

De betekenis van robuustheid

Jaap Anne Korteweg
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
jaapanne.korteweg@minvenw.nl

Mariëtte Kraan
Grontmij Nederland B.V.
mariette.kraan@grontmij.nl

Sytze Rienstra
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
syitze.rienstra@minvenw.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
25 en 26 november 2010, Roermond**

Samenvatting

De betekenis van robuustheid – het effect van een incident uitgelicht

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft op verzoek van het team Investeringsbeleid en Strategie van het Directoraat-Generaal Mobiliteit van het ministerie van Verkeer en Waterstaat onderzoek gedaan naar hoe robuustheid (beter) in MKBA's verankerd kan worden. Als onderdeel van deze studie heeft Grontmij (Grontmij, 2009) diverse analyses uitgevoerd met de robuustheidsscanner. Deze analyses zijn samen met het KiM-rapport (KiM, 2010) de basis van dit artikel.

Voor deze studie is robuustheid gedefinieerd als de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten uitblijven. Het gevolg van een incident (ongevallen, extreem weer, werkzaamheden en evenementen) is geoperationaliseerd als de reistijdverliezen van een blokkade van minimaal één rijstrook als gevolg van een ongeval.

De huidige verkeersmodellen nemen de effecten van maatregelen op robuustheid niet goed mee. Daarom zijn er aanvullende analyses nodig om de robuustheidseffecten te analyseren en te waarderen. Het betreft een aanvulling op de gebruikelijke analyse van betrouwbaarheid.

Bij wegverbredingen en nieuwe wegverbindingen werken twee effecten tegen elkaar in. Enerzijds leidt een verbreding tot minder congestie en dus tot meer restcapaciteit op het tracé zelf. Bij een nieuwe verbinding geldt dit voor die wegvakken die ontlast worden, waardoor de robuustheid toeneemt. Anderzijds wordt er meer verkeer gegenereerd. Hierdoor neemt het verkeer ook in de rest van het netwerk toe, waardoor de restcapaciteit daar afneemt. Ook op het verbrede tracé neemt het verkeer toe, waardoor er bij een incident meer verkeer geblokkeerd raakt en daarmee de robuustheid lager wordt. Er is dus niet standaard sprake van een positief of negatief effect op robuustheid.

De gevolgen van een ongeval (en van andere incidenten) worden bepaald door de mate van capaciteitsreductie, de reservecapaciteit – zowel op de weg waar het incident plaatsvindt als op alternatieve routes – en door de duur van het incident. Het reistijdverlies als gevolg van een ongeval bedraagt in de spits gemiddeld ruim 3.000 voertuiguren; in geld uitgedrukt bedragen de reistijdverliezen dan 81 duizend euro. Buiten de spits is dit een vijfde van dat bedrag. De spreiding rond deze bedragen is zeer groot. Deze gevolgen van een blokkade zijn relatief groter als de verkeersdrukke (intensiteit-capaciteitsverhouding) toeneemt. Ook bij een toename van het aantal rijstroken nemen de gevolgen (in beperkte mate) toe.

1. Inleiding

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft op verzoek van het team Investeringsbeleid en Strategie van het Directoraat-Generaal Mobiliteit van het ministerie van Verkeer en Waterstaat onderzoek gedaan naar hoe robuustheid (beter) in MKBA's verankerd kan worden. Als onderdeel van deze studie heeft Grontmij diverse analyses uitgevoerd met de robuustheidsscanner. Deze analyses zijn samen met het KiM-rapport de basis van dit artikel.

2. Aanleiding en definitie

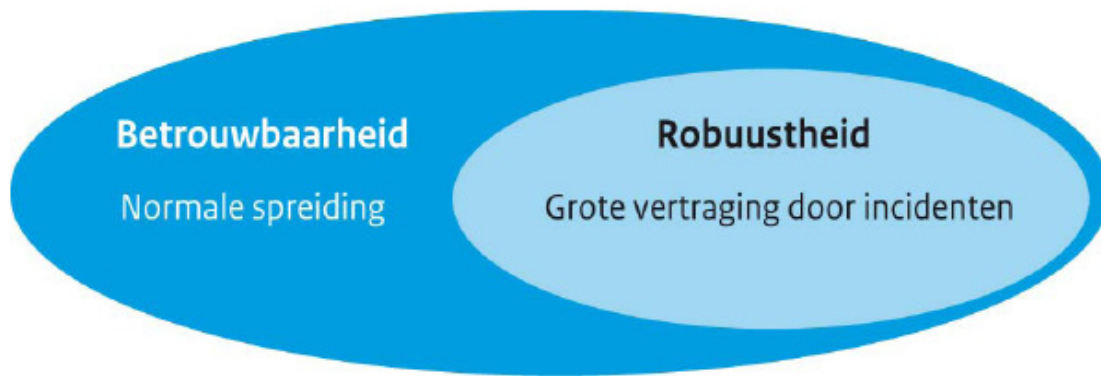
2.1 Aanleiding

Binnen het verkeersbeleid is er – naast het beperken van congestie – steeds meer aandacht voor betrouwbare reistijden. In de Nota Mobiliteit (VenW, 2005) heeft het kabinet zich onder meer ten doel gesteld dat in 2020 95 procent van de reizigers op het hoofdwegennet in de spits op tijd op zijn bestemming arriveert. Daarmee is de zekerheid over de duur van de reistijd een belangrijk beleidsdoel. De Nota Mobiliteit wordt verder uitgewerkt in de in 2008 gepubliceerde Mobiliteitsaanpak. Daarin spreekt het kabinet de doelstelling uit om te komen tot een 'robuust' mobiliteitssysteem in 2028. Het kabinet doelt daarmee op een systeem met sterke modaliteiten die elk voldoende capaciteit hebben en onderling goed met elkaar zijn verbonden. Daarmee is het mobiliteitssysteem in staat om snelle en betrouwbare reistijden te garanderen, waarbij het mobiliteitssysteem als geheel ook zo goed mogelijk bestand is tegen incidenten (zoals ongevallen, weersomstandigheden, werkzaamheden en evenementen). In de Mobiliteitsaanpak adviseert het kabinet om te onderzoeken hoe robuustheid kan worden opgenomen in de OEI-systematiek (Overzicht Effecten Infrastructuur) voor maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA).

2.2 Wat is robuustheid?

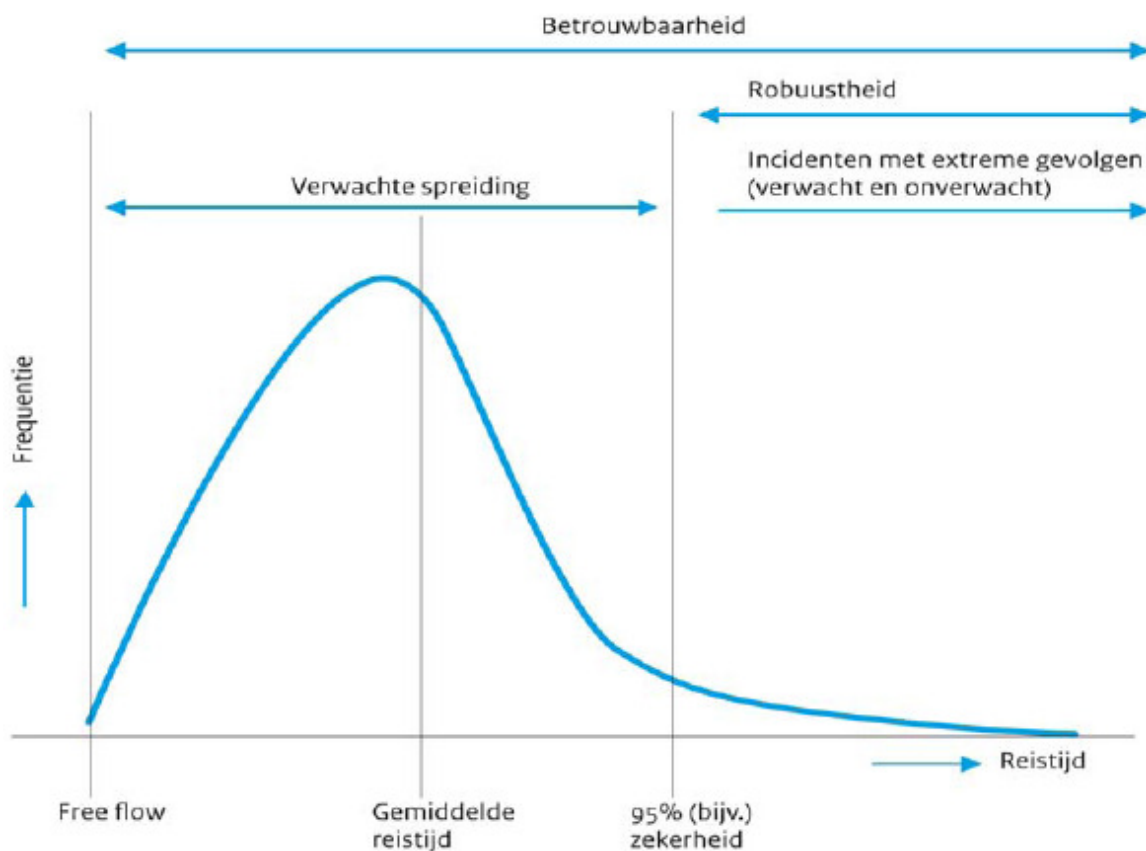
Robuustheid als deelverzameling van betrouwbaarheid

De begrippen betrouwbaarheid en robuustheid zijn nauw met elkaar verbonden. Betrouwbaarheid heeft betrekking op de kans dat een wegennetwerk op een bepaald serviceniveau blijft functioneren onder wisselende omstandigheden. Robuustheid heeft hierbinnen specifiek betrekking op de mate waarin een wegennetwerk kan blijven functioneren bij onvoorspelbare en uitzonderlijke gebeurtenissen (Berdica, 2002; Husdal, 2004; Li, 2008; OECD & ITF, 2009). Robuustheid is zo een 'deelverzameling' van betrouwbaarheid (zie figuur 1). Onvoorspelbare en uitzonderlijke gebeurtenissen noemen we in dit rapport incidenten; hieronder verstaan we ongevallen, wegwerkzaamheden, weersomstandigheden en evenementen (RPB, 2004).



Figuur 1. Robuustheid als deelverzameling van betrouwbaarheid

Het KiM definieert betrouwbaarheid als: *de kwaliteit van het systeem voor de gebruiker* (KiM, 2008). Bij het begrip 'betrouwbare reistijd' is met name de voorspelbaarheid belangrijk. Rond de gemiddelde reistijd zal altijd een bepaalde 'spreiding' zitten; een gebruiker houdt hiermee rekening en heeft als het ware een andere 'verwachte' reistijd dan de gemiddelde reistijd. Als er bijvoorbeeld 'altijd' een file staat, is de gemiddelde extra reistijd al opgenomen in de verwachting. De reiziger houdt daarmee rekening bij de keuze voor het tijdstip van vertrek.



Figuur 2. Spreiding rond de verwachte reistijd

In figuur 2 houdt een reiziger rekening met een reistijd tot het punt waarmee hij bijvoorbeeld met 95 procent zekerheid zijn bestemming bereikt. In hoeverre hij zijn vertrektijd daadwerkelijk aanpast, hangt af van de omstandigheden. Als hij een vliegtuig of belangrijk overleg moet halen, zal hij zijn vertrektijd sterker aanpassen dan als de eerste afspraak later is of als hij een familielid voor de gezelligheid bezoekt.

In de gebruikte definities hebben robuustheid en kwetsbaarheid altijd betrekking op incidenten en de mate waarin deze gevolgen hebben voor de prestaties van een netwerk (zie o.a. Husdal, 2004; Li, 2008; Snelder e.a., 2004). Gebaseerd op de analyse van TNO (2008) is de functie van het wegennet om verplaatsingen van A naar B mogelijk te maken. Als de robuustheid verbetert, blijft deze functionaliteit beter in stand bij niet-reguliere omstandigheden. Het gaat hierbij om situaties die afwijken van de normale fluctuaties in vraag en aanbod door met name weersomstandigheden, ongevallen, werkzaamheden en evenementen.

2.3 Operationalisering robuustheid voor de MKBA

Als we het effect van een specifiek project op robuustheid willen analyseren in een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), is het perspectief van de weggebruiker cruciaal. Dit bepaalt immers hoe het maatschappelijke effect van robuustheid gewaardeerd wordt. Naast aspecten van het netwerk komen dan ook aspecten in beeld die de robuustheid beïnvloeden, zoals de frequentie waarmee incidenten plaatsvinden ('de kans'), informatievoorziening en gedragsbeïnvloeding. Vanuit de gebruiker is de belangrijkste indicator dan ook de extra reistijd als gevolg van incidenten over een bepaalde periode gemeten. In figuur 2 gaat het hierbij om het rechtergedeelte van de spreiding rond de reistijd. *'Robuustheid is de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten uitblijven.'*

Potentiële maatschappelijke baten van robuustheid

Er ligt een grote 'markt' voor robuustheidsverbeterende maatregelen. Zo wordt ongeveer 20 procent van de files veroorzaakt door (grote en kleine) incidenten. De maatschappelijke kosten hiervan bedragen bij benadering 400 miljoen euro (afgezien van eventuele indirecte effecten). Circa twee derde hiervan wordt veroorzaakt door blokkades van rijstroken als gevolg van grote incidenten. Alhoewel robuustheid alleen betrekking heeft op een gedeelte van de gevolgen van incidenten (namelijk die met extreme reistijdverliezen), is er toch sprake van omvangrijke potentiële robuustheidsbaten.

3. Robuustheidseffecten

3.1 Robuustheid in modellen

Verkeersmodellen als het NRM (Nederlands Regionaal Model) en het LMS (Landelijk Model Systeem) berekenen de verkeerskundige effecten van (infrastructuur)maatregelen voor wegen. De modellen berekenen de situatie op een gemiddelde werkdag; het verkeer wordt toegedeeld op basis van vraag en aanbod. Hierbij wordt uitgegaan van de gevonden gedragsreacties uit een bepaald basisjaar. De gerealiseerde verkeersstromen en congestie worden voor dat basisjaar zo goed mogelijk gesimuleerd. Vervolgens wordt op basis van verwachte veranderingen in de omgeving (zoals economische groei, ruimtelijke ontwikkelingen en nieuwe infrastructuur) de situatie in de toekomst gesimuleerd.

In de standaard verkeersmodellen wordt de kans op een incident op een bepaald wegvak niet meegenomen. Omdat infrastructuurprojecten zowel de kans op een incident als de gevolgen van een incident beïnvloeden, is het effect op robuustheid niet in de standaard verkeersmodellen verwerkt. Er is dus een aanvullende analyse nodig om deze effecten in kaart te brengen en om het maatschappelijke belang ook in de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) mee te kunnen nemen.

3.2 Robuustheidsscanner

In het kader van deze studie heeft Grontmij (2009) een aantal analyses uitgevoerd met de Robuustheidsscanner. Daarbij heeft Grontmij gebruikgemaakt van eerder uitgevoerde NRM-runs in vijf studies, 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.

Uit de Robuustheidsscanner resulteert een kwetsbaarheidsindicator, die gedefinieerd is als de relatieve kans op een ongeval vermenigvuldigd met de extra reistijd als gevolg van een blokkade van één rijstrook en een reductie van 50 procent van de capaciteit op de overige rijstroken¹. Hierbij is het effect in het studiegebied gemeten.

¹ Er wordt gewerkt met relatieve kansen gebaseerd op voertuigkilometers en wegkenmerken, rekening houdend met het aantal rijstroken en de aanwezigheid van weefvakken, invoeg- en uitvoegstroken. De daadwerkelijke kans is niet bepaald; de waarde van de indicator kan dus niet gebruikt worden om het effect in uren of geld uit te drukken. Ook hier geldt dat eveneens incidenten met relatief weinig gevolgen meegenomen zijn: het betreft alle ongevallen, en niet alleen die gevallen die resulteren in extreme reistijdverliezen.

De Robuustheidscanner

In samenwerking met de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) van Rijkswaterstaat heeft Grontmij een instrument ontwikkeld om de robuustheid van een netwerk in beeld te brengen. Deze zogeheten Robuustheidscanner 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 een ongeval veroorzaakt. De methodiek die in de Robuustheidscanner wordt toegepast, kan als volgt worden omschreven:

1. Selectie van een groot aantal kritieke wegvakken.

De Robuustheidscanner bepaalt hoe groot de kans op een ongeval (waaronder pechgevallen) is, en hoeveel verkeer er geblokkeerd raakt bij een ongeval waarbij één rijstrook wordt afgesloten en de overige rijstroken een gereduceerde capaciteit krijgen. Dit levert 'in potentie kwetsbare schakels'. Er worden een selectie gemaakt van 250 kritieke wegvakken. Dit aantal blijkt ruim voldoende: alle kwetsbare wegvakken zijn hiermee afgedekt. Grote kwetsbaarheid beperkt zich vooral tot de eerste tien wegvakken, daarna neemt de kwetsbaarheid snel af. Na de top honderd is de kwetsbaarheid per wegvak heel klein.

2. 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 ongeval te berekenen, bepaalt de Robuustheidscanner voor welke kwetsbare schakels het netwerk de gevolgen van het gestremd raken van die schakels het minst goed kan opvangen.

4. Kans op een incident

Bij het bepalen van het robuustheidseffect is zowel de kans op, als het gevolg van een incident van belang. In dit paper zullen we ons inhoudelijk focussen op het gevolg. Maar voordat we dat doen gaan we in het kort in op de kans op een incident. Uit onderzoek van Grontmij (2005) blijkt dat de ongevalkans op een wegvak groter is als:

- er een hoge benutting van de weg is (meestal gemeten in de intensiteit-capaciteitsverhouding (I/C-verhouding);
- er veel verkeer rijdt. Bij een zelfde I/C-verhouding is op een weg met vier rijstroken de kans groter dan als er twee rijstroken zijn.
- er een groter aandeel vrachtverkeer is, en/of.
- het een niet-snelweg is.

Daarnaast spelen allerlei niet direct aan een wegvak toe te kennen aspecten een rol, zoals lokale omstandigheden (zicht, wegbeeld) en eigenschappen van de bestuurders (leeftijd, ervaring).

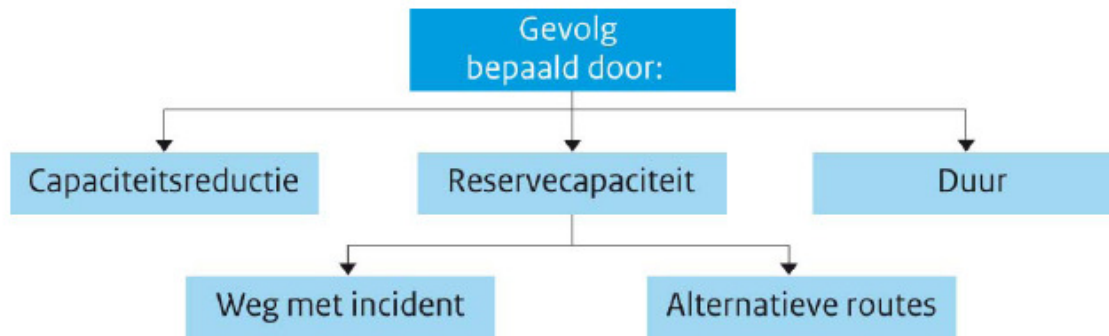
Uit een incidentanalyse (Grontmij 2009) volgt dat de kans op geblokkeerde rijstroken 0,13 per miljoen voertuigkilometers bedraagt in de spits en 0,10 buiten de spits. De kans op een ongeval is afhankelijk van specifieke wegkenmerken, zoals weefvakken en invoegstroken. De kans op een ongeval neemt toe als het aantal rijstroken toeneemt (en de daarbij behorende verkeersintensiteiten). Buiten de spits is de kans op een ongeval op een snelweg met drie rijstroken drie keer zo groot als een snelweg met één rijstrook; in de spits is dat zelfs bijna acht keer. In het geval van weefvakken en splitsingen is de

kans op een ongeval duidelijk groter. In de spits is de kans op een ongeval ongeveer twee keer zo groot als buiten de spits.

5. Gevolg van een incident

5.1 Aspecten die de omvang van het gevolg bepalen

De gevolgen van een incident hangen af van een aantal factoren, weergegeven in figuur 3.



Figuur 3. Aspecten die het gevolg van een incident bepalen

Mate van capaciteitsreductie door het ongeval

Afhankelijk van het type en de ernst van het incident zal de capaciteitsreductie meer of minder zijn. In bepaalde gevallen kan een weg geheel geblokkeerd zijn, in andere gevallen betreft het een rijstrook of neemt de capaciteit om andere redenen af (regen, ongeval op andere rijbaan).

Reservecapaciteit zowel op wegvak zelf als op de rest van het netwerk

Als de wegvaciteit die overblijft voldoende is om de vraag te accommoderen, zijn er geen gevolgen voor niet-betrokken weggebruikers. Als er geen reservecapaciteit is, zullen de gevolgen juist groot zijn. De reservecapaciteit hangt (naast de normale intensiteit versus de capaciteit) af van het tijdstip: in de spits is er in het algemeen minder reservecapaciteit dan buiten de spits. Er is meer reservecapaciteit buiten de spits, in het weekend en zeker 's nachts.

Het gaat bij reservecapaciteit nadrukkelijk niet alleen om de capaciteit van de weg waar het incident plaatsvindt, maar om de capaciteit van het totale netwerk. Als er alternatieve routes zijn (eventueel ook buiten het hoofdwegennet) met reservecapaciteit, dan kan (een deel van) het verkeer (eenvoudig) uitwijken. Ook hierbij is het tijdstip van de dag belangrijk: als in de spits een alternatieve route geen reservecapaciteit heeft, dan leidt een alternatieve route niet tot een grotere robuustheid in de spits. Als er een alternatieve route met restcapaciteit beschikbaar is, kan een deel van de weggebruikers uitwijken.

Duur van het ongeval

Hoe sneller een incident is opgelost, hoe minder de gevolgen zullen zijn. Dat komt niet alleen doordat minder weggebruikers er direct op het betreffende wegvak mee te maken hebben, maar ook doordat er bijvoorbeeld minder snel sprake is van terugslag van congestie op andere wegen.

TNO (2006) laat zien dat het overgrote deel van de ongevallen die leiden tot een blokkade van vlucht- of rijstrook, binnen 60 minuten wordt afgehandeld. In beide gevallen is de gemiddelde afhandelingstijd bij een ongeval met personenauto's 40 minuten. Bij een ongeval met vrachtauto's is dit twee keer zo hoog (bijna anderhalf uur), bij tankauto's met gevaarlijke stoffen is dit drie uur.

Grontmij (2005) geeft de volgende kenmerken die de duur van een ongeval bepalen:

- Verkeerssamenstelling: als bijvoorbeeld een vrachtauto pech heeft of bij een ongeval betrokken is, is er vaak gespecialiseerd bergingsmaterieel nodig, wat extra tijd kost.
- De aard van het ongeluk: een ongeval met alleen blikschade is korter van duur dan een ongeval met fatale gevolgen.
- Mogelijkheden voor hulpdiensten en bergers om een ongeval te bereiken.
- De aanwezigheid van een vluchtstrook om voertuigen te bergen of om het verkeer langs de wrakken te leiden.
- De aanwezigheid van een spitsstrook: bij een gebruikte spitsstrook is de vluchtstrook tijdelijk niet beschikbaar.
- De aanwezigheid van bruggen/tunnels: deze zijn gevoeliger doordat apparatuur kan storen.

Gevolgen van weersomstandigheden, werkzaamheden en evenementen

Bij weersomstandigheden, wegwerkzaamheden en evenementen is de duur van een ongeval uiteraard sterk afhankelijk van de specifieke omstandigheden, die per incident sterk kunnen verschillen. Van der Loop en Van Beek (2004) hebben het effect op de gemiddelde snelheid onderzocht van incidenten op een bepaald traject met een gemiddeld gebruik. Bij regen neemt de snelheid met 10 procent af, bij onderhoud met 6 procent en bij een ongeval met 7,5 procent. Bij combinaties van deze incidenten is de afname 12,5 procent; als alle drie de omstandigheden zich tegelijkertijd voordoen is de snelheidsreductie 34 procent.

5.2 Wegkenmerken en de relatie met het gevolg van een incident

Ook verschil in wegkenmerken leidt tot een verschil in de omvang van de gevolgen van incidenten. Onder wegkenmerken verstaan we hier het aantal rijstroken, in- of uitvoegstroken, weefvakken, de mate waarin de beschikbare capaciteit op een bepaald wegvak benut wordt (de intensiteit/capaciteit (I/C) verhouding). Naast wegkenmerken is ook de aanwezigheid van alternatieve routes bepalend voor het gevolg van een incident.

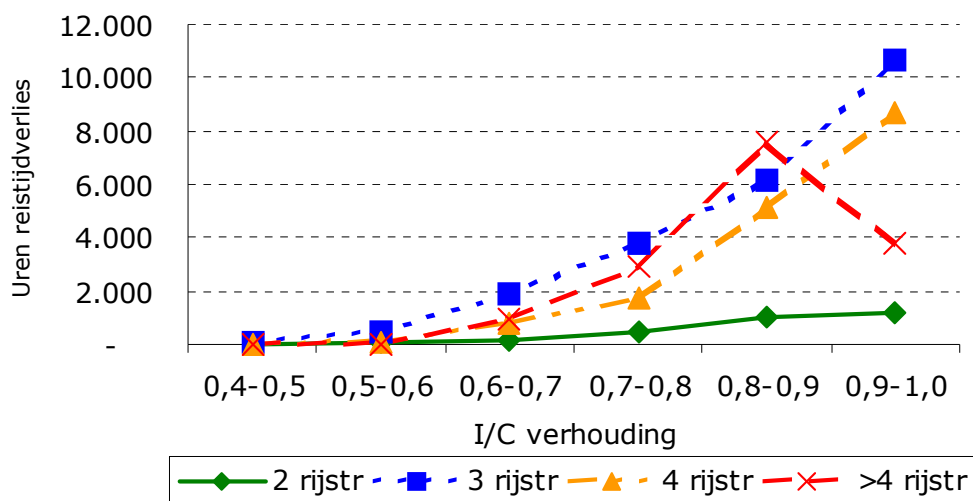
Met behulp van de analyses met de Robuustheidsscanner (Grontmij, 2009) is het gevolg van een ongeval bepaald. Hierbij is naar twee aspecten gekeken:

- De restcapaciteit. Er is gekeken naar de I/C-verhouding van het wegvak. Een lage I/C-verhouding geeft aan dat er sprake is van restcapaciteit. Bij een I/C-verhouding met waarden van 0,8 of hoger neemt de kans op congestie sterk toe. De verwachting is dat bij een hogere I/C-verhouding en dus lagere restcapaciteit het gevolg (de extra reistijd in het netwerk) van een incident groter is.
- Het aantal rijstroken dat het wegvak heeft. De hypothese is dat in het geval dat er meer rijstroken zijn, er grotere gevolgen zullen zijn doordat er meer verkeer gehinderd wordt.

Voor de dertien modelruns (vijf nulalternatieven en acht projectalternatieven) zijn 250 (kritieke) wegvakken doorgerekend op het gevolg van ongevallen die één rijstrook blokkeren. Voor deze grote hoeveelheid wegvakken is een aantal analyses uitgevoerd waarbij is onderzocht of er een verband is tussen enerzijds het gevolg van een ongeval (extra reistijd in het hele netwerk) en anderzijds de I/C-verhouding en het aantal rijstroken van dat wegvak. Ook andere wegkenmerken zijn onderzocht, maar die lieten geen duidelijke afhankelijkheid zien.

Daarnaast is het effect van een project (wegverbreding of nieuwe verbinding) geanalyseerd per wegvak en voor het hele netwerk. Er is onderzocht of een project leidt tot een vermindering van de gevolgen van ongevallen. Uit deze analyse is geen eenduidige conclusie te trekken. Alleen buiten de spits is bij nieuwe verbindingen een afname in het gevolgen van incidenten te zien, en daarmee een verbetering van de robuustheid.

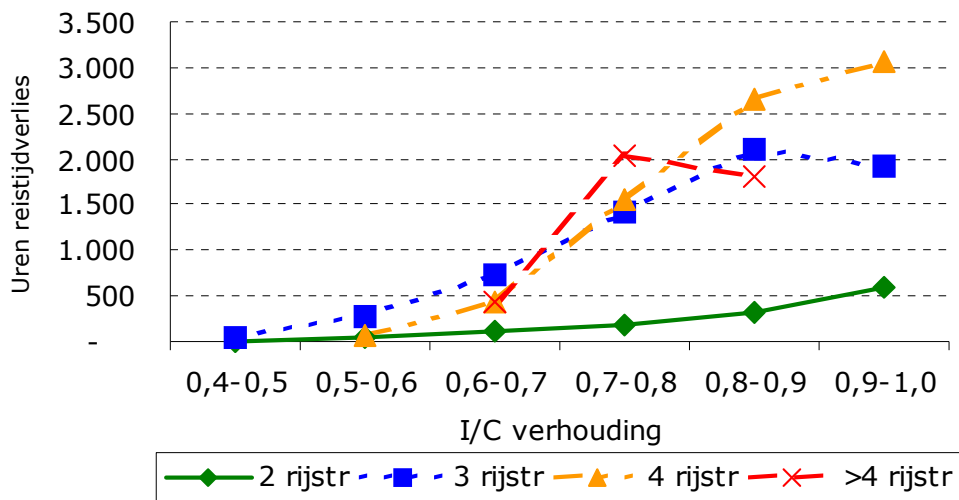
Op de resultaten zijn nog twee additionele berekeningen uitgevoerd. Uit de studie van TNO (2006) bleek dat 3,7 procent van de geregistreerde ongevallen (inclusief pechgevallen) resulteert in een blokkade. Aangezien de Robuustheidsscanner het gemiddelde van alle ongevallen heeft bepaald, is het gemiddelde gevolg opgehoogd door ervan uit te gaan dat alleen de ongevallen die tot een blokkade leiden, een vertraging tot gevolg hebben. Tevens is gecorrigeerd voor het aantal wegvakken: de Robuustheidsscanner levert het gevolg (extra reistijd in het netwerk) van een incident op de meest kwetsbare wegvakken (250 wegvakken), voor de overige wegvakken in het netwerk is aangenomen dat het gevolg van een ongeval verwaarloosbaar klein is.



Figuur 4. Gevolg ongeval (blokkade rijstrook) in de spits (in uren reistijdverlies) naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen

Figuur 4 geeft het gemiddelde uit de 13 runs met de Robuustheidsscanner (5 runs van referenties en 8 projectalternatieven) in de spits. Hieruit blijkt dat het gevolg van een ongeval toeneemt als de I/C-verhouding op een wegvak toeneemt. Vanaf een I/C-verhouding van 0,6 beginnen ongevallen een groot gevolg te hebben. Bij een weg van

drie rijstroken gaat het dan om 2.000 voertuigverliesuren, toenemend tot 11.000 bij een I/C-verhouding boven de 0,9.



Figuur 5. Gevolg ongeval (blokkade rijstrook) restdag (in uren reistijdverlies) naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen

Buiten de spits zijn de gevolgen van een ongeval veel kleiner, doordat er in de rest van het netwerk meer restcapaciteit is. Het reistijdverlies per ongeval varieert nu bij twee rijstroken tussen de 200 en 500 verliesuren. Bij meer rijstroken is het aantal voertuigverliesuren groter, het loopt dan op tot 2.000-3.000 bij 3-4 rijstroken en een I/C-verhouding boven de 0,9.

Ook hier zien we bij de hogere I/C-verhoudingen het gevolg van het aantal rijstroken. Het gaat hier vooral om het gevolg van extra verkeer. Op wegen met meer dan twee rijstroken is het gevolg van een ongeval fors groter dan bij wegen met twee rijstroken. Bij meer dan drie rijstroken blijft het gevolg grosso modo hetzelfde als bij wegen met drie rijstroken. Een verklaring hiervoor is onder andere dat steeds een blokkade van één rijstrook gesimuleerd is, waardoor de capaciteitsafname relatief kleiner wordt als het aantal rijstroken toeneemt.

Als we deze gemiddelden willen interpreteren en eventueel gebruiken, is van belang dat de spreiding rond deze gemiddelden ('de standaarddeviatie') groot is. Dit is logisch: het gevolg van een incident op een specifiek wegvak hangt in sterke mate af van de situatie in de rest van het netwerk. Toch is het verschil van de gemiddelden tussen de vijf geanalyseerde netwerken vrij beperkt. Verder is van belang dat in deze gemiddelden ook incidenten zijn opgenomen die niet of beperkt tot reistijdverlies leiden.

Conclusies

Robuustheid van weginfrastructuur kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. Voor de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) is het gebruikersperspectief van belang. We definiëren robuustheid als de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten (ongevallen, wegwerkzaamheden, weersomstandigheden en evenementen) uitblijven.

Wegverbredingen en nieuwe verbindingen leiden niet per definitie tot een betere robuustheid. Op het projecttracé of het ontlaste tracé verbetert de robuustheid, elders in het netwerk neemt deze mogelijk juist af doordat er meer verkeer gegenereerd wordt. In de acht onderzochte cases is alleen een eenduidig positief effect gevonden bij nieuwe verbindingen buiten de spits. Het is dan ook niet mogelijk om op voorhand aan te geven of het effect positief of negatief zal zijn, laat staan dat er een vaste opslag voor de effecten van robuustheid gehanteerd mag worden.

De gevolgen van een blokkade (als gevolg van een incident) nemen toe als de verkeersdrukke (intensiteit-capaciteitsverhouding) toeneemt. Ook bij een toename van het aantal rijstroken nemen de gevolgen (in beperkte mate) toe.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In deze studie is een aanzet gegeven om de robuustheid van netwerken in beeld te brengen. Een verdere verdieping van de kennis omtrent de relatie tussen het optreden van incidenten en de oorzaken daarvan biedt inzicht en wellicht aanknopingspunten om de kansen op incidenten te verminderen. De gevolgen van de incidenten in termen van extra reistijd is in de Robuustheidsscanner met een statisch model berekend en geeft een indicatie van het gevolg. Een betere schatting van de extra reistijd kan bereikt worden met een dynamische toedeling. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of hieruit ook nieuwe inzichten naar voren komen, waarbij het vooral interessant is om na te gaan of bij een vergelijking van de gevolgen van incidenten op verschillende wegvakken de rangorde tussen een statische en dynamische toedeling verschilt.

Daarnaast is een incidentanalyse uitgevoerd op een incidenten-database, waarbij de incidenten niet vergeleken konden worden met de intensiteiten. Een betere inschatting van incidentkansen op basis van intensiteiten is wenselijk. Momenteel voert Grontmij een studie uit waarbij een dergelijke analyse wordt uitgevoerd.

Literatuur

Berdica (2002). An Introduction to Road Vulnerability: What Has Been Done, Is Done and Should Be Done. *Transport Policy*, vol. 9, 117-127.

Grontmij (2005). *De Robuustheidsscanner*. De Bilt: Grontmij.

Grontmij (2009). *De waarde van robuustheid*. De Bilt: Grontmij.

Husdal (2004). *Reliability and Vulnerability versus Costs and Benefits*. Paper presented at the 2nd International Symposium on Transportation Network Reliability, Queenstown and Christchurch, New Zealand, 20-24 August 2004, 180-186.

KiM (2008). *Kwaliteitsnormen voor Investerings in Wegen*. KiM notitie 2008/403.01. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

KiM (2010). *De betekenis van robuustheid. Robuustheid in kosten-batenanalyses van weginfrastructuur*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Li, M. (2008). *Robustness Analysis for Road Network*. Delft: TU Delft.

Loop, H. van der & Beek, F. van (2004). Onbetrouwbaarheid van Reistijden op het Hoofdwegennet en de Oorzaken: Definitie en Resultaten van Empirisch Onderzoek. *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, vol. 40, no. 4, 7-12.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005). *Nota Mobiliteit*. Den Haag: VenW.

OECD & International Transport Forum (2009). *Improving Reliability on Surface Transport Networks*. Parijs: OECD.

Ruimtelijk Planbureau (2004). *Behalve de Dagelijkse Files. Over Onbetrouwbaarheid van Reistijd*. Den Haag: RPB.

Snelder, M. e.a. (2004). *De begrippen betrouwbaarheid en robuustheid nader verklaard*. Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk. Zeist.

TNO (2006). *Effecten van de landelijke invoering van incidentmanagementmaatregelen op de voertuigverliestijd in het netwerk*. Delft: TNO.

TNO (2008). *Visie robuust wegennet ANWB*. Delft: TNO.