaast is gevraagd naar het doorrekenen van het robuustheidseffect van wegverbredingen en nieuwe verbindingen van de aangeleverde NRM-output.

Het gaat hierbij steeds om het verschil tussen de referentie en het project, waarbij wij gebruik hebben gemaakt van een gedeeltelijke afsluiting van een wegvak.

Zoals in het project Mainport Zuid al is toegepast, wordt voor de referentie en het projectalternatief de kwetsbaarheid van alle (autosnel)wegen binnen het studiegebied bepaald en gesommeerd. Bij uitbreiding van de wegvakcapaciteit door de aanleg of verbreding, zal de kwetsbaarheid van het wegennet naar verwachting afnemen. Omdat in het NRM de uitbreiding van de capaciteit een toename van het aantal autobewegingen oplevert, kan dat echter weer leiden tot een positieve bijdrage aan de kwetsbaarheid. Het netto-effect, dat wil zeggen de totale kwetsbaarheid afgezet tegen het totaal aantal voertuigkilometers, wordt in beeld gebracht.

Daarnaast is het totaal aantal voertuigverliesuren berekend voor het hele netwerk en vergeleken met de kwetsbaarheid. Het doel hiervan is om te achterhalen hoe belangrijk de kwetsbaarheid in een MKBA is in vergelijking met andere factoren, zoals de voertuigverliesuren.

In principe worden runs gedraaid voor de spitsperiode (ochtend en avond) en de niet-spitsperiode.

Voor de niet-spits wordt in het NRM normaliter een alles-of-niets toedeling gebruikt. In dit geval is gekozen voor om een capaciteitsgevoelige toedeling, omdat bij een blokkade (in het alternatief) tegen capaciteitsbeperkingen aangelopen wordt.

De situatie buiten de spits kent een hoge variatie in wegvakbelasting. De nachtperiode heeft erg lage intensiteiten, terwijl er overdag tussen de spitsen relatief veel verkeer is. Vanwege deze verschillen binnen de restdagperiode is de restdagperiode gesplitst in een nacht- en een overdagperiode. De rittenmatrix voor deze dagdelen wordt afgeleid van de restdagmatrix. Hieronder staat de factor waarmee de restdagmatrix is aangepast voor de periode overdag en de nachtperiode.

De NRM-matrices zijn éénuursmatrices. Om de totale vervoersstromen (voor de hele periode) te bepalen worden daarvoor deze éénuursmatrices vermenigvuldigd met een factor. Voor beide spitsperiodes (07:00 - 09:00 en 16:00 - 18:00) is die factor 2. Voor de restdagperiode (die totaal 20 uur bedraagt) is die factor (die in het NRM wordt toegepast) 12.19 voor personenverkeer (en 10.42 voor vrachtverkeer). Dit heeft te maken met de veel lagere verkeersintensiteit gedurende de nacht dan gedurende de periode overdag.

Om van de eenuursmatrix voor de restdag naar de hele restdag te komen vermenigvuldigen we de matrix met 12,19 voor personenauto's en 10,42 voor vracht.

De eenuursmatrix voor de restdag is zo te gebruiken voor de overdagperiode. De overdagperiode duurt 7 uur, dus voor de hele overdagperiode vermenigvuldigen we met 7.

De nachtperiode is dan de rest: totale restdag min overdag= "éénuursmatrixRD" * (12,19 - 7)
De nachtperiode duurt 13 uur, dus deze totale matrix delen door 13 en dan heb je de eenuurs-
matrix die bij de nacht hoort. $(12,19 - 7)/13 = 0.4$.

3 Verdiepingslag incidenten

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de uitgevoerde kennisverdieping naar de incidentkans in de Robuustheidsscanner. Voor de bepaling van de kans op incidenten wordt in de huidige Robuustheidsscanner nog gebruik gemaakt van SWOV-kentallen. Deze kentallen zijn gebaseerd op de door de politie geregistreerde letselongevallen in het bestand BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland) en berekende motorvoertuigkilometers (op basis van intensiteiten en weglengtes). Naast deze geregistreerde letselongevallen gebeuren er echter ook ongevallen die niet worden geregistreerd. De registratiegraad van UMS³-ongevallen ligt laag, en ook incidenten als pech worden niet in BRON geregistreerd. Kortom, er gebeuren op de wegen meer incidenten dan alleen geregistreerde letselongevallen.

In dit hoofdstuk worden de werkzaamheden beschreven die uitgevoerd zijn om tot een incidentkans te komen die de lading beter dekt. Hiervoor is gebruik gemaakt van een incidentmanagement database van bergers voor de jaren 2000 t/m 2003 en 2005 t/m 2007. Deze database bevat voor deze jaren op wegen waar incident management is ingevoerd, de meldingen waarvoor een berger is uitgerukt.

Op wegen waar incident management is ingevoerd, waarschuwt de politiemeldkamer bij een incidentmelding direct, zonder dat politieursveillanten of weginspecteurs ter plaatse zijn geweest, het Centraal Meldpunt Incidenten (CMI) dat op zijn beurt zo snel mogelijk een berger inschakelt. Hierdoor wordt de gemiddelde duur van een incident sterk verlaagd. Gevolg is wel dat een berger ook zogenoemde loze ritten maakt. Ritten waarbij op de incidentlocatie blijkt dat berging niet nodig is. Deze loze ritten zitten ook in de database, we hebben onze analyses uitgevoerd op de gehele database. Daarmee is impliciet de aanname gemaakt dat het percentage loze ritten voor alle wegtypen en tijdsperiodes gelijk is verondersteld. Verder worden in de incidentmanagementdatabase het wegnummer, weghectometrering, rijrichting en tijdstip van het incident gelogd.

3.2 Werkwijze

Op basis van wegnummer, weghectometrering en rijrichting hebben wij een koppelingsleutel gemaakt waarmee de incidenten zijn gekoppeld aan wegkenmerken uit het NWB. Deze wegkenmerken zijn het aantal rijstroken (1, 2, 3 of 4) en type weg (normaal, invoegstrook, uitvoegstrook of weefvak/splitsing). Helaas hadden we geen intensiteiten van de wegen tot onze beschikking, zodoende was het niet mogelijk om motorvoertuigkilometers te berekenen. Wel is de lengte van de weg gebruikt om tot een normering te komen.

³ Uitsluitend materiële schade

3.3 Analyse

Resultaat van de koppeling⁴ tussen de incidenten en de wegkenmerken is het aantal incidenten voor de jaren 2000 t/m 2003 en 2005 t/m 2007 (op zowel werk- als weekenddagen) gespecificeerd naar aantal rijstroken, type weg en tijdsperiode (spits en buiten spits). De spitsperiode bestaat uit een twee uur durende ochtend- en avondspits en de periode buiten de spits uit twintig uur.

Tabel 3.1 Totaal aantal incidenten naar aantal rijstroken, type weg en tijdsperiode over de jaren 2000 t/m 2003 en 2005 t/m 2007, alle dagen

Aantal rijstroken	Tijdsperiode	Normaal	Invoegstrook	Uitrijstrook	Weef/splitsing
1	Spits	467	83	1011	1004
	Buiten spits	1225	150	1782	2159
2	Spits	5973	3833	5082	4257
	Buiten spits	12359	7400	10593	9096
3	Spits	512	-	1077	848
	Buiten spits	1103	-	2458	1675
4	Spits	121	-	-	-
	Buiten spits	294	-	-	-

Bovenstaande tabel geeft alle gemelde incidenten in de IM-database (voor IM-wegen) die gekoppeld konden worden met wegkenmerken. Het gaat om een totaal van 74.562 incidenten, waarvan er 24.268 tijdens de spitsperiodes en 50.294 buiten de spitsperiodes hebben plaatsgevonden. Om te komen tot een gemiddeld aantal incidenten per uur delen we door het aantal jaren (7), het aantal dagen per jaar (365) en het aantal uren per periode (4 voor de spitsperiodes en 20 voor de periode buiten de spitsen). Dat komt op een gemiddelde van 2,4 incidenten per uur tijdens de spitsen en 1 incident per uur buiten de spits.

Geconcludeerd kan worden dat de meeste incidenten plaatsvinden buiten de spits. In onderstaande tabel is het aantal incidenten naar aantal rijstroken, type weg en tijdsperiode gedeeld door het aantal uur in de betreffende tijdsperiode, en naar boven afgerond. Het aantal incidenten is tevens gedeeld door het aantal jaren en aantal dagen (7*365) om te komen tot een gemiddeld aantal incidenten per uur. Resultaat is het gemiddeld aantal incidenten per uur in de betreffende tijdsperiode gespecificeerd naar aantal rijstroken en type weg, weergegeven in onderstaande tabel. Hieruit blijkt dat het aantal incidenten per uur in de spits hoger ligt dan buiten de spits.

Tabel 3.2 Gemiddeld aantal incidenten per uur in betreffende tijdsperiode naar aantal rijstroken en type weg, jaren 2000 t/m 2003 en 2005 t/m 2007

Aantal rijstroken	Tijdsperiode	Normaal	Invoegstrook	Uitrijstrook	Weef/splitsing
1	Spits	0,046	0,008	0,099	0,098
	Buiten spits	0,024	0,003	0,035	0,042
2	Spits	0,584	0,375	0,497	0,416
	Buiten spits	0,242	0,145	0,207	0,178
3	Spits	0,050	-	0,105	0,083
	Buiten spits	0,022	-	0,048	0,033
4	Spits	0,012	-	-	-
	Buiten spits	0,006	-	-	-

⁴ Bijna de helft van het totaal aantal incidenten kon niet gekoppeld worden met het NWB omdat één van de locatieaanduidingen (wegnummer, hectometrering, weghelft) ontbrak, of omdat het incident niet op een snelweg plaatsvond. In deze analyse zijn alleen incidenten op snelwegen meegenomen.

De waarden in de bovenstaande tabel tellen voor de spitsperiode op tot 2,4 incidenten per uur en buiten de spits tot 1,0 incidenten per uur, wat overeenkomt met het berekende gemiddelde onder tabel 3.1.

Om het aantal incidenten naar aantal rijstroken en wegtype verder met elkaar te kunnen vergelijken is het noodzakelijk om te normaliseren naar weglengte. We berekenen dus het aantal incidenten per km weglengte naar het aantal rijstroken en wegtype. Uit het NWB (Nationaal Wegen Bestand) hebben we de lengte van de wegvakken berekend. Punt is echter dat een wegvak in het NWB meerdere aantallen rijstroken en typen weg kan hebben. De eigenschappen van een wegvak hebben we voor de gehele lengte aangenomen als de eigenschappen van het gedeelte van het wegvak met de grootste lengte. De lengtes moeten dus met enige voorzichtigheid worden bekeken. In onderstaande tabel zijn deze lengtes weergegeven, op hele kilometers afgerond.

Tabel 3.3 *Totale weglengte in km's naar aantal rijstroken en type weg voor IM-wegen (waarvoor de incidenten gekoppeld kunnen worden met wegkenmerken uit het NWB)*

Aantal rijstroken	Normaal	Invoegstrook	Uitrijstrook	Weef/splitsing
1	12	3	9	7
2	78	53	67	31
3	3	-	6	4
4	1	-	-	-

In onderstaande tabel is het gemiddelde aantal incidenten per uur gedeeld door de weglengte zodat vergelijking mogelijk is. Wanneer men het aantal incidenten en de weglengte in de voorgaande tabellen door elkaar deelt wordt niet altijd tot onderstaande waarden gekomen, dit is het gevolg van afronden in het aantal incidenten en weglengte.

Tabel 3.4 *Gemiddeld aantal incidenten per uur in betreffende tijdsperiode per km weglengte naar aantal rijstroken en type weg jaren 2000 t/m 2003 en 2005 t/m 2007, voor IM-wegen*

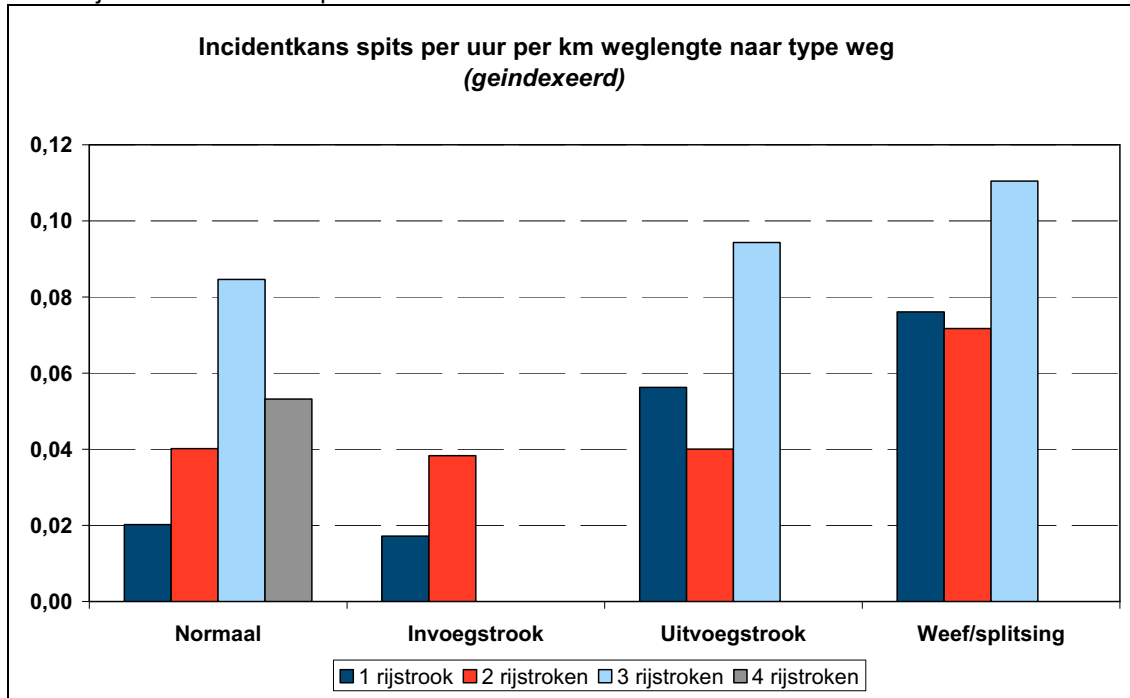
Aantal rijstroken	Tijdsperiode	Normaal	Invoegstrook	Uitrijstrook	Weef/splitsing
1	Spits	0,004	0,003	0,010	0,014
	Buiten spits	0,002	0,001	0,004	0,006
2	Spits	0,007	0,007	0,007	0,013
	Buiten spits	0,003	0,003	0,003	0,006
3	Spits	0,016	-	0,018	0,021
	Buiten spits	0,007	-	0,008	0,008
4	Spits	0,010	-	-	-
	Buiten spits	0,005	-	-	-

Belangrijk bij deze gemiddelde aantallen is dat alleen onderlinge vergelijking van de cijfers relevant is. Er is namelijk geen informatie beschikbaar over de zwaarte van de incidenten (veel incidenten betreffen loze ritten of incidenten met lichte gevolgen). De gemiddelde aantallen mogen dus niet gebruikt worden als absolute incidentkans, waarbij de gevolgen zodanig zijn dat een rijstrook afgesloten moet worden.

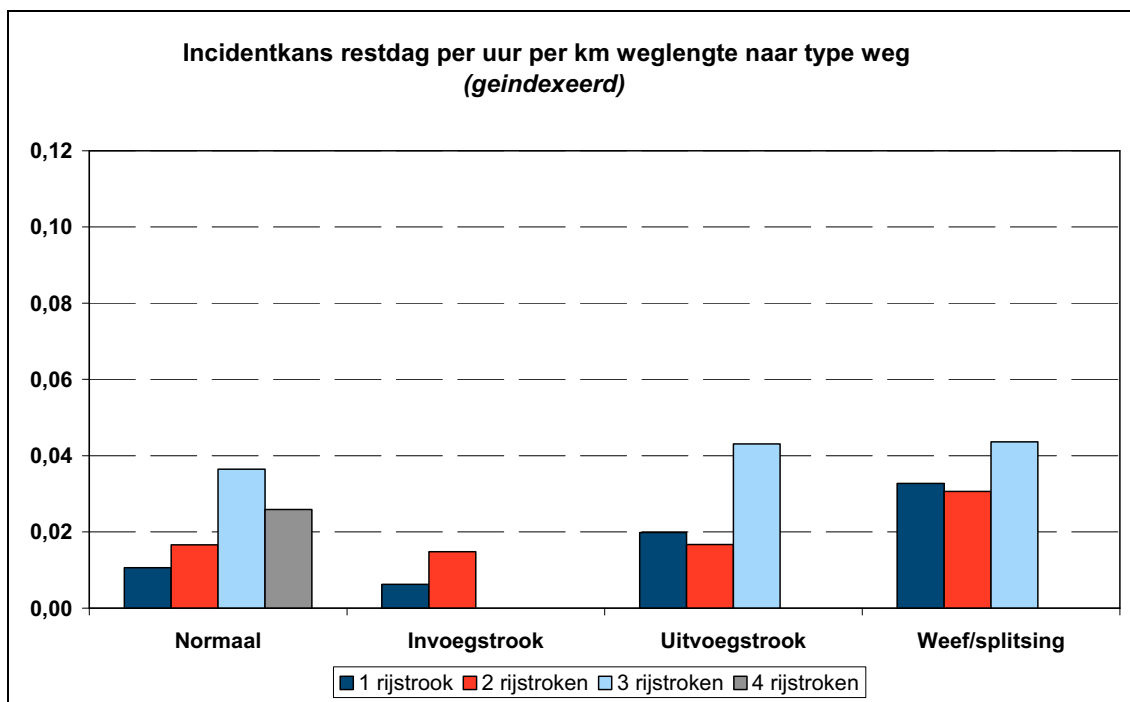
Een beknopte analyse op plausibiliteit leert dat de incidentkans in de spits groter is dan buiten de spits (2 à 3 keer groter). Ook de relatieve verschillen tussen de wegtypen buiten de spits zijn kleiner dan in de spits. Daarnaast is de incidentkans van een uitvoegstrook groter dan van een normaal wegtype en de incidentkans van een weefvak/splitsing groter dan die van een uitvoegstrook en normaal wegtype. Vanwege de korte weglengte dient de incidentkans van een normaal wegtype en 4 rijstroken zeer voorzichtig te worden benaderd.

Deze gemiddelde aantallen incidenten hebben we vervolgens geïndexeerd. Met deze geïndexeerde waarden wordt de incidentkans in de Robuustheidscanner berekend. De geïndexeerde waarden voor de spitsperiode en de periode buiten de spits zijn in onderstaande grafieken grafisch weergegeven.

In plaats van te spreken over “kansen” is het beter om te spreken over “aandelen”. Bijvoorbeeld: van alle incidenten die per uur per km wegvak gemeld zijn zitten er 2% op normale wegvakken met 1 rijstrook binnen de spits.



Figuur 3-1 Geïndexeerde incidentkansen in de spits per wegtype en aantal rijstroken



Figuur 3-2 Geïndexeerde incidentkansen buiten de spits per wegtype en aantal rijstroken

In onderstaande tabel staan de geïndexeerde incidentaandelen ook weergegeven.

Tabel 3.5 Geïndexeerde incident aandelen in en buiten de spits per wegtype en aantal rijstroken

Aantal rijstroken	Tijdperiode	Normaal	Invoegstrook	Uitrijstrook	Weef/splitsing
1	Spits	0,020	0,017	0,056	0,076
	Buiten spits	0,011	0,006	0,020	0,033
2	Spits	0,040	0,038	0,040	0,072
	Buiten spits	0,017	0,015	0,017	0,031
3	Spits	0,085	-	0,094	0,111
	Buiten spits	0,036	-	0,043	0,044
4	Spits	0,053	-	-	-
	Buiten spits	0,026	-	-	-

De som van alle getallen in de tabel is 1. Het kleinste getal in de tabel is 0,006 en het grootste getal is 0,111. Tussen het grootste en het kleinste getal zit een factor 18,5.

De nieuwe formule voor de berekening van de incidentkans in de Robuustheidsscanner is:

Aandeel van incidenten (incidentkans) = γ *lengte

Waarbij γ de waarde uit bovenstaande tabel is (per periode en wegtype). Er is in deze berekening geen afhankelijkheid van intensiteit. Deze incidentanalyse is een eerste poging om op basis van incidentmeldingen een betere indicatie te kunnen geven van de onderlinge verhoudingen voor incidenten (voor verschillende wegvakken/wegtypes), voor gebruik in de Robuustheidsscanner. In de Robuustheidsscanner gaat het om een relatieve verhouding in incidentkans tussen de verschillende wegvakken.

3.4 Verschillen in resultaten Robuustheidsscanner tussen oorspronkelijke en aangepaste incidentkans

Voor een aantal projecten hebben we de verschillen onderzocht tussen de oorspronkelijke en de aangepaste incidentkans. We hebben de kwetsbare wegvakken voor de verschillende tijdsperiodes in zowel de Referentie als Variant met elkaar vergeleken. Bijlage 1 en 2 geven de resultaten hiervan weer.

Over het algemeen zijn de resultaten wisselend. Er zijn veel wegvakken die in de oorspronkelijke incidentkanstoepassing in de top 250 zaten en in de aangepaste incidentkanstoepassing niet meer en omgekeerd. Bovendien zit er veel verschuiving in de rangorde, voor het ene project meer dan voor het andere, maar over het geheel genomen geeft het nogal grote verschuivingen.

Bijlage 1 geeft de kaarten weer met daarop de kwetsbare wegvakken voor een aantal projecten voor de ochtendspits, voor zowel de oorspronkelijk gebruikte incidentkans als de aangepaste incidentkans. Wat opvalt, is dat de meeste kwetsbare wegvakken in beide incidentkansen voorkomen, al verschilt de rangorde. Voor één project treden erg grote verschillen in rangorde op. In de aangepaste incidentkans zijn heel veel wegvakken op de A2 kwetsbaar (in de top 50), terwijl die in de oorspronkelijke incidentkans nauwelijks kwetsbaar zijn (rang groter dan 50). Voor de andere projecten zitten veel dezelfde wegvakken in de top 50. Bovendien zijn het in beide projecten ook dezelfde wegvakken die kwetsbaar zijn.

4 Resultaten Robuustheidsscanner

De Robuustheidsscanner is toegepast op 5 projecten, met 1 of 2 varianten, totaal zijn 13 alternatieven doorgerekend (5 referenties en 8 varianten, zie hoofdstuk 2). Alle alternatieven zijn voor 4 dagdelen doorgerekend.

Tabel 4.1 Overzicht van de vier dagdelen

Dagdeel	Periode	aantal uren	gebruikte verktoring
Ochtendspits	07.00-09.00 uur	2	OS
Overdag	09.00-16.00 uur	7	OV
Avondspits	16.00-18.00 uur	2	AS
Nacht	18.00-07.00 uur	13	NA

De Robuustheidsscanner wordt doorgerekend met éénuursmatrices. Dat betekent dat de berekende kwetsbaarheid ook per uur geldt. Dus voor de totale etmaalkwetsbaarheid dienen de waarden in deze rapportage vermenigvuldigd te worden met het aantal uur van de perioden (zie Tabel 4.1)

De volgende afhankelijkheden zijn onderzocht:

- Is er een duidelijke relatie tussen I/C-verhouding en kwetsbaarheid?
- Is die relatie verder nog afhankelijk van het aantal rijstroken?
- Wat is het effect per incident (de extra reistijd door verkeer dat moet omrijden)?
- Is dat effect afhankelijk van de I/C-verhouding?
- Wat is het effect van een project op netwerkniveau, wat betreft kwetsbaarheid?
- Hoe verhoudt zich dat tot het effect op voertuigkilometers?
- Wat is het effect van een project op zowel I/C-verhouding als kwetsbaarheid per wegvak?

4.1 Afhangelijkheid tussen I/C-verhouding en kwetsbaarheid en rijstroken

4.1.1 "Absolute" kwetsbaarheid

Als eerste moet er een kanttekening geplaatst worden bij de term "absolute kwetsbaarheid". De kwetsbaarheid zoals die door de Robuustheidsscanner wordt berekend, is deels afhankelijk van de incidentkans. Echter, de incidentkans zoals die in de Robuustheidsscanner is ingevoerd (met name de aangepaste incidentkans) is niet echt een kans op een incident, maar feitelijk een relatieve positionering van de wegvakken onderling. Het is daarmee zeer geschikt om met de Robuustheidsscanner een onderlinge rangorde weer te geven van kwetsbare wegvakken, maar voorzichtigheid is geboden met het gebruik van de absolute waarden. Te zien is dat de absolute waarden onderling sterk verschillen, maar dat de relatieve waarden meer overeenkomen tussen de projecten onderling.

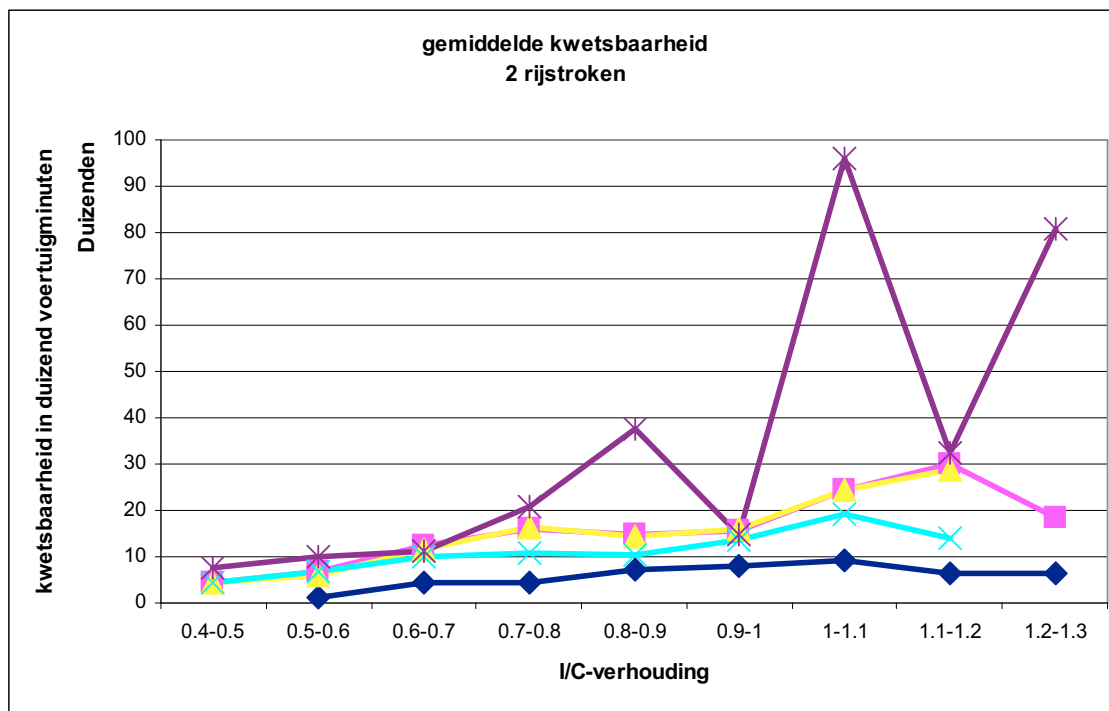
Als we de figuren voor de gemiddelde waarde van kwetsbaarheid bekijken zien we een toename in kwetsbaarheid bij een toename in I/C-verhouding (zie Figuur 4.1). Voor wegvakken met 3 en 4 rijstroken is deze relatie tussen I/C en kwetsbaarheid heel duidelijk.

We zien ook een afhankelijkheid tussen het aantal rijstroken en de kwetsbaarheid: de kwetsbaarheid voor wegvakken met 3 rijstroken is over het algemeen hoger dan voor 2 rijstroken en voor wegvakken met 4 rijstroken is de kwetsbaarheid nog hoger. Bovendien laten wegvakken met 4 rijstroken een sterkere toename in kwetsbaarheid zien bij een hogere I/C-verhouding. Daar staat tegenover dat de spreiding (de standaarddeviatie) vrij groot is en in ieder geval ook

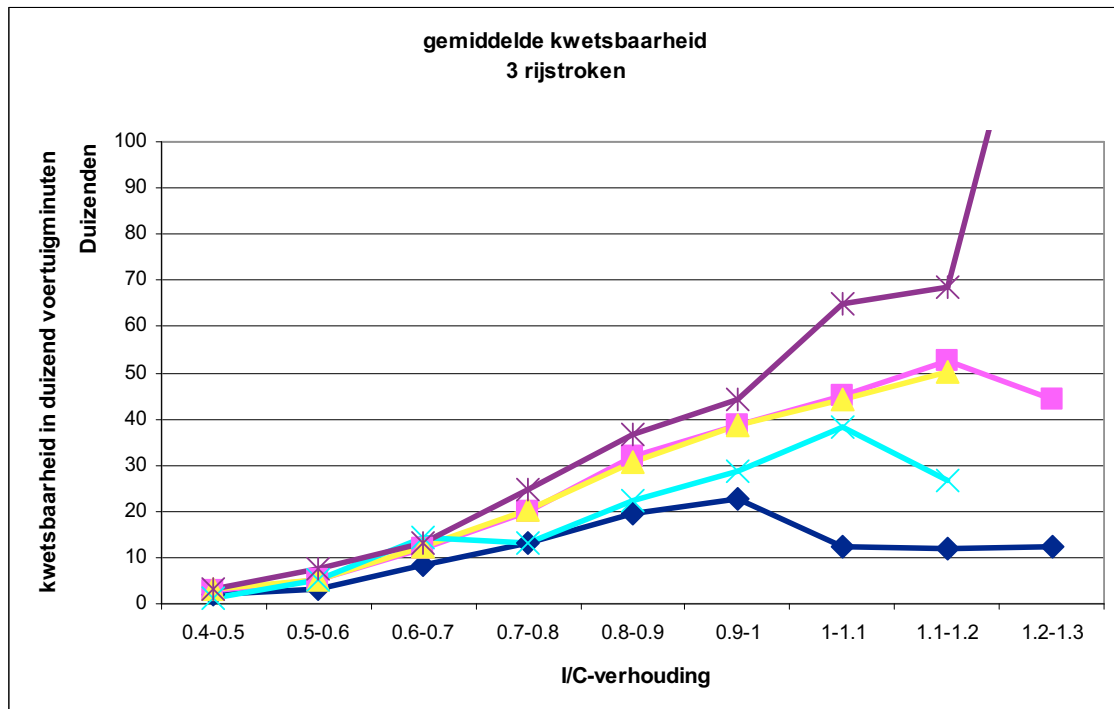
groter naarmate de I/C-verhouding groter is: oftewel voor grotere I/C-verhouding is de spreiding (en onbetrouwbaarheid) groter.

De grafieken voor de projecten die met hetzelfde NRM Randstad zijn doorgerekend lijken sterk op elkaar, maar dat is te wijten aan het feit dat het voor die projecten steeds om hetzelfde model, met hetzelfde netwerk gaat en dus dezelfde wegvakken in de top 250 staan (voor een overgrote meerderheid). Een project bevat hogere waarden voor de kwetsbaarheid met grote uitschieters bij hoge I/C-verhoudingen.

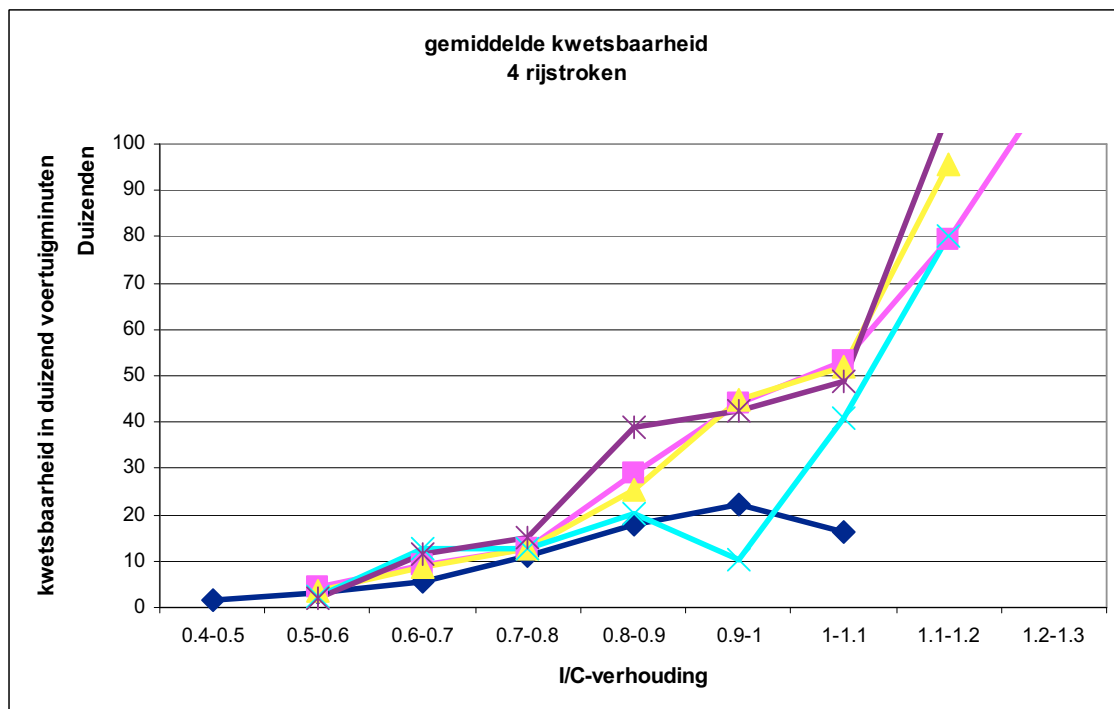
Onderstaande figuren geven de gemiddelde kwetsbaarheid aan per I/C-verhouding en per aantal rijstroken, voor alle vijf projecten. Hierbij is het gemiddelde gebaseerd op de 250 wegvakken voor alle varianten, inclusief de referentie, en drie tijdsperioden (ochtendspits, avondspits en overdag). Dus voor een project met één variant, plus referentie, zijn de gemiddelden gebaseerd op twee keer drie keer 250 is 1500 datapunten (verdeeld over aantal rijstroken en I/C-verhouding). Voor een project met twee varianten liggen er 2250 datapunten ten grondslag aan de gemiddelde waarden.



Figuur 4-1: Gemiddelde kwetsbaarheid per I/C-verhouding voor wegvakken met twee rijstroken, voor alle vijf projecten, voor alle varianten en tijdsperioden tezamen.



Figuur 4-2: Gemiddelde kwetsbaarheid per I/C-verhouding voor wegvakken met drie rijstroken, voor alle vijf projecten, voor alle varianten en tijdsperioden tezamen.



Figuur 4-3: Gemiddelde kwetsbaarheid per I/C-verhouding voor wegvakken met vier rijstroken, voor alle vijf projecten, voor alle varianten en tijdsperioden tezamen.

Gaan we naar de cijfers kijken, dan zien we de waarden soms in dezelfde orde grootte liggen, maar treden er ook grote verschillen tussen de projecten op. De standaarddeviatie is in de meeste gevallen erg groot. In veel gevallen is de standaarddeviatie zelfs groter dan de gemiddelde waarde. Tabellen 4.2 t/m 4.4 geven de gemiddelde kwetsbaarheid per I/C-verhouding en project, per aantal rijstroken. Bijlage 3 bevat tabellen met de standaarddeviatie (spreiding) voor dezelfde indeling.

De bijbehorende figuren met de standaarddeviatie staan ook in bijlage 3.

Tabel 4.2 Gemiddelde kwetsbaarheid voor wegvakken met 2 rijstroken

Gemiddelde kwetsbaarheid, 2 rijstroken						
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E	
0.4-0.5		4400	4400	4600	7800	
0.5-0.6	1400	6900	5900	6900	10100	
0.6-0.7	4400	12400	11700	9900	11200	
0.7-0.8	4600	16100	16600	10900	20700	
0.8-0.9	7100	14800	14400	10400	37600	
0.9-1.0	8100	15800	16000	13500	14700	
1.0-1.1	9100	24500	24600	19400	96100	
1.1-1.2	6400	30000	28800	14000	32600	
1.2-1.3	6600	18400			81000	

Tabel 4.3 Gemiddelde kwetsbaarheid voor wegvakken met 3 rijstroken

Gemiddelde kwetsbaarheid, 3 rijstroken						
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E	
0.4-0.5	2000	2700	3300	1200	3300	
0.5-0.6	3200	5300	5200	5300	7700	
0.6-0.7	8500	11900	12500	14300	13100	
0.7-0.8	13000	20000	20200	13200	24600	
0.8-0.9	19700	31800	30700	22300	36500	
0.9-1.0	22900	38600	38500	28700	44100	
1.0-1.1	12400	45200	44400	38300	65000	
1.1-1.2	11900	52500	50200	26800	68400	
1.2-1.3	12200	44100			154900	
1.3-1.4		175200				

Tabel 4.4 Gemiddelde kwetsbaarheid voor wegvakken met 4 rijstroken

Gemiddelde kwetsbaarheid, 4 rijstroken						
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E	
0.4-0.5	1500					
0.5-0.6	3000	4500	3700	2200	1800	
0.6-0.7	5400	9000	8800	12800	11700	
0.7-0.8	11200	12600	12800	12600	15000	
0.8-0.9	18000	29100	25300	20200	38700	
0.9-1.0	22100	44200	44900	10300	42300	
1.0-1.1	16100	53100	51900	40900	48700	
1.1-1.2		79400	95600	80300	106700	
1.2-1.3		113500			139800	

Gezien het lage aantal wegvakken met 5 of 6 rijstroken onderscheiden we die wegvakken niet apart.

De standaarddeviatie is in veel gevallen groot en vaak groter dan de gemiddelde waarde. verder neemt de standaarddeviatie toe bij grotere I/C-verhoudingen.

Wat verder opvalt is dat de cijfers voor de projecten B en C sterk op elkaar lijken en dat de cijfers voor de overige projecten daar van afwijken. Deze verschillen tussen de projecten zijn te verklaren door het gebruik van de verschillende modellen en de verschillende regio's. De pro-

jecten B en C zijn met hetzelfde NRM doorgerekend. Het NRM dat is gebruikt voor Project E wijkt sterk af van de overige NRM modellen.

De gebruikte modellen verschillen in studiegebied, detailniveau (van wegennet en zones), uitgangspunten (zonale vullingen, aantal iteraties). Daarnaast is de kwetsbaarheid ook sterk afhankelijk van de regio/omgeving. De kwetsbaarheid hangt af van de restcapaciteit van de alternatieve routes, en dus van het netwerk in de omgeving. De kwetsbaarheid in Noord-Holland is niet te vergelijken met die in Gelderland, bijvoorbeeld. Vanwege deze verschillen in de gebruikte modellen is het niet mogelijk om de gegevens te generaliseren.

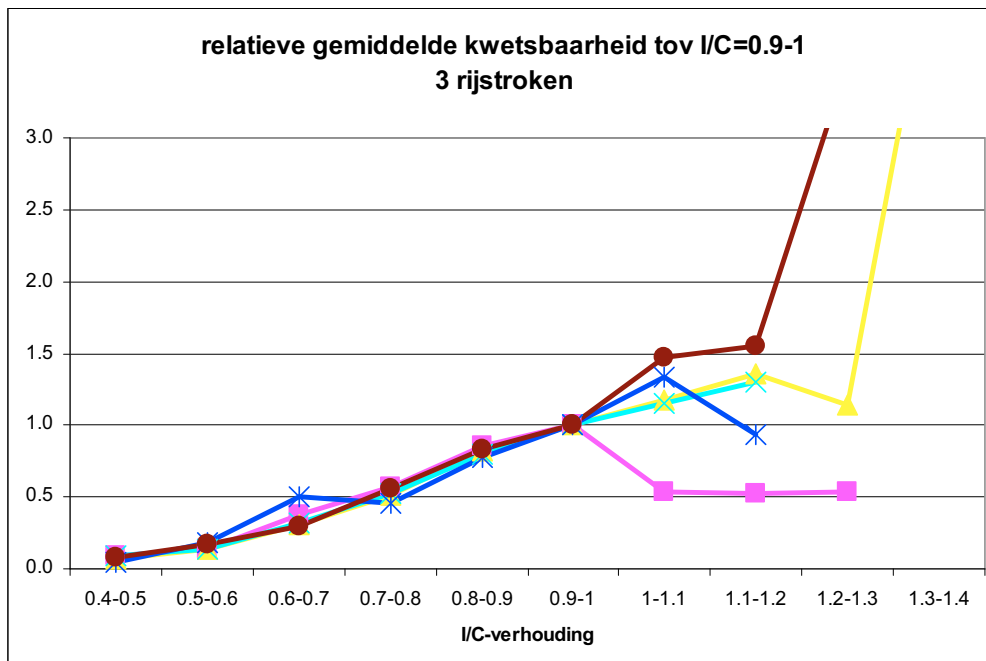
De steekproefgrootte is te klein om een functie (van de kwetsbaarheid als functie van I/C-verhouding en aantal rijstroken) te schatten. Voor grotere steekproeven zou dat wel kunnen, maar dan zijn die functies verschillend per model. Om een dergelijke functie te kunnen schatten voor heel Nederland is het aan te bevelen om een vergelijkbare exercitie met het LMS uit te voeren met een voldoende grote steekproef (meer dan 250 wegvakken).

4.1.2 Relatieve kwetsbaarheid

In plaats van alleen naar de absolute waarden te kijken hebben we ook de relatieve kwetsbaarheid ten opzichte van één waarde (namelijk die voor een I/C-verhouding tussen 0.9 en 1) onderzocht. Daarnaast hebben wij de relatieve *verandering* (bijvoorbeeld van wegvakken van 3 rijstroken met een I/C-verhouding van 0.8-0.9 naar 4 rijstroken met een I/C van 0.7-0.8) onderzocht. In beide gevallen is er nog steeds sprake van grote verschillen tussen de projecten, maar er zijn wel meer overeenkomsten te zien. Bijlage 4 bevat de tabellen en figuren voor de relatieve kwetsbaarheid.

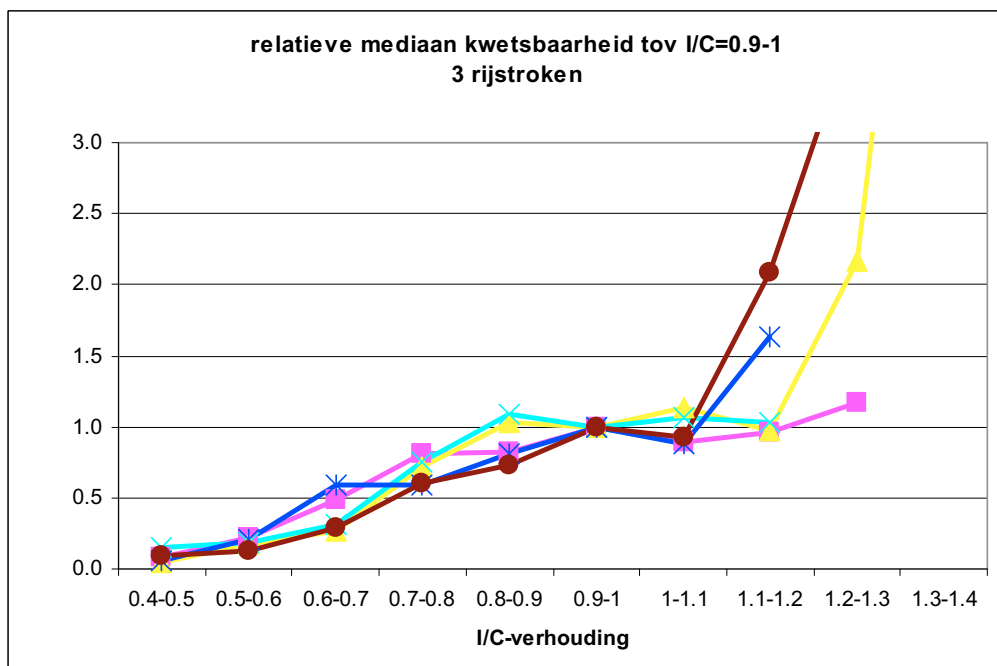
Voor de kwetsbaarheid van wegvakken met 3 rijstroken is er redelijke overeenkomst te zien in de relatieve kwetsbaarheid. De relatieve kwetsbaarheid is bepaald door per project de kwetsbaarheid (in tabellen 4.2 t/m 4.4) te delen door de kwetsbaarheid voor I/C-verhouding van 0.9-1. De relatieve kwetsbaarheid is voor wegvakken met een I/C-verhouding lager dan 1 vergelijkbaar voor de vijf projecten. Voor een hogere I/C-verhouding⁵ lopen de projecten weer ver uit elkaar. Voor wegvakken met 2, 4 of meer rijstroken zijn de verschillen tussen de projecten groter.

⁵ In statische modellen is het mogelijk om een I/C-verhouding hoger dan 1 te krijgen, omdat de capaciteit in statische modellen geen harde bovengrens is bij de toedeling.



Figuur 4-4 Relatieve kwetsbaarheid (op basis van gemiddelde waarde) ten opzichte van de kwetsbaarheid voor I/C=0.9-1

Hetzelfde hebben we ook gedaan voor de mediaan-waarden. De mediaan is het punt waar precies 50% van de waarnemingen boven en 50% van de waarnemingen onder ligt. De mediaan negeert als het ware de extreme waarden. Bijlage 4 bevat tevens de relatieve kwetsbaarheid op basis van de mediaanwaarden.

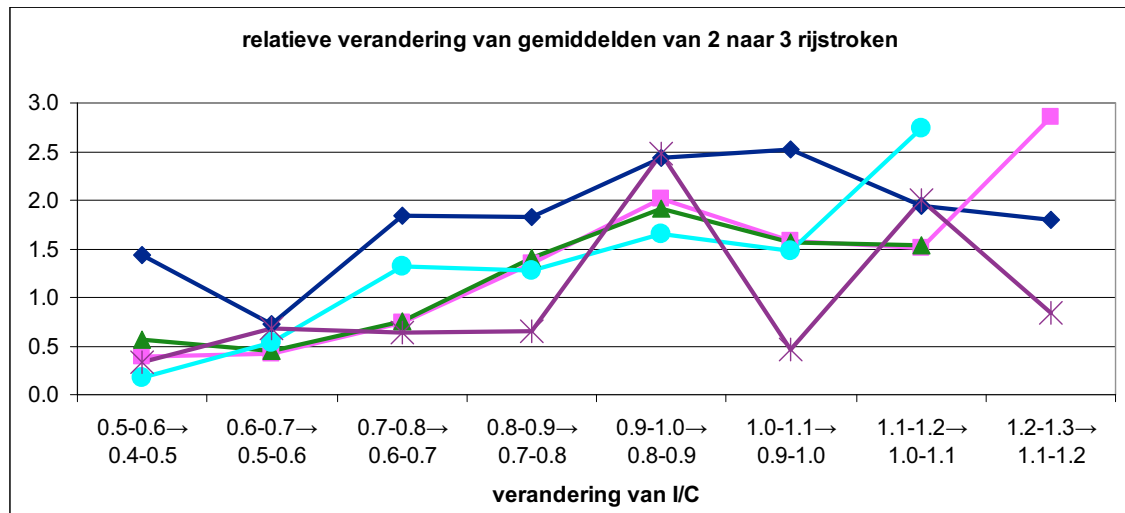


Figuur 4-5 Relatieve kwetsbaarheid (op basis van mediaan) ten opzichte van de kwetsbaarheid voor I/C=0.9-1

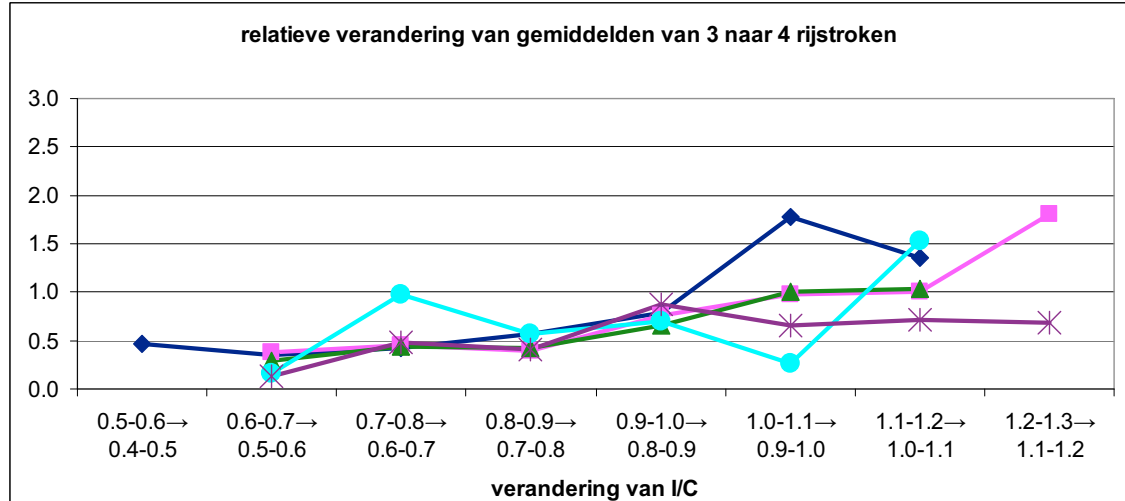
Conclusie: de relatieve kwetsbaarheid op basis van de mediaan geeft voor hogere I/C-verhoudingen kleinere verschillen tussen projecten, maar voor de lagere I/C-verhoudingen juist

grotere verschillen. Het gebruik van de mediaan is niet per definitie beter dan het gebruik van het gemiddelde bij de berekening van de relatieve kwetsbaarheid.

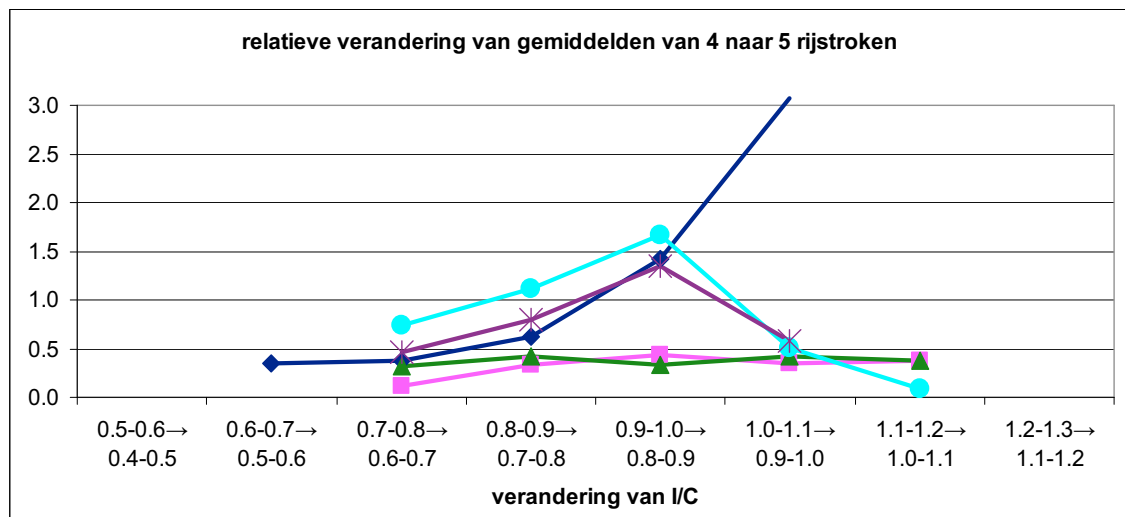
Ten slotte hebben wij ook de relatieve *verandering* onderzocht. Daarvoor hebben wij berekend hoe de kwetsbaarheid verandert (binnen één project) als het aantal rijstroken met één toeneemt (dus van 2 naar 3, van 3 naar 4 rijstroken etc.) en tegelijkertijd de I/C-verhouding één klasse lager uitkomt (dus van een I/C tussen 0.9 en 1.0 naar een I/C tussen 0.8 en 0.9). Hier zijn voor de situatie van 3 naar 4 rijstroken veel overeenkomsten zichtbaar tussen de vijf projecten. Voor de overige situaties zit er veel verschil tussen de projecten. Indien de relatieve verandering op basis van de mediaan wordt bepaald, zijn de groeipercentages vergelijkbaar met die voor de gemiddelde waarden (die figuren nemen we hier dan ook niet apart op).



Figuur 4-6 Relatieve verandering van gemiddelde kwetsbaarheid, van 2 naar 3 rijstroken.



Figuur 4-7 Relatieve verandering van gemiddelde kwetsbaarheid, van 3 naar 4 rijstroken.



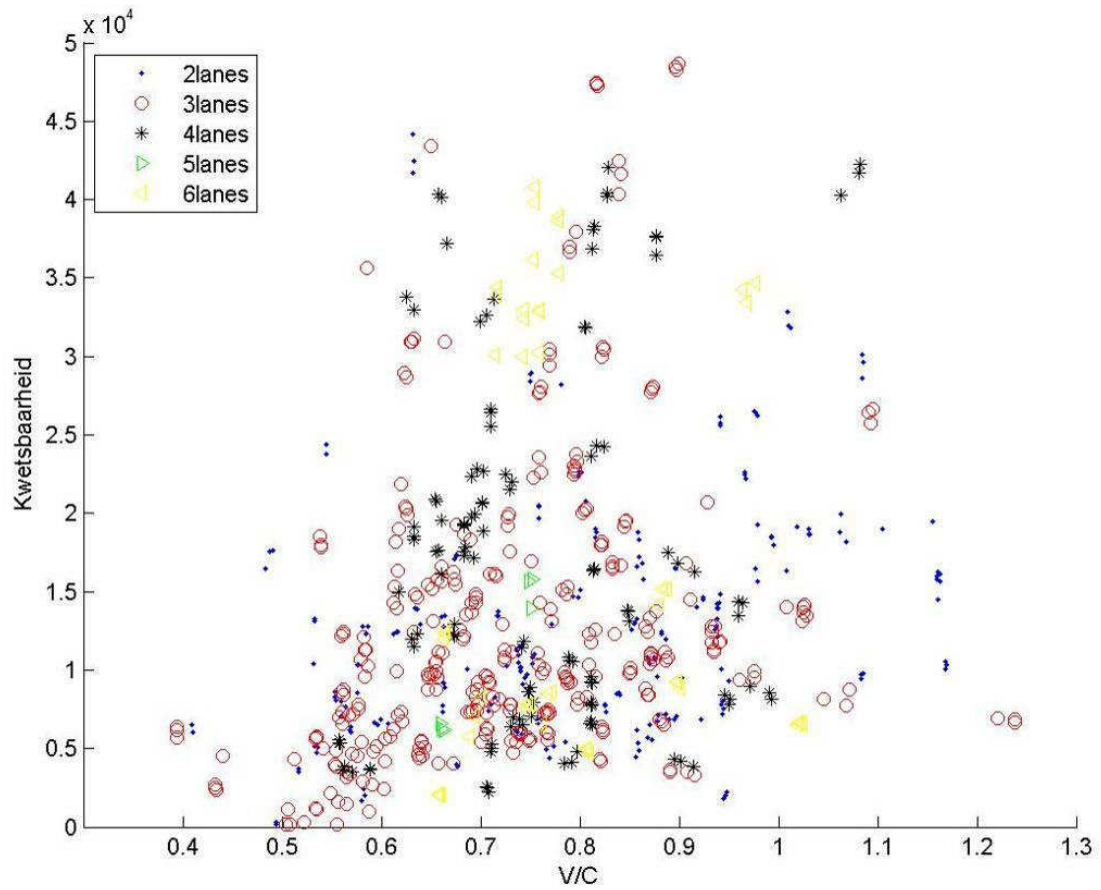
Figuur 4-8 Relatieve verandering van gemiddelde kwetsbaarheid, van 4 naar 5 rijstroken.

Bij een toename van het aantal rijstroken en een verlaging van de I/C-waarde verwachten wij een relatieve verandering in kwetsbaarheid die kleiner is dan 1 (de kwetsbaarheid neemt af). In het geval dat het aantal rijstroken van 3 naar 4 toeneemt en voor een I/C-verhouding kleiner dan 1.0 klopt deze verwachting. Voor de overige gevallen niet.

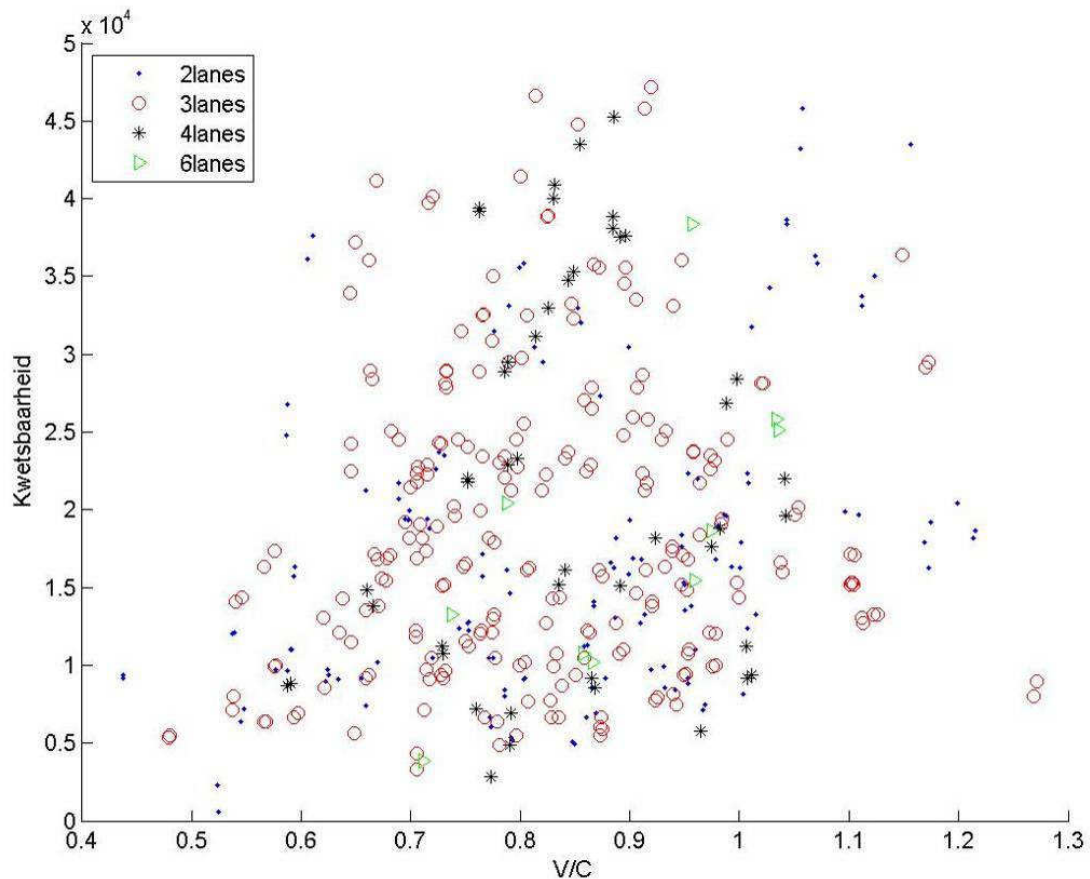
4.1.3 Analyse van de spreiding

Dat de spreiding groot is, is ook te zien aan de hand van scatterplots van de individuele wegvakken. In die plots is ook te zien dat de spreiding toeneemt voor toenemende I/C-verhouding. Hieronder volgen twee scatterplots voor twee projecten, beide voor de ochtendspits. In bijlage 5 staan de scatterplots voor alle projecten en alle tijdsperioden.

Door de schaal van de Y-as vast te houden (van 0 tot $5 \cdot 10^4$) zijn de figuren onderling goed vergelijkbaar, maar worden uitschieters niet getoond. We zien een grote spreiding in kwetsbaarheid en de afhankelijkheid met de I/C-verhouding is niet zo duidelijk. Tevens wordt de spreiding groter naarmate de I/C-verhouding hoger is.



Figuur 4-9: Scatterplot van kwetsbaarheid per I/C-verhouding voor alle 250 wegvakken van één project, ochtendspits.



Figuur 4-10: Scatterplot van kwetsbaarheid per I/C-verhouding voor alle 250 wegvakken van één project, ochtendspits.

4.1.4 Conclusies ten aanzien van de relatie tussen kwetsbaarheid en I/C

Er is een afhankelijkheid tussen I/C-verhouding, aantal rijstroken en de kwetsbaarheid. De kwetsbaarheid is hoger voor een hogere I/C-verhouding en de kwetsbaarheid is hoger voor wegvakken met meer rijstroken. De kwetsbaarheid heeft een grote spreiding en deze spreiding is groter voor hogere I/C-verhoudingen.

Het is moeilijk om een gegeneraliseerde kwetsbaarheid te definiëren: de verschillen tussen de verschillende projecten zijn groot. Enerzijds vanwege de verschillende gebruikte modellen, met verschillen in detailniveau, studiegebied, uitgangspunten en dergelijke. Anderzijds vanwege de verschillen per regio: de kwetsbaarheid is sterk afhankelijk van het wegennetwerk in de regio (restcapaciteit van alternatieve routes).

De relatieve kwetsbaarheid vertoont meer overeenkomsten tussen de projecten. Vooral binnen een groep wegvakken met hetzelfde aantal rijstroken. De relatieve verandering van kwetsbaarheid wanneer het aantal rijstroken met één toeneemt en de I/C-verhouding afneemt is juist weer minder vergelijkbaar tussen de vijf projecten. Deze conclusies kunnen te maken hebben met het aantal waarnemingen. Het aantal onderzochte wegvakken met 3 rijstroken is het grootste. Wegvakken met 2, met 4 of meer rijstroken zijn minder in getal waardoor de spreiding groter is en de betrouwbaarheid kleiner (enkele extreme waarden hebben grote invloed). Wij verwachten bij een grotere steekproef grotere overeenkomsten te vinden.

4.2 Afhankelijkheid tussen I/C-verhouding en effect per incident en rijstroken

Vanwege de definitie van kwetsbaarheid en het feit dat de incidentkans in de huidige versie van de Robuustheidsscanner geen "absolute" kans⁶ is, is de kwetsbaarheid uitgesplitst. De kans op een incident is besproken in hoofdstuk 3. In deze paragraaf gaan we in op het *effect van een incident*. Onder dat effect wordt verstaan de extra reistijd door het hele netwerk als gevolg van een incident. Deze extra reistijd is niet alleen de extra reistijd van het verkeer dat moet omrijden, maar ook de vertraging van het reeds aanwezige verkeer op de alternatieve routes, doordat het verkeer dat moet omrijden tot extra vertraging leidt. Daarnaast telt de vertraging van verkeer dat langs het incident doorrijdt (met gereduceerde snelheid) mee.

Per kwetsbare link is het effect bepaald en hiervan zijn, analoog aan de kwetsbaarheid in de vorige paragraaf, gemiddelden en standaarddeviaties berekend per I/C-verhouding en aantal rijstroken van die kwetsbare links. In tegenstelling tot de kwetsbaarheid is een onderscheid gemaakt naar het effect binnen de spits (ochtend- en avondspits samen) en buiten de spits (alleen de overdagperiode, omdat het effect in de nachtperiode verwaarloosbaar klein is).

Tabel 4.5 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 2 rijstroken, spitsen

Gemiddelde effect per incident, 2 rijstroken, spitsen					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.4-0.5			13500	13000	18400
0.5-0.6		18700	16500	16200	21600
0.6-0.7	20500	37000	35600	33100	36400
0.7-0.8	29600	48500	47100	38100	66300
0.8-0.9	41200	59700	57500	45200	104300
0.9-1.0	48800	65100	64400	49100	66800
1.0-1.1	54500	78100	77300	70500	137800
1.1-1.2	49500	106400	114300	94500	108900
1.2-1.3	58200				633900

Tabel 4.6 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 3 rijstroken, spitsen

Gemiddelde effect per incident, 3 rijstroken, spitsen					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.4-0.5	9200			3400	7200
0.5-0.6	12000	22200	20000	19100	28000
0.6-0.7	38900	54000	54800	45200	53600
0.7-0.8	53900	72500	72700	56500	93200
0.8-0.9	70100	99700	100500	84200	122700
0.9-1.0	93300	151300	146700	116600	180600
1.0-1.1	85000	189200	193300	158300	284800
1.1-1.2	96200	257200	239100	126800	250100
1.2-1.3		394600			775900

⁶ In de Robuustheidsscanner is de incidentkans een relatieve verhouding van incidentkansen tussen wegvakken onderling

Tabel 4.7 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 4 rijstroken, spitsen

Gemiddelde effect per incident, 4 rijstroken, spitsen					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.4-0.5					
0.5-0.6	30000			18500	
0.6-0.7	48200	81700	90900	71500	100300
0.7-0.8	81800	109200	107100	78700	105500
0.8-0.9	101500	144800	133800	102300	206500
0.9-1.0	102500	211700	203700	70500	244500
1.0-1.1		224600	205200	413500	379400
1.1-1.2		631200	868600	681800	1020000
1.2-1.3		1115400			1328100

Tabel 4.8 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 2 rijstroken, overdag

Gemiddelde effect per incident, 2 rijstroken, overdag					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.4-0.5			1200	800	400
0.5-0.6		17200	15500	16900	21200
0.6-0.7	18700	23000	24000	20700	22800
0.7-0.8	22800	27800	29400	23100	31200
0.8-0.9	30400	28100	26700	25400	34700
0.9-1.0	28900	40500	40500	45200	34300
1.0-1.1			59500		

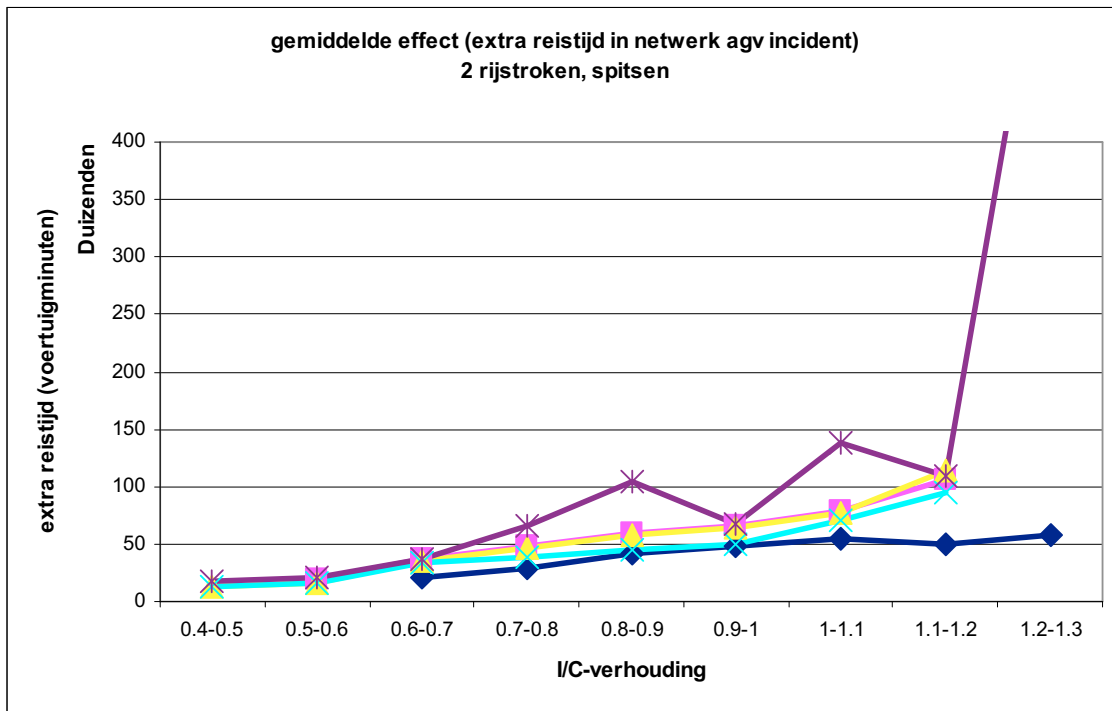
Tabel 4.9 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 3 rijstroken, overdag

Gemiddelde effect per incident, 3 rijstroken, overdag					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.4-0.5	7100			4500	7400
0.5-0.6	13200	15300	15700	14800	18500
0.6-0.7	27800	32800	32700	27800	38600
0.7-0.8	39800	51000	47800	43600	51400
0.8-0.9	58500	94100	89700	65700	82900
0.9-1.0	70600	57500	56400		109300
1.0-1.1		179200	126200		

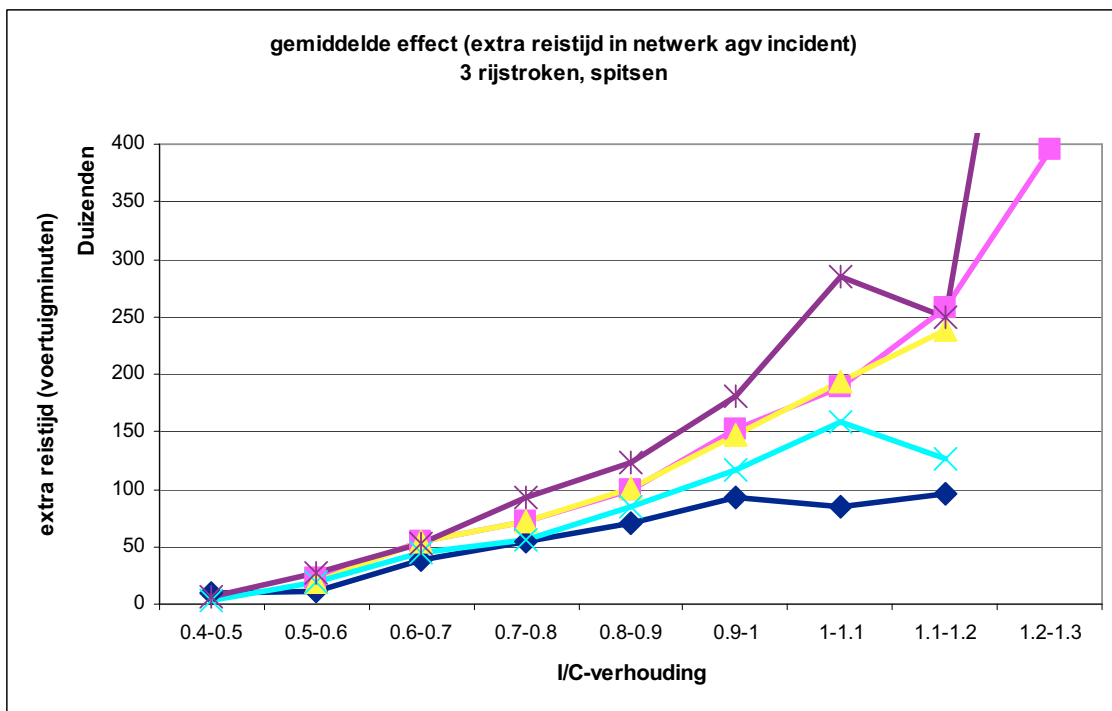
Tabel 4.10 Gemiddelde effect per incident voor wegvakken met 4 rijstroken, overdag

Gemiddelde effect per incident, 4 rijstroken, overdag					
I/C	Project A	Project B	Project C	Project D	Project E
0.5-0.6	18900			12200	
0.6-0.7	41400	38300	34400	39700	55800
0.7-0.8	48000	83900	83200	78500	93600
0.8-0.9		122000	115700		143400

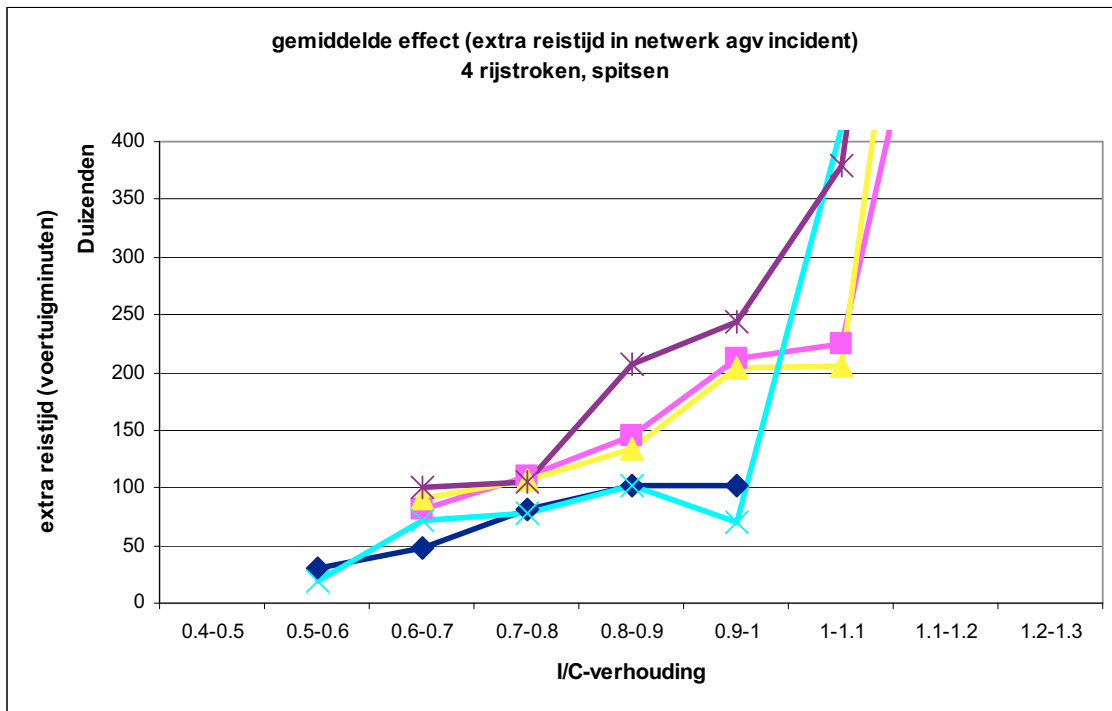
Gezien het lage aantal wegvakken met 5 of 6 rijstroken onderscheiden we die wegvakken niet apart.



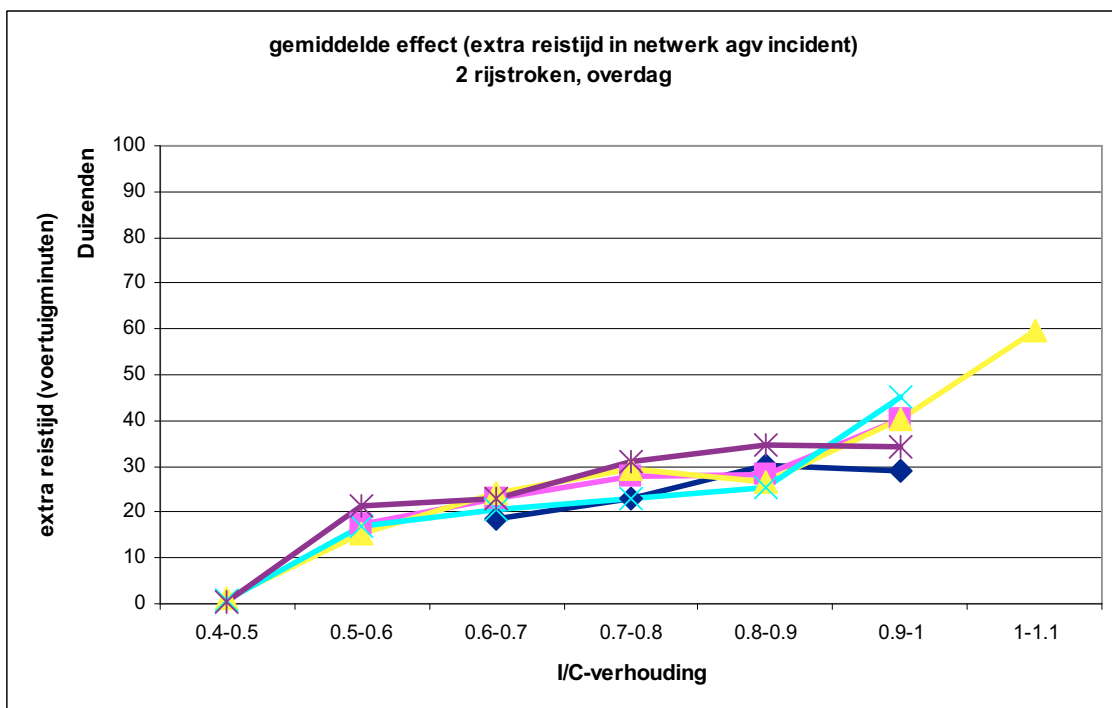
Figuur 4-11: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over beide spitsen, voor wegvakken met 2 rijstroken.



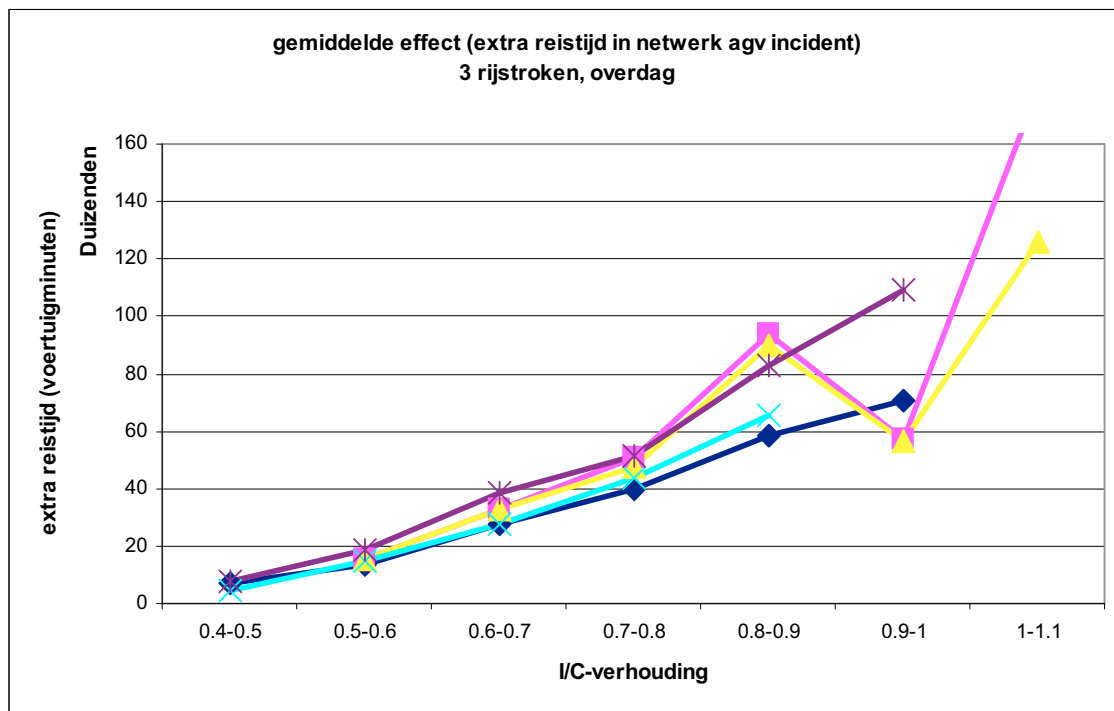
Figuur 4-12: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over beide spitsen, voor wegvakken met 3 rijstroken.



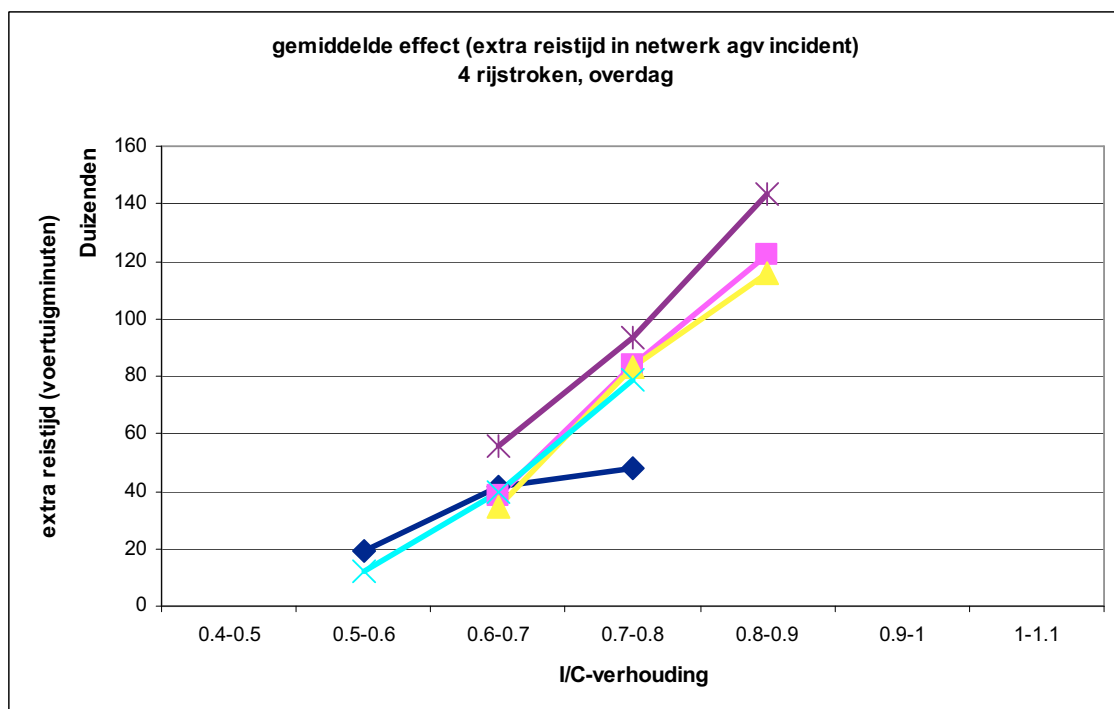
Figuur 4-13: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over beide spitsen, voor wegvakken met 4 rijstroken.



Figuur 4-14: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over de overdagperiode, voor wegvakken met 2 rijstroken.



Figuur 4-15: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over de overdagperiode, voor wegvakken met 3 rijstroken.



Figuur 4-16: Het gemiddelde effect (extra reistijd in het netwerk) als gevolg van een incident, voor de vijf projecten, gemiddeld over de overdagperiode, voor wegvakken met 4 rijstroken.

Het effect per incident (de extra reistijd als gevolg van het afsluiten van één rijstrook) vertoont een sterke afhankelijkheid van de I/C-verhouding en het aantal rijstroken. Voor de spitsperiodes is deze afhankelijkheid sterker dan voor de overdagperiode. Het effect is in de spitsperiodes ook groter. Dit is logisch gezien de congestie op het netwerk. Er is voor deze variabele meer overeenkomst tussen de vijf projecten dan bij de variabele kwetsbaarheid.

De standaarddeviatie voor het effect per incident (zie bijlage 6) is kleiner dan bij de kwetsbaarheid. Er zijn twee verklaringen voor. Ten eerste zijn de gegevens voor het effect per incident voor spits- en dalperioden apart bekeken. Ten tweede is de kwetsbaarheid opgebouwd met een incidentkans die niet afhankelijk is van de intensiteit op het wegvak.

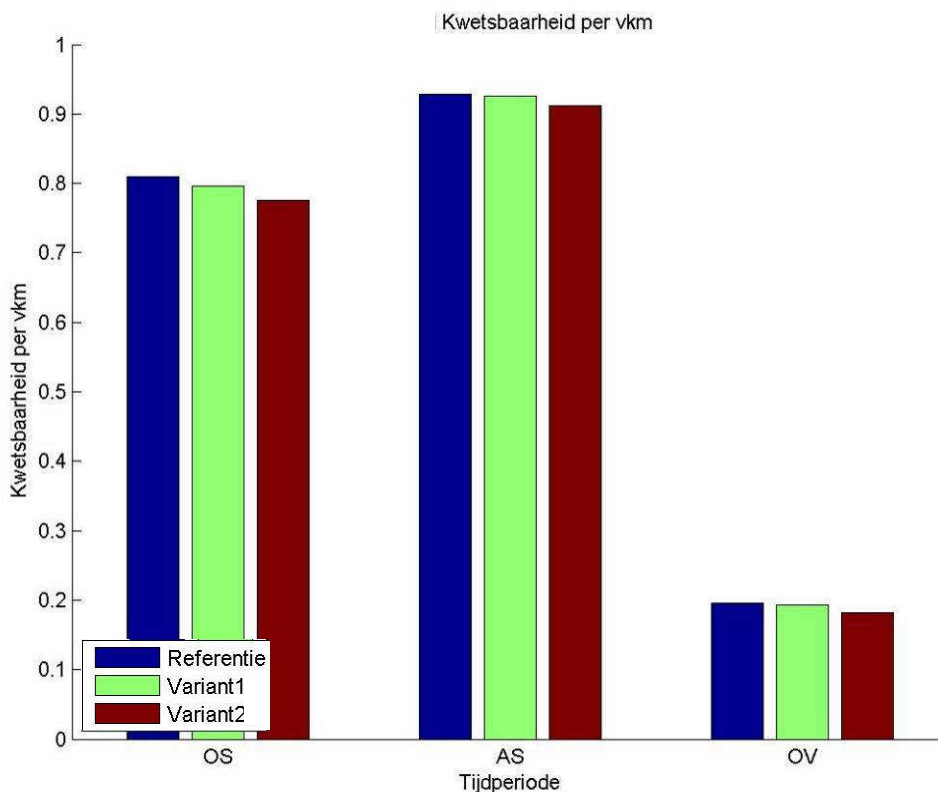
4.3 Effect van een project op zowel I/C-verhouding als kwetsbaarheid

Op twee manieren is onderzocht wat het effect is van een project (verbreding van een bestaande weg of toevoegen van een nieuwe verbinding) op de kwetsbaarheid. Enerzijds is op netwerkniveau de totale kwetsbaarheid van een netwerk berekend en die van de varianten vergeleken met de referentie. Anderzijds is voor individuele wegvakken de verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding in een figuur weergegeven.

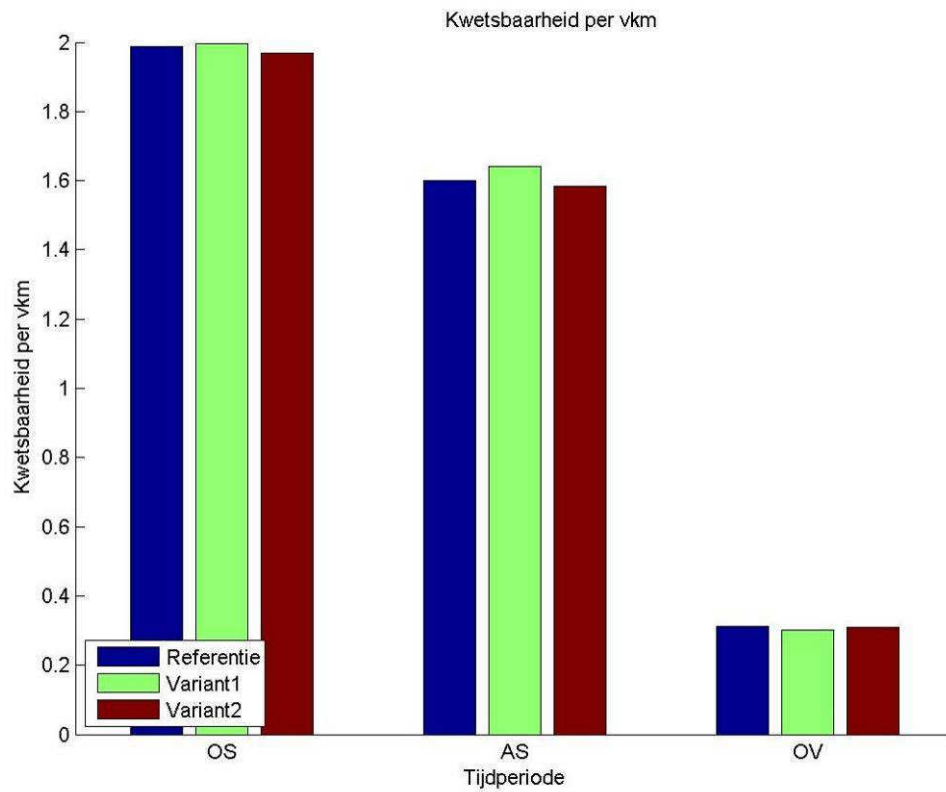
4.3.1 Netwerkniveau

Op netwerkniveau treedt soms een lagere kwetsbaarheid op na het toevoegen van een verbinding of het verbreden van een bestaand wegvak, maar soms juist een hogere kwetsbaarheid. Een toename in kwetsbaarheid kan verklaard worden door een toename in voertuigkilometers (extra capaciteit leidt meestal tot meer voertuigkilometers). Daarom is ook de kwetsbaarheid per voertuigkilometer bepaald.

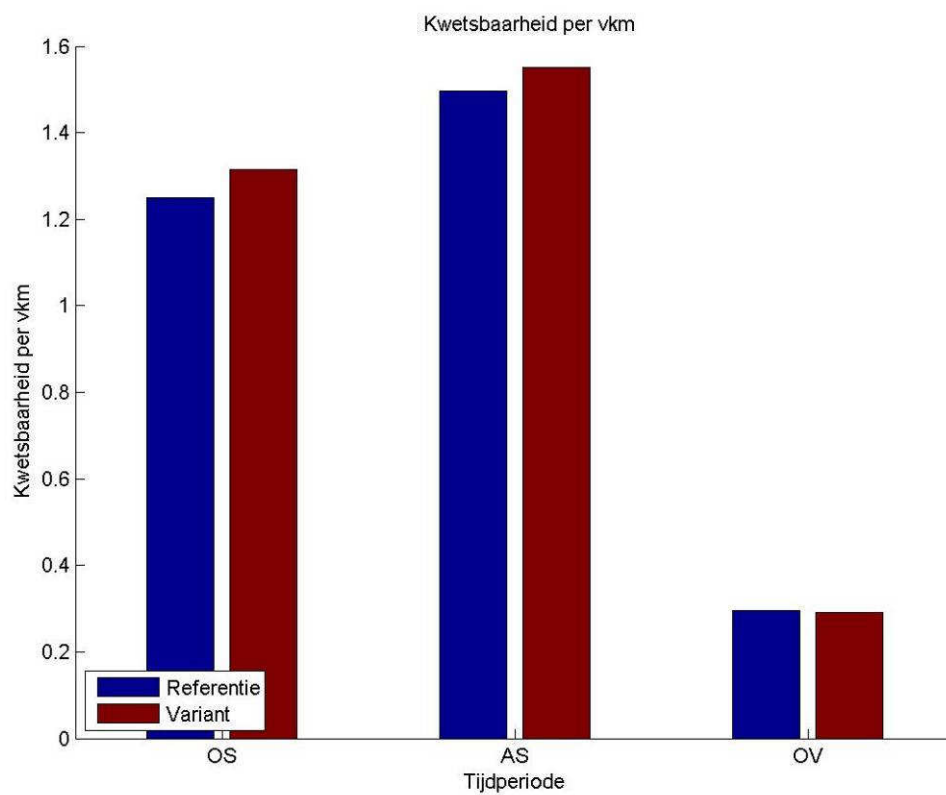
Hieronder volgen de figuren met de kwetsbaarheid per voertuigkilometer voor het gehele netwerk, voor alle vijf projecten. De overige figuren (kwetsbaarheid en voertuigkilometers) staan in bijlage 7). De nachtperiode is niet opgenomen omdat de kwetsbaarheid in de nachtperiode verwaarloosbaar klein is.



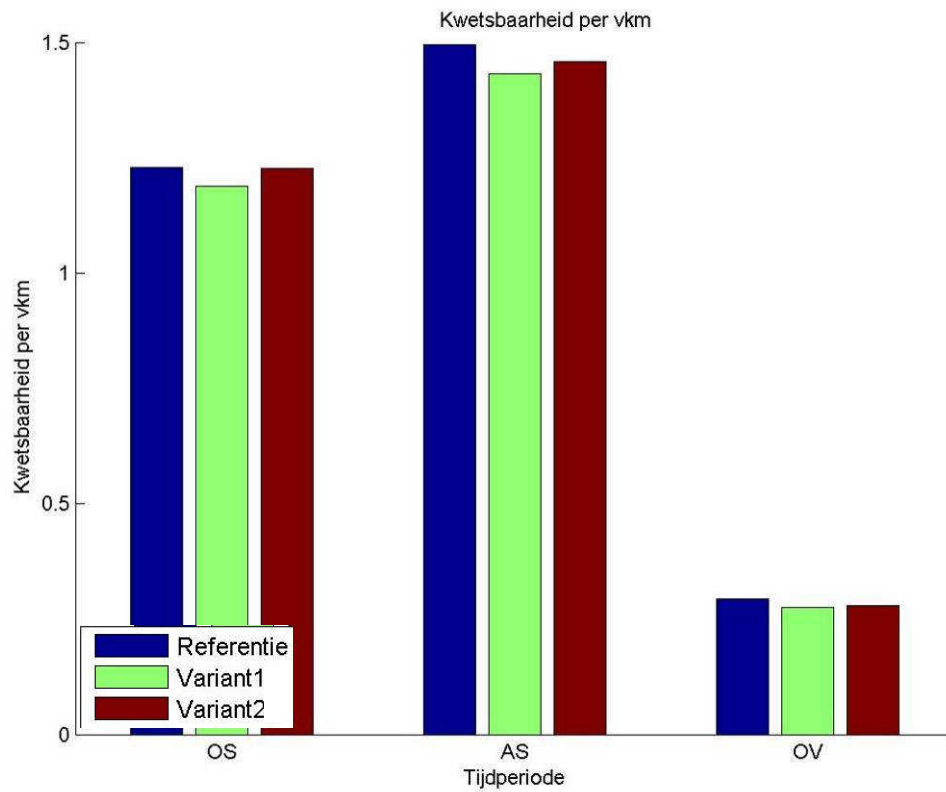
Figuur 4-17: Kwetsbaarheid per voertuigkilometer op netwerkniveau voor project D.



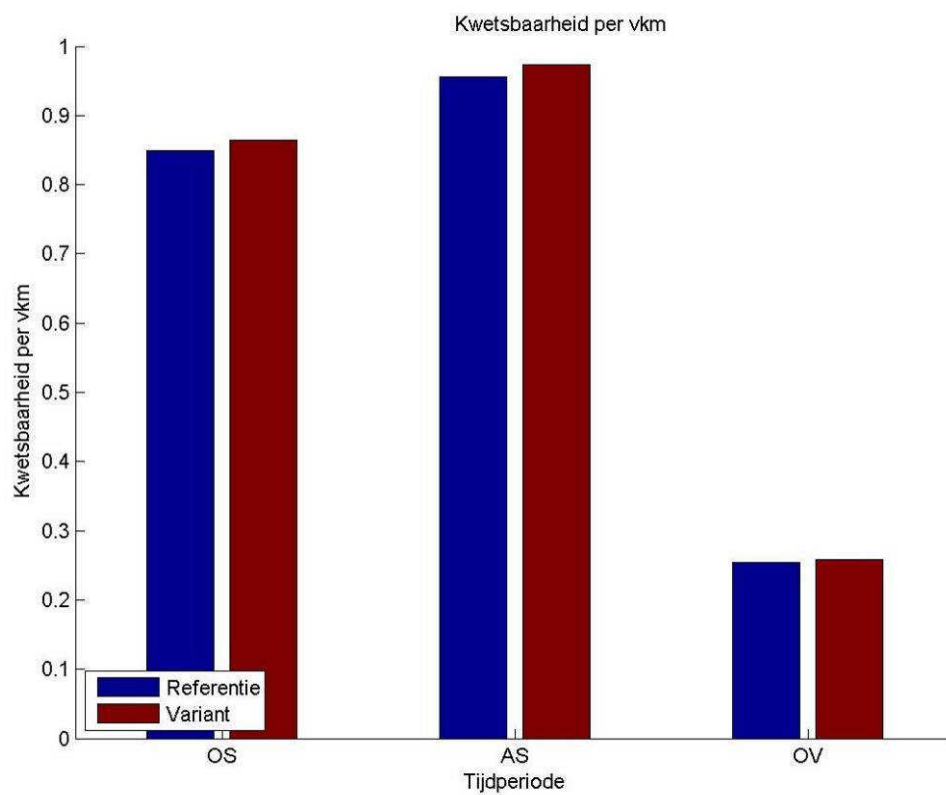
Figuur 4-18: Kwetsbaarheid per voertuigkilometer op netwerkniveau voor project E.



Figuur 4-19: Kwetsbaarheid per voertuigkilometer op netwerkniveau voor project B.



Figuur 4-20: Kwetsbaarheid per voertuigkilometer op netwerkniveau voor project C.

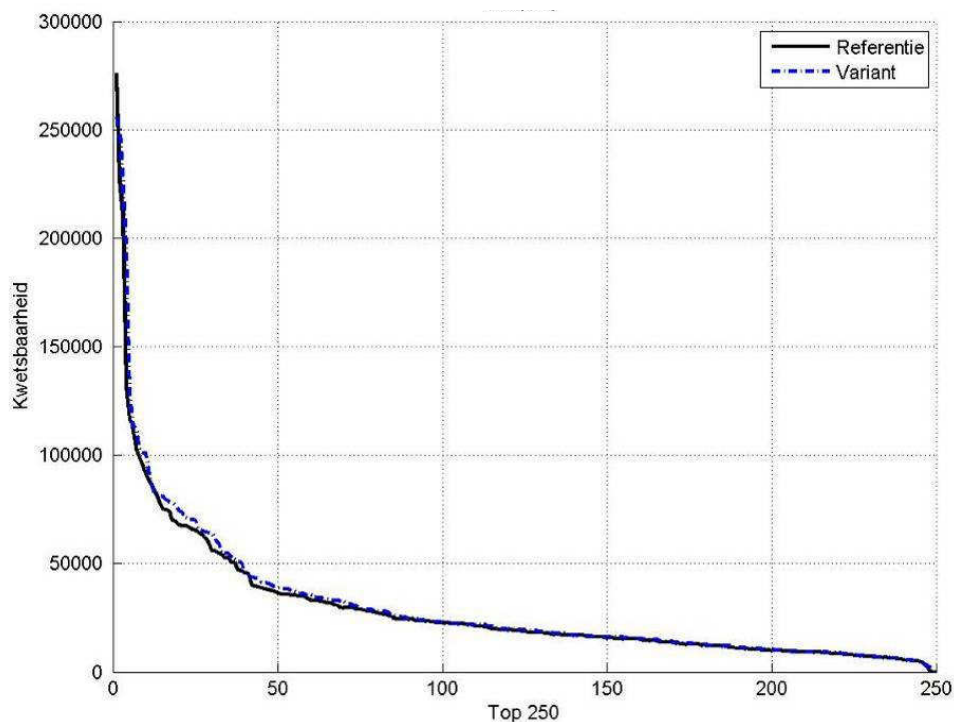


Figuur 4-21: Kwetsbaarheid per voertuigkilometer op netwerkniveau voor project A.

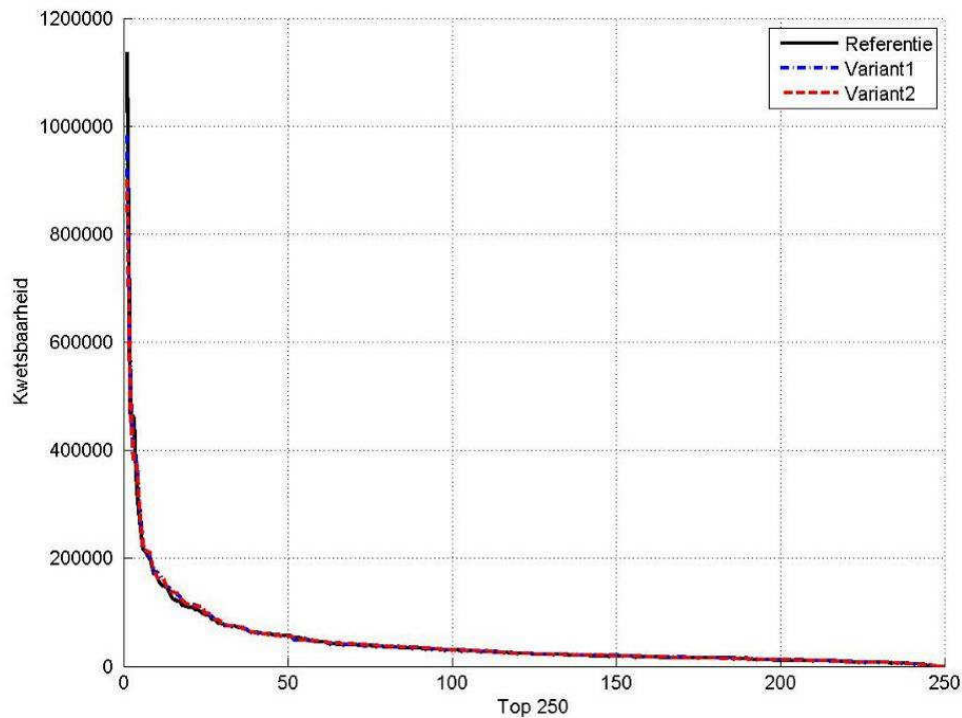
De verschillen in kwetsbaarheid op netwerkniveau zijn relatief klein. De toename in kwetsbaarheid per voertuigkilometer voor enkele projecten is lastig te verklaren doordat er veel aspecten meespelen. De belangrijkste daarvan is dat er voor een variant een nieuwe prognosematrix (het verkeersaanbod) gegenereerd is, waardoor er in de rest van het netwerk meer en andere verplaatsingen gemaakt worden. Daarnaast speelt ook de hoge congestie in het netwerk een rol: door de hoge mate van congestie leidt een kleine wijziging in de verkeersstromen al gauw tot een toename van de kwetsbaarheid als gevolg van omrijroutes.

De verschillen in absolute waarde tussen de projecten (de kwetsbaarheid per voertuigkilometer is voor het ene project veel groter dan voor andere projecten) zijn weer te verklaren door de verschillende modellen en verschillen in regio's.

Naar aanleiding van deze bevindingen onderzochten wij de kwetsbaarheid van de individuele wegvakken en de afname van kwetsbaarheid binnen de top 250. Voor enkele projecten is de kwetsbaarheid van de 250 onderzochte wegvakken voor de referentie en variant met elkaar vergeleken. Het blijkt dat de kwetsbaarheid vooral verschilt in de eerste wegvakken. Onderstaande figuren tonen voor twee projecten de kwetsbaarheid per wegvak voor de top 250. De kwetsbaarheid neemt na de eerste paar wegvakken heel snel af. Hieruit volgt tevens dat 250 wegvakken een voldoende groot aantal is om alle kwetsbare wegvakken te ondervangen. Met andere woorden: de top 250 bevat alle kwetsbare wegvakken in het netwerk.



Figuur 4-22 Kwetsbaarheid per wegvak voor de top 250, Project B, ochtendspits.



Figuur 4-23 Kwetsbaarheid per wegvak voor de top 250, Project E, ochtendspits.

Voor de overige projecten en dagdelen zien de figuren er vergelijkbaar uit.

4.3.2 Verandering in kwetsbaarheid

Om een idee te krijgen van de mate waarin het effect op kwetsbaarheid in een MKBA meeweegt (ten opzichte van andere grootheden in een MKBA) onderzoeken we het effect in kwetsbaarheid op netwerkniveau.

Tabel 4.11 verandering in kwetsbaarheid (in duizend voertuigminuten)

kwetsbaarheid (incidentkans * extra voertuigminuten), voor Referentie [* 1000] (absolute waarde voor de Referentie)									
Referentie	Project A	Project B	Project C		Project D		Project E		
OS	3270	7163	7050		4386			11343	
AS	3915	9164	9138		5335			9650	
OV	816	1498	1492		962			1589	
verandering in kwetsbaarheid ten opzichte van de Referentie[* 1000]									
	Project A	Project B	Project C		Project D		Project E		
	Variant	Variant	Variant 1	Variant 2	Variant 1	Variant 2	Variant 1	Variant 2	
OS	133	359	-61	76	-73	-172	85	10	
AS	182	355	-163	-125	-12	-68	306	-56	
OV	26	-27	-78	-66	-11	-65	-43	-4	

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de kwetsbaarheid in het ene geval toeneemt en in het andere geval afneemt. Het verschilt per project en er is geen eenduidige richting aan te geven. De richting van het effect (van een project) in de KBA is dus niet aan te geven, laat staan een orde van grootte.

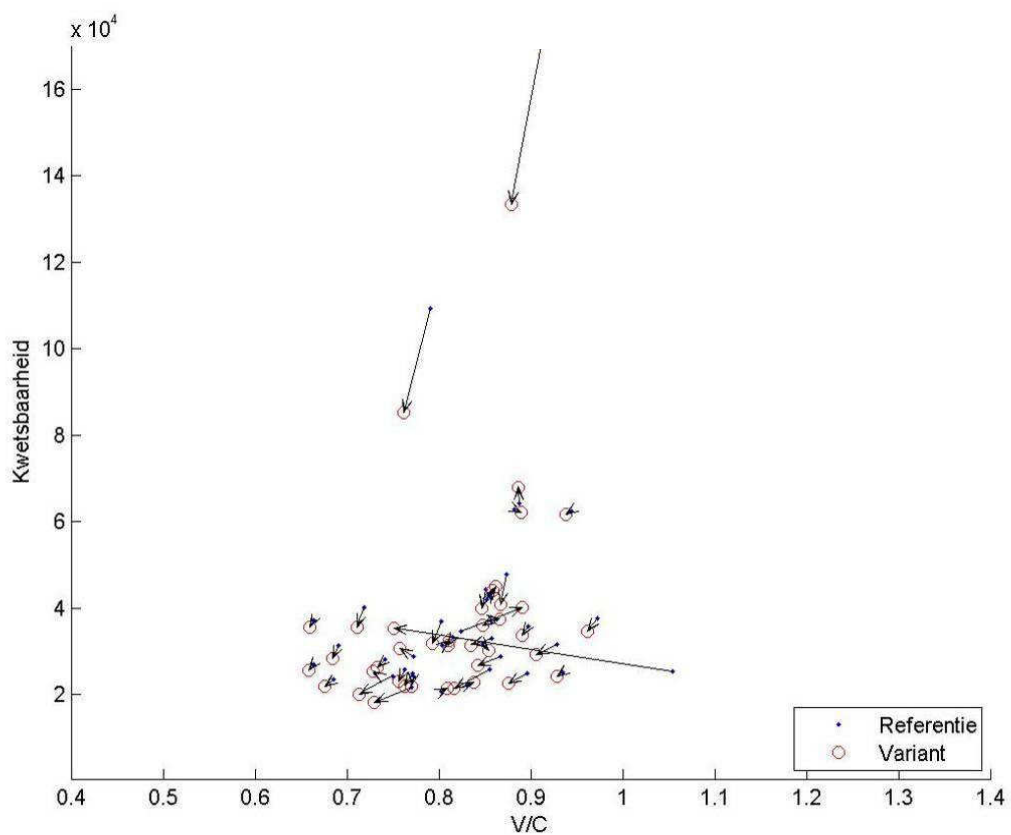
4.3.3 Individuele wegvakken

Onderstaande figuren laten voor de vijf projecten zien hoe de I/C-verhouding en de kwetsbaarheid veranderen tussen referentie en variant voor de ochtendspits. Bijlage 8 bevat dergelijke

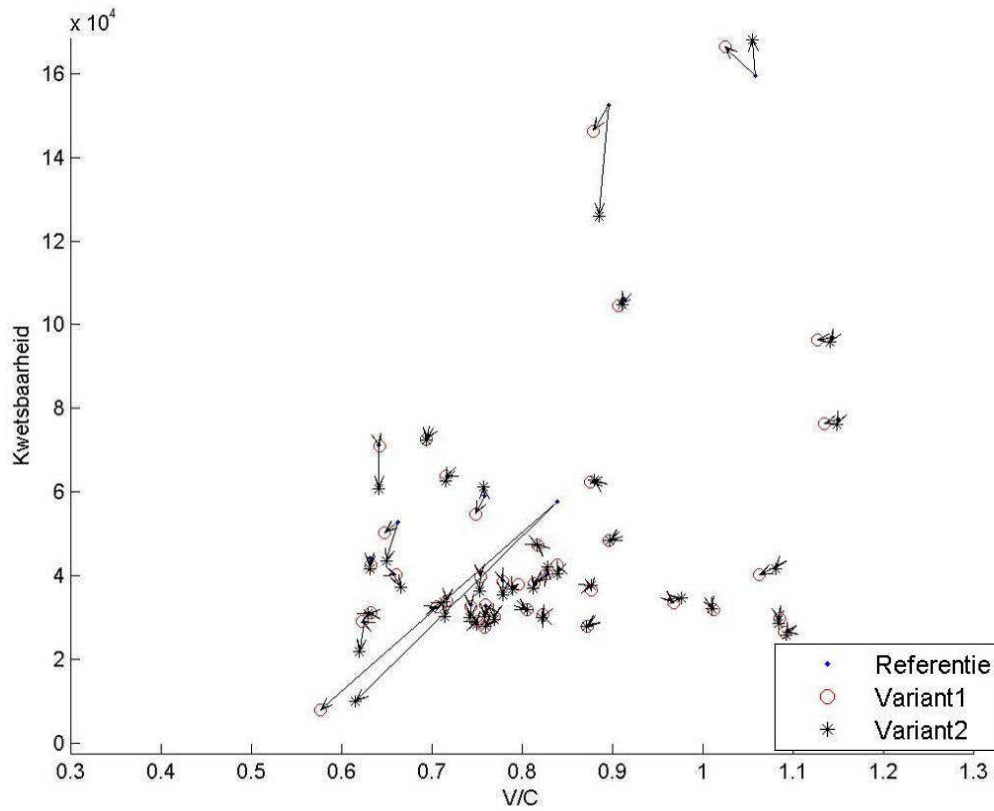
figuren voor de avondspits en overdagperiode. Het overgrote deel van de wegvakken laat een verwaarloosbaar kleine verandering zien in beide grootheden. Voor alle projecten zien we enkele wegvakken waarvoor de I/C-verhouding en/of de kwetsbaarheid sterk veranderen. Voor veel wegvakken is een verandering van I/C en kwetsbaarheid in dezelfde richting te zien: zowel de I/C-verhouding als de kwetsbaarheid neemt af, al is de mate waarin relatief erg klein. Er zijn echter ook veel wegvakken waarbij de verandering in de andere richting gaat (lagere I/C en hogere kwetsbaarheid bijvoorbeeld). Hieruit is niet duidelijk op te maken wat het effect is van een wegverbreding of toevoeging van een verbinding.

Er is ook geen onderscheid te maken tussen beide typen projecten (verbreding of nieuwe verbinding). De verschillen die we zien zijn waarschijnlijk meer te verklaren door het verschil in het gebruikte model dan verschil in typen project. Om een dergelijk verschil vast te stellen zouden we binnen één model beide type projecten moeten toepassen.

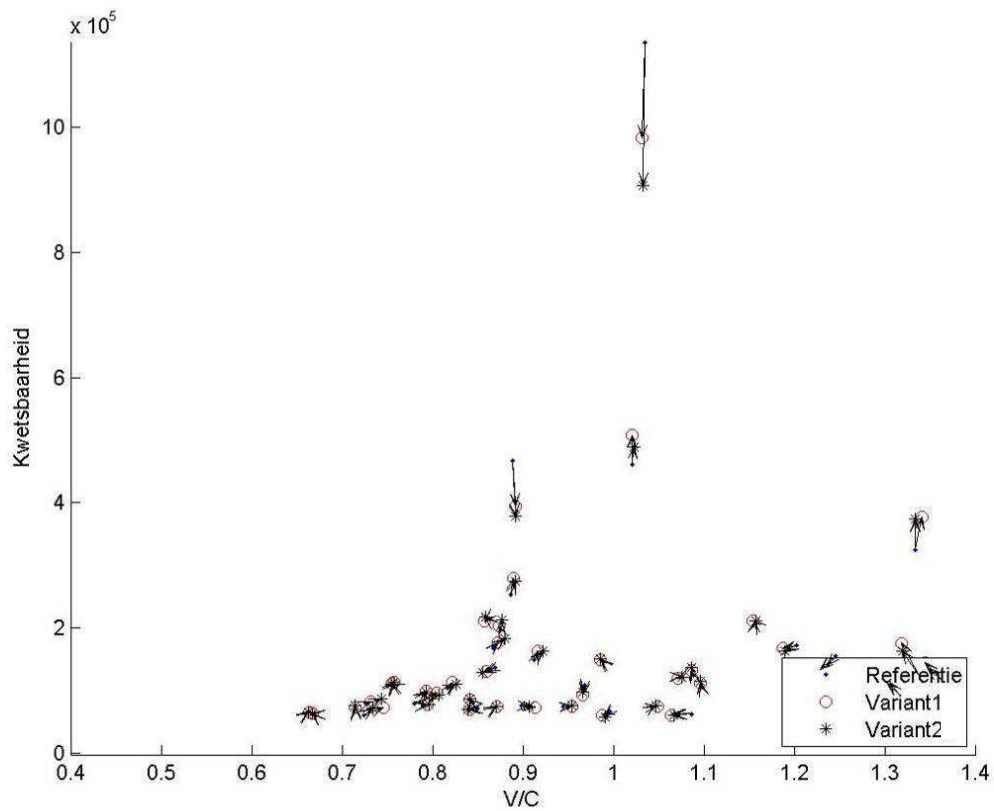
Wel is er buiten de spits (in de overdagperiode) een eenduidig effect in kwetsbaarheid te zien voor nieuwe verbindingen. In het geval van een nieuwe verbinding neemt de kwetsbaarheid af, buiten de spits. Voor wegverbredingen en voor spitsperioden is er geen eenduidig effect.



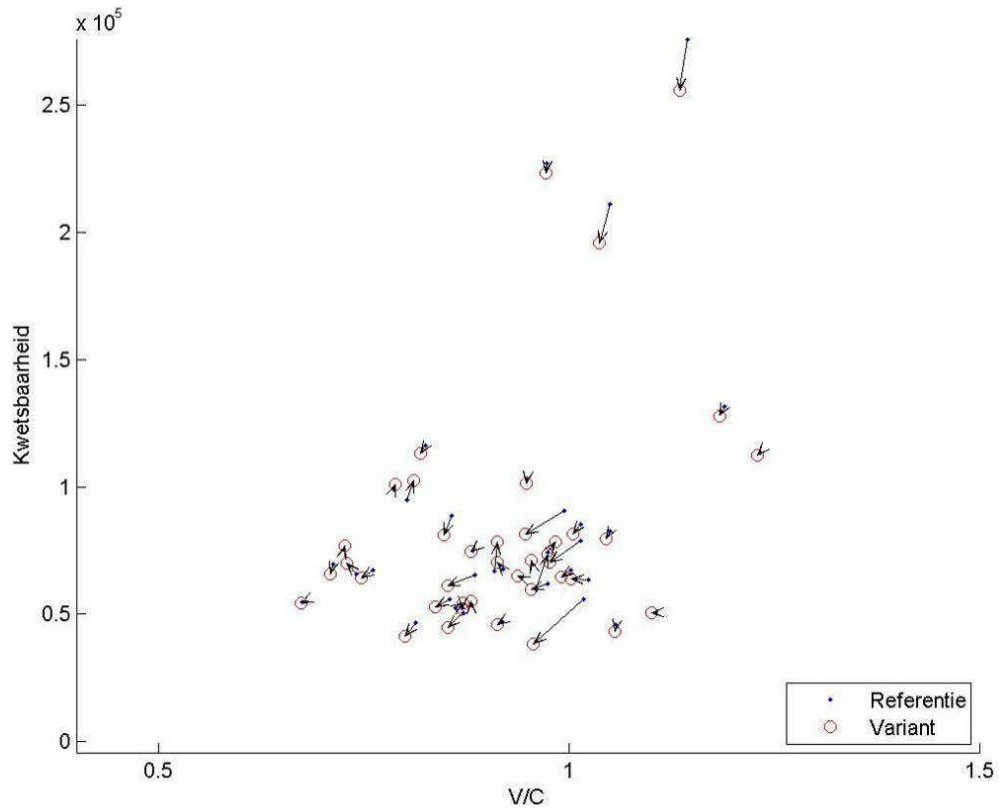
Figuur 4-24: Verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project A in de ochtendspits.



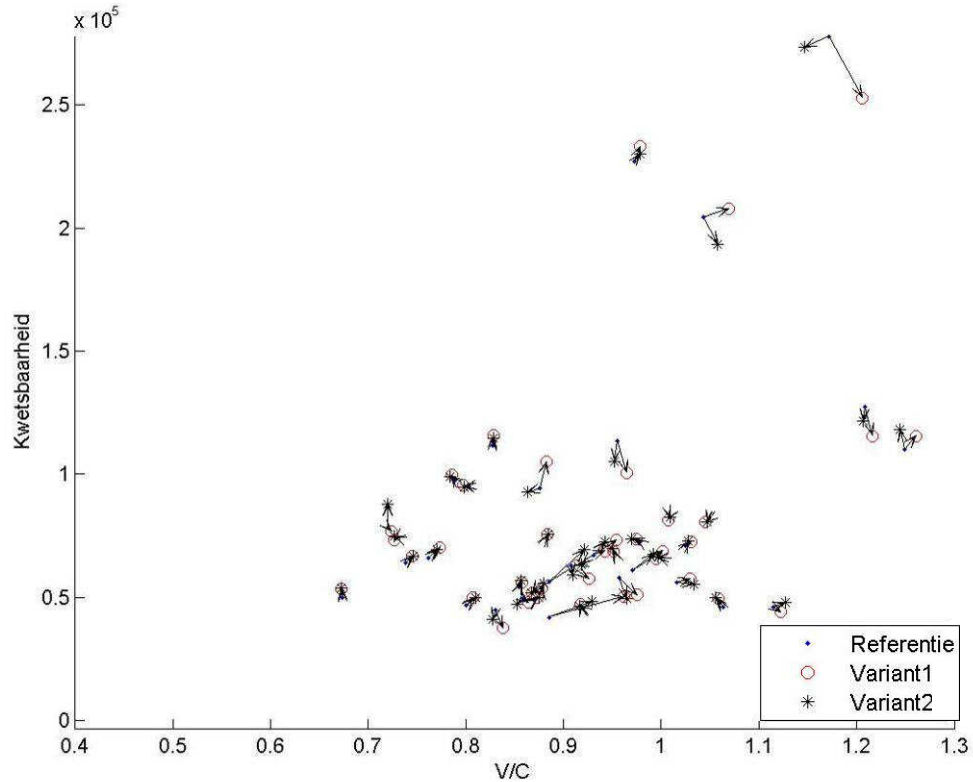
Figuur 4-25: Verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project D in de ochtendspits.



Figuur 4-26: Verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project E in de ochtendspits.

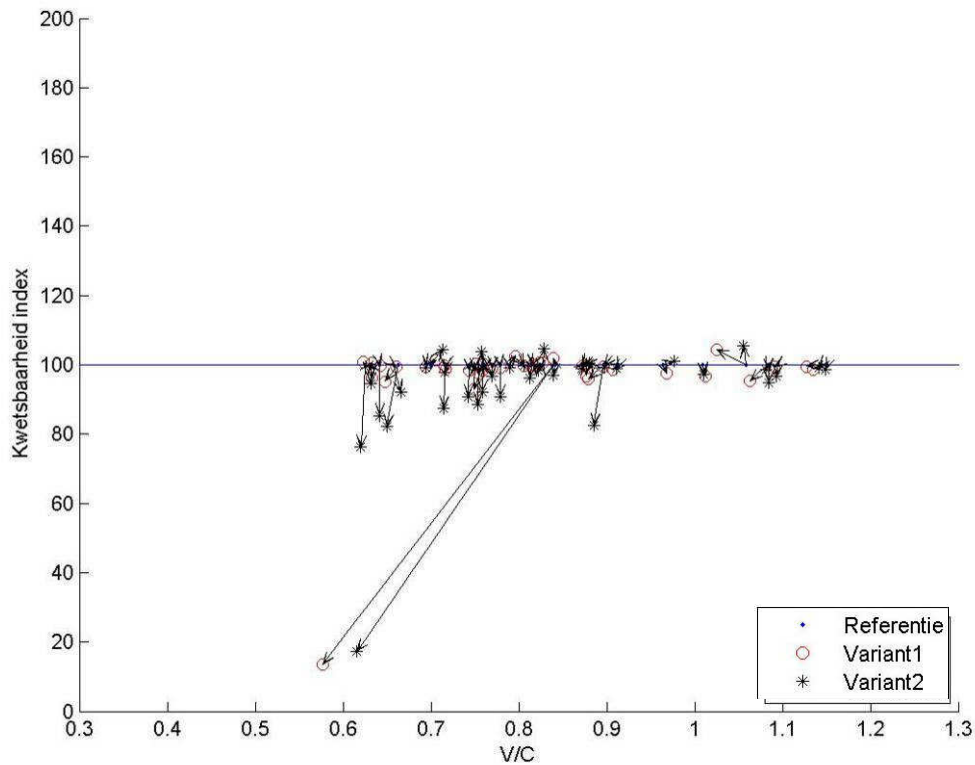


Figuur 4-27: Verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project B in de ochtendspits.

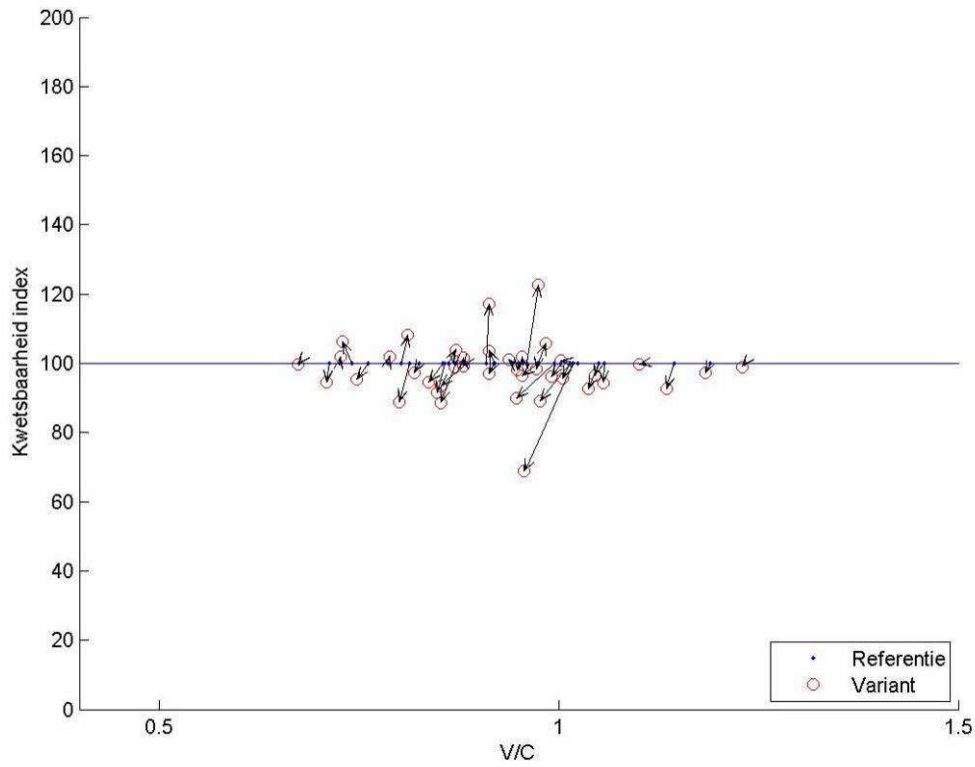


Figuur 4-28: Verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project C in de ochtendspits.

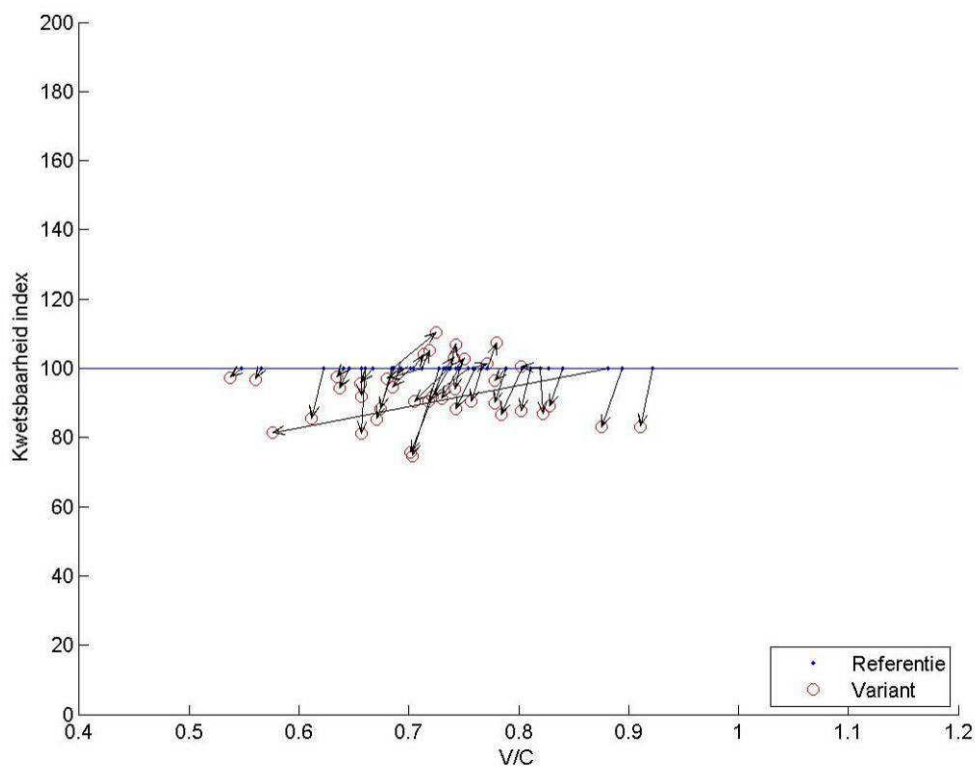
Naar aanleiding van deze figuren met absolute verandering in kwetsbaarheid, zijn er tevens figuren met de relatieve verandering in kwetsbaarheid gemaakt. Hieronder volgen enkele van dergelijke figuren. Hier is duidelijker te zien dat de kwetsbaarheid voor veel wegvakken afneemt (waarbij de I/C-verhouding nauwelijks verandert), maar dat er ook veel wegvakken zijn met een toename in kwetsbaarheid. Er zijn enkele wegvakken met een grote verandering in kwetsbaarheid. De meeste veranderingen liggen tussen de 0 en 20%.



Figuur 4-29: Relatieve verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project D in de ochtendspits.



Figuur 4-30: Relatieve verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project B in de ochtendspits.



Figuur 4-31: Relatieve verandering in kwetsbaarheid en I/C-verhouding per wegvak, voor project A overdag.

5 Conclusies

5.1 Incidentkans

Met behulp van een databestand van VCNL met geregistreerde incidenten (op snelwegen waar Incident Management is ingevoerd), is het gemiddelde aantal incidenten per uur per km wegvak bepaald per wegtype en aantal rijstroken. Uit de database komt een gemiddeld aantal incidenten per uur van 2,4 in een spitsuur en 1,0 in een uur buiten de spits. Dit zijn relatieve kansen gebaseerd op incidentmeldingen inclusief loze meldingen. Deze gemiddelde aantallen kunnen niet gebruikt worden als absolute kansen op een blokkade.

Deze relatieve incidentkansen nemen toe voor wegen met meer rijstroken. Voor uitvoegstroken, weefvakken en splitsingen is de relatieve incidentkans hoger dan voor normale wegvakken en invoegstroken. In de spitsperiodes is de relatieve incidentkans (per uur) hoger dan buiten de spits.

Deze aangepaste incidentkans is toegepast in de Robuustheidsscanner. Hierdoor is er geen afhankelijkheid meer tussen intensiteit en incidentkans, maar is wel een betere inschatting gemaakt voor de verschillende wegtypering (weefvakken, in- en uitvoegstroken en normale wegvakken).

5.2 Relatie tussen kwetsbaarheid en I/C-verhouding

Met behulp van de Robuustheidsscanner is voor vijf projecten de kwetsbaarheid bepaald voor wegvakken in referentie en variant, voor verschillende tijdsperiodes (ochtendspits, avondspits, overdag en nacht). Voor alle kwetsbare wegvakken is de gemiddelde kwetsbaarheid berekend per I/C-verhouding. Enerzijds is er een relatie te zien tussen de gemiddelde kwetsbaarheid en de I/C-verhouding en het aantal rijstroken, binnen een project. Anderzijds is er een grote spreiding binnen de cellen van de tabel en veel variatie tussen de vijf projecten, zodanig dat deze waarden niet goed generaliseerbaar zijn.

Binnen een project is er een duidelijke afhankelijkheid tussen I/C-verhouding, aantal rijstroken en kwetsbaarheid, maar de absolute waarden van de kwetsbaarheid verschillen veel tussen de vijf projecten onderling. Die verschillen tussen de vijf projecten zijn voornamelijk te verklaren door de verschillen in gebruikte modellen en verschillende regio's. De gebruikte modellen verschillen in, onder andere, studiegebied, detailniveau, wegenstructuur, uitgangspunten.

Daarnaast is de kwetsbaarheid van een wegvak niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid verkeer op die weg (en dus de I/C-verhouding) maar ook (en misschien in sterkere mate) van de alternatieve routes (het aantal, de lengte en restcapaciteit van die routes). Dus de kwetsbaarheid van wegen in Noord-Holland is niet te vergelijken met de kwetsbaarheid van wegen in Gelderland (bijvoorbeeld).

Naast de absolute waarde van kwetsbaarheid is de relatieve waarde van kwetsbaarheid (ten opzichte van de kwetsbaarheid voor een I/C-verhouding van 0,9-1,0) onderzocht. De relatieve kwetsbaarheid toont een grotere overeenkomst tussen de projecten dan de absolute kwetsbaarheid. Ook de relatieve verandering in kwetsbaarheid is in grote lijn vergelijkbaar tussen de projecten. Er zit ook nog veel spreiding in de gegevens, wat deels te maken heeft met de kleine steekproefgrootte.

5.3 Effect per incident en relatie met I/C-verhouding

De kwetsbaarheid wordt berekend door het product van de incidentkans met het effect per incident. De incidentkans die uiteindelijk gebruikt is in de Robuustheidsscanner hangt niet meer af van de intensiteit en dat is waarschijnlijk één van de verklaringen van de grote spreiding in kwetsbaarheid. Daarom is dezelfde analyse uitgevoerd met het effect per incident. Het effect per incident is gedefinieerd door de extra reistijd in het gehele netwerk als gevolg van een incident (afsluiting van 1 rijstrook).

Het effect per incident is ook voor alle kwetsbare wegvakken berekend en uitgezet tegen de I/C-verhouding en het aantal rijstroken van een wegvak. Tevens is deze analyse voor spitsperiodes en overdagperiode apart uitgevoerd. Het effect van een incident is sterk afhankelijk van I/C en aantal rijstroken. De spreiding is minder dan voor de kwetsbaarheid. Dit heeft deels te maken met de loskoppeling van de incidentkans en deels met de aparte analyses voor spitsperiodes en dal.

5.4 Effect van project op kwetsbaarheid

Het verschil in kwetsbaarheid en I/C-verhouding tussen referentie en variant is onderzocht. Zowel op netwerkniveau (de kwetsbaarheid voor het hele netwerk) als op individuele wegvakken.

Netwerkniveau

Voor sommige projecten is een afname in totale kwetsbaarheid te zien, voor sommige projecten een toename. Het gaat om relatief kleine veranderingen. Één van de verklaringen voor de toename in kwetsbaarheid (na capaciteitsverhoging of het toevoegen van een verbinding) is dat een project naast invloed op de kwetsbaarheid van het netwerk, ook invloed heeft op de HB-relaties. Door capaciteitsverhoging of toevoeging van een verbinding veranderen de hoeveelheid en samenstelling van het verkeer (er worden andere bestemmingen gekozen, waardoor ook het aantal voertuigen in het studiegebied verandert) en dit leidt weer tot grotere kwetsbaarheid.

Individuele wegvakken

Er is niet een eenduidig effect waar te nemen op individuele links als gevolg van het project. Sommige links laten een afname in I/C-verhouding en kwetsbaarheid zien, andere links vertonen een toename in kwetsbaarheid gecombineerd met een afname in I/C-verhouding of andere richtingen. Over het algemeen geldt dat de meeste links slechts een kleine, minimale verandering in I/C-verhouding vertonen. Ook de verandering in kwetsbaarheid is voor de meeste wegvakken minimaal. Wat niet zo vreemd is, aangezien er voor de meeste wegvakken niet veel verandert.

Ook zijn de verschillen in I/C-verhouding tussen referentie en variant voor de meeste wegvakken heel klein. Dat wil zeggen dat deze wegvakken in de tabel (kwetsbaarheid versus I/C-verhouding) in dezelfde cel blijven.

Resumerend

Er is op het niveau van individuele wegvakken een duidelijke afhankelijkheid tussen kwetsbaarheid en de I/C-verhouding en aantal rijstroken van een wegvak. Voor het effect per incident (de extra reistijd in het netwerk als gevolg van een incident) is die afhankelijkheid nog sterker. Hoe groter de I/C-verhouding, des te groter is het effect van een incident en des te groter is ook de kwetsbaarheid.

Echter, op netwerkniveau is er geen eenduidig effect van een project (nieuwe verbinding of verbreding van een bestaande weg) waar te nemen. De verandering in totale kwetsbaarheid op netwerkniveau verschilt per project en kan zowel toe- als afnemen.

5.5 Aanbevelingen

Incidentkans

Met betrekking tot de incidentkans is het aan te bevelen om de uitgevoerde verdiepingsslag uit te breiden en het aantal incidenten per wegvak te koppelen aan de intensiteit per wegvak. Daarnaast zou deze analyse uitgevoerd moeten worden met databases uit de verkeerscentrales, omdat die gegevens meer informatie bevatten over de incidenten, zoals de duur van een incident.

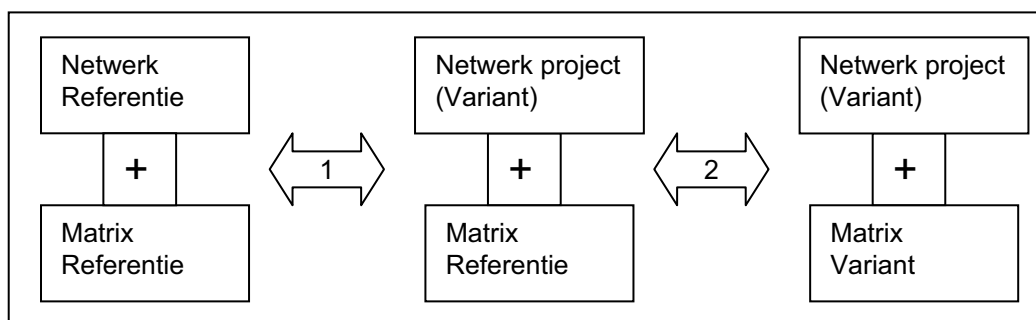
Kwetsbaarheid

Met betrekking tot de kwetsbaarheid is vervolgonderzoek naar de oorzaak van de grote spreiding tussen de verschillende wegvakken aan te raden. Dat onderzoek kan zich bijvoorbeeld richten op diverse kenmerken van de wegvakken, zoals in- en uitvoegers, maar ook de locatie van een wegvak (de regio waar een wegvak zich bevindt). De locatie van een wegvak geeft onder andere inzicht in alternatieve routes.

Daarnaast kan de spreiding als gevolg van de verschillende modellen geminimaliseerd worden door een vergelijkbare studie uit te voeren op één model, bij voorbeeld het LMS. Dat is een model met landelijke dekking. Daarbij kunnen dan meerdere projecten als variant ingevoerd worden (verschillende nieuwe verbindingen en diverse wegverbredingen). Om zo de verschillen tussen nieuwe verbindingen en wegverbredingen beter in beeld te krijgen (zonder de versterking van verschillen in model en regio).

Als de steekproef van wegvakken verhoogd wordt, door ofwel meerdere projecten door te rekenen ofwel meerdere wegvakken te selecteren (in de huidige versie is dat 250), wordt het mogelijk een functie te schatten van kwetsbaarheid per wegvak als functie van de I/C-verhouding en het aantal rijstroken.

Een andere interessante analyse is om de gevolgen van kwetsbaarheid uit te splitsen in een effect op de kwetsbaarheid door verandering van het netwerk sec (nummer 1 in figuur 5-1) en de verandering in kwetsbaarheid als gevolg van verandering in verkeersstromen (nummer 2 in figuur 5-1). Daarvoor kan het aangepaste netwerk (met het project: de variant) doorgerekend worden met dezelfde matrix als van de Referentie. Op die manier is inzicht te verkrijgen in de kwetsbaarheid van het netwerk waarbij de HB-relaties precies hetzelfde blijven (nummer 1). En door de resultaten van het project met aangepaste verkeersstromen te vergelijken met de resultaten van het project met verkeersstromen uit de Referentie, is te onderzoeken wat het effect op de kwetsbaarheid is als gevolg van de verandering in verkeersstromen (HB-relaties).



Figuur 5-1

Bijlage 1

Kaarten met de top 50 van kwetsbare wegvakken