



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

# De betekenis van robuustheid

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

## **De betekenis van robuustheid**

Robuustheid in kosten-batenanalyses van weginfrastructuur

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Jaap Anne Korteweg  
Sytze Rienstra

Juli 2010

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) maakt analyses van mobiliteit die doorwerken in het beleid. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Verkeer en Waterstaat (VenW) maakt het KiM strategische verkenningen en beleidsanalyses. De inhoud van de publicaties van het KiM behoeft niet het standpunt van de minister van VenW weer te geven.



## Inhoud

Samenvatting 7

**1 Inleiding 11**

- 1.1 Achtergrond 11
- 1.2 Onderzoeksvraag en -aanpak 11
- 1.3 Relatie met andere projecten 12
- 1.4 Leeswijzer 13

**2 Definitie en belang van robuustheid 15**

- 2.1 Robuustheid en betrouwbaarheid 15
- 2.2 Robuustheid = kans \* gevolg 16
- 2.3 De maatschappelijke kosten van files als gevolg van incidenten 18

**3 Effecten van projecten en maatregelen 23**

- 3.1 Effecten meten met behulp van verkeersmodellen 23
- 3.2 Studies naar robuustheidseffecten van projecten 24
- 3.3 Acht projecten nader geanalyseerd 26
- 3.4 Conclusie voor de MKBA: geen vaste 'opslag' 28

**4 De kans op een incident 29**

- 4.1 De kans op incidenten 29
- 4.2 De kans op een ongeval bij diverse wegkenmerken 31
- 4.3 Beleidsopties: verlagen van de kans op een incident 33

**5 Het gevolg van een incident 35**

- 5.1 Aspecten die de omvang van het 'gevolg' bepalen 35
- 5.2 De gevolgen van een ongeval bij diverse wegkenmerken 37
- 5.3 Gemiddeld gevolg van een ongeval 38
- 5.4 Beleidsopties 39

**6 Effectbepaling in de MKBA 43**

- 6.1 Beschrijving methode 43
- 6.2 Kanttekeningen bij het gebruik van deze kengetallen 46

**7 Conclusies en aanbevelingen 47**

Summary 49

Literatuur 53

**Bijlage A Toelichting bij analyses met de Robuustheidsscanner 57**



## Samenvatting

Deze studie geeft inzicht in het begrip robuustheid en in de vraag hoe robuustheid kan worden vergroot. Om robuustheid vervolgens mee te kunnen nemen in een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), is het noodzakelijk om te bepalen wat de effecten van maatregelen zijn op robuustheid en om deze effecten te waarderen. In deze studie zoomen we in op de effecten van maatregelen op robuustheid en op de vraag hoe deze effecten kunnen worden meegenomen in een MKBA. De waardering van robuustheidseffecten komt aan de orde in een andere studie.

### **Wat is robuustheid?**

Vanuit het gezichtspunt van de weggebruiker maakt robuustheid deel uit van betrouwbaarheid. Het gaat de gebruiker om de kans dat hij de bestemming binnen de verwachte reistijd bereikt. We definiëren robuustheid als de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten (ongevallen, extreem weer, werkzaamheden en evenementen) worden voorkomen.

### **Maatregelen om robuustheid te verbeteren**

Er zijn verschillende aanknopingspunten om de robuustheid te verbeteren. Het gaat daarbij om maatregelen die enerzijds aangrijpen op de kans op een incident en anderzijds op het gevolg van een incident. Een groot deel van deze maatregelen wordt al in de praktijk toegepast.

Met name bij ongevallen en wegwerkzaamheden kunnen maatregelen de kans op een incident beïnvloeden. Zo kan de kans op ongevallen worden verkleind door verkeersveiligheidsmaatregelen die het aantal ongevallen terugdringen. Bij wegwerkzaamheden kan ervoor gekozen worden om projecten onderhoudsarm uit te voeren. Daarnaast kunnen de gevolgen van incidenten verminderd worden. Dit kan bijvoorbeeld door de capaciteitsreductie te beperken (door bijvoorbeeld tijdelijk het gebruik van een vluchtstrook toe te staan), de restcapaciteit te vergroten (bijvoorbeeld door uitbreidingsprojecten) of de duur van een incident te verminderen (bijvoorbeeld door incidentmanagement). Met communicatiemaatregelen en betere voorspellingen kunnen onverwachte incidenten verwacht worden en worden gebruikers in staat gesteld hun gedrag aan te passen. Verder kunnen de uitwijkmogelijkheden vergroot worden door het aanbieden van alternatieven (ook andere modaliteiten), door mogelijkheden te bieden om tijdelijk elders te werken en door de informatievoorziening te verbeteren.

### **Potentiële maatschappelijke baten van robuustheid**

De robuustheidseffecten van maatregelen kunnen omvangrijk zijn. Zo wordt ongeveer 20 procent van de files veroorzaakt door 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. 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.

### **Het robuustheidseffect bepalen**

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.

We kunnen het robuustheidseffect van een maatregel bepalen door de kans op een incident te vermenigvuldigen met het gevolg, gemeten in reistijdverliezen voor gebruikers en het uitwijkgedrag. Hierbij is het effect in het gehele netwerk van belang, dus niet alleen het effect op de projectlocatie. Om het robuustheidseffect van een maatregel te bepalen, is er dus meer inzicht nodig in de kans op een incident en in het gevolg van een incident.

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 tijdens een incident de robuustheid lager wordt.

Er is dus niet standaard sprake van een positief of negatief effect op robuustheid. Er kan dan ook geen vaste 'opslag' of vast kengetal worden bepaald om toe te passen in een MKBA. De robuustheidseffecten van maatregelen verschillen sterk per project. De prioriteitsvolgorde van projecten kan dan ook wel worden beïnvloed door robuustheid mee te nemen in de beoordeling van die projecten.

### **Robuustheidseffecten incidenten geoperationaliseerd: effecten ongevallen**

In deze studie worden incidenten geoperationaliseerd als een blokkade van minimaal één rijstrook als gevolg van een ongeval. Bij wegverbredingen in de onderzochte cases is het robuustheidseffect zowel binnen als buiten de spits niet eenduidig. Bij nieuwe verbindingen wordt alleen buiten de spits in alle cases een positief effect gevonden.

#### *Een infrastructuurproject beïnvloedt de kans op een ongeval*

Een beperkt deel van de ongevallen (inclusief pechgevallen) op het hoofdwegennet, resulteert in een blokkade van één of meer rijstroken. De kans hierop bedraagt 0,13 per miljoen voertuigkilometers in de spits en 0,10 buiten de spits. In een spitsuur is de kans op een ongeval ongeveer twee keer zo groot als buiten de spits. Bij infrastructuurprojecten kunnen ook wegenkenmerken veranderen. Dit beïnvloedt de kans op ongevallen. Buiten de spits is de ongevallenkans op een snelweg met drie rijstroken drie keer groter dan bij één rijstrook, in de spits is dat zelfs bijna acht keer. Als er sprake is van in- en uitvoegstroken, dan neemt de kans op een ongeval niet of nauwelijks toe. In het geval van weefvakken en splitsingen is de kans op een ongeval duidelijk groter. Een logische en belangrijke verklaring van de toename van de kans op een ongeval, is dat ook het aantal voertuigkilometers toeneemt als het aantal rijstroken toeneemt. Hier is in deze kansen niet voor gecorrigeerd.



*Een infrastructuurproject beïnvloedt het gevolg van een ongeval*

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 uren; 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.

**Quickscan van de robuustheidseffecten versus specifieke analyses**

Een zogeheten quickscan kan een indicatie geven van het effect van een maatregel op de robuustheid (benaderd door de effecten van ongevallen) van infrastructuurprojecten. We kunnen zo'n quickscan uitvoeren met behulp van de input (wegenkenmerken) en output (I/C-verhoudingen, voertuigkilometers) van het gebruikte verkeersmodel en de kengetallen uit dit rapport. Als er significante effecten van een maatregel worden verwacht, en ook als er een relatief uitgebreide MKBA wordt uitgevoerd, bevelen wij aan om het effect op robuustheid te analyseren met specifieke modelanalyses.



## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

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. In de nota worden vervolgens normen gesteld aan wat 'op tijd' is. 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). De Raad van Verkeer en Waterstaat (2009) heeft diverse aanbevelingen gedaan om te komen tot een robuuster infrastructuurnetwerk.

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). De Raad van Verkeer en Waterstaat (2009) heeft hetzelfde geadviseerd. Mede op basis van deze adviezen heeft het ministerie van Verkeer en Waterstaat aan het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) gevraagd om te onderzoeken hoe robuustheid (beter) in MKBA's verankerd kan worden. Dat onderzoek wordt in dit rapport uitgewerkt.

### 1.2 Onderzoeksvraag en -aanpak

In dit rapport staan drie onderzoeksvragen centraal. Daarbij beperken we ons tot het wegennet. De onderzoeksvragen zijn:

- *Wat is robuustheid?*
- *Hoe kun je robuustheid vergroten?*
- *Hoe kan robuustheid beter worden verankerd in MKBA's van wegenprojecten?*

Bij deze vragen heeft robuustheid betrekking op extreme reistijden als gevolg van incidenten (zie verder hoofdstuk 2). Hierbij richten we ons op de effecten van wegverbredingen en nieuwe verbindingen op robuustheid, aangezien dit de projecten zijn waarbij het verplicht is om een MKBA uit te voeren. Om robuustheid mee te kunnen nemen in een MKBA, is het noodzakelijk om robuustheidseffecten van maatregelen te kunnen bepalen en deze te waarderen. In deze studie zoomen we in op de effecten van maatregelen op robuustheid en op de vraag hoe deze effecten kunnen worden meegenomen in een MKBA. De waardering van robuustheidseffecten komt aan de orde in een andere studie.

### *Aanpak*

De resultaten en bevindingen zijn deels gebaseerd op deskresearch en deels op analyses met de *Robuustheidsscanner*, die Grontmij op verzoek van het KIM heeft uitgevoerd (Grontmij, 2009). De resultaten zijn getoetst in een seminar waaraan ook experts van de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) van Rijkswaterstaat en het Centraal Planbureau (CPB) hebben deelgenomen. Deze hebben ook het concepteindrapport van commentaar voorzien. De verantwoordelijkheid voor deze rapportage ligt uiteraard geheel bij het KIM.

### **1.3 Relatie met andere projecten**

Er wordt zowel inhoudelijk als beleidsmatig volop gediscussieerd en onderzoek gedaan naar begrippen als betrouwbaarheid en robuustheid en naar de relatie daartussen. Daarbij gaat het enerzijds om de interpretatie en definities van deze begrippen en anderzijds om de wijze waarop ze in de praktijk gemeten en gewaardeerd kunnen worden.

Betrouwbaarheid en robuustheid kunnen worden gewaard in een MKBA. Daarbij moet zowel het effect van een maatregel op de robuustheid ('Q') worden bepaald als de waardering van dit effect ('P'). Deze studie is één van de initiatieven om hier meer grip op te krijgen. We richten ons hier op de effecten ('de Q') van infrastructuurprojecten op de robuustheid, uitgedrukt in reistijdverliezen. Andere lopende projecten zijn:

1. De maatschappelijke waardering (*Value of Time*) van kortere gemiddelde reistijd en van hogere reistijdbetrouwbaarheid (*Value of Reliability*), uitgedrukt in meer/minder spreiding rond de gemiddelde reistijd. Deze maatschappelijke waarderingen worden in opdracht van het KIM onderzocht via een grootschalige enquête onder reizigers, vervoerders en verladers. De studie zal ook meer inzicht geven in de waardering van het verminderen van extreme reistijden (uitgedrukt in minder spreiding rondom de gemiddelde reistijd).
2. De Vrije Universiteit Amsterdam (VU) en het KIM werken via een promotietraject aan een onderzoek naar de spreiding van reistijden ('betrouwbaarheid'). Hierbij staat het effect ('Q') centraal uitgedrukt in spreiding rondom de gemiddelde reistijd. Deze effecten kunnen gewaardeerd worden met de Value of Reliability (de uitkomst van het project genoemd onder 1).
3. Het KIM is bezig met een beschrijving en verklaring van oorzaken (waaronder betrouwbaarheid en robuustheid) van congestie op het hoofdwegennet in het afgelopen decennium. Deze studie zal naar verwachting meer inzicht geven in het aantal incidenten dat daadwerkelijk leidt tot extreme reistijden.
4. Rijkswaterstaat heeft TNO gevraagd een begrippenkader rond robuustheid en betrouwbaarheid uit te werken.
5. De Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat werkt aan een 'roadmap' van strategische verkeers- en vervoersmodellen. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan betrouwbaarheid en robuustheid.
6. Op verzoek van het ministerie van Verkeer en Waterstaat doet TNO onderzoek naar de robuustheidseffecten van een aantal projecten die primair tot doel hebben de robuustheid te vergroten.
7. Binnen het KIM loopt een afzonderlijke studie naar de wijze waarop robuustheid kan worden opgenomen in MKBA's van spoorprojecten.

Met dit rapport bieden we meer inzicht in robuustheidseffecten van maatregelen (uitgedrukt in reistijdverlies). In samenhang met de uitkomsten van andere studies

kunnen we vervolgens meer inzicht krijgen in de definities en de uitwerking in de praktijk.

#### **1.4 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 definieert vanuit de theorie wat robuustheid is en relateert robuustheid aan het bredere begrip betrouwbaarheid. De theoretische uitwerking kan met behulp van de beschikbare gegevens en modellen niet goed geoperationaliseerd worden. Daarom kiezen we ervoor om te kijken naar alle incidenten, ook die nauwelijks tot negatieve effecten leiden. Van al deze incidenten worden de maatschappelijke kosten bepaald.

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van berekende effecten van diverse maatregelen en projecten. In het kader van dit project zijn acht projecten doorgerekend, waarvan de resultaten worden gepresenteerd. Omdat diverse effecten tegen elkaar in werken, kan in de MKBA geen vast kengetal of vaste 'opslag' bepaald worden. Wel worden kengetallen uitgewerkt in de hoofdstukken 4 (kans op een incident) en 5 (gevolg van een incident).

Hoofdstuk 6 beschrijft vervolgens hoe deze kengetallen in een zogeheten quickscan gebruikt kunnen worden om voor een MKBA een inschatting te maken van het effect van maatregelen op robuustheid. Dit hoofdstuk bevat tevens een rekenvoorbeeld. Tot slot staan in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.



## 2 Definitie en belang van robuustheid

- Robuustheid is onderdeel van betrouwbaarheid voor de reiziger. Robuustheid definiëren we als de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten kan worden voorkomen.
- Het effect van een betere robuustheid wordt bepaald door zowel de kans op een incident als het gevolg hiervan op de reistijd.
- Bij onverwachte incidenten zullen de gevolgen anders zijn dan bij verwachte incidenten. In dit laatste geval kan de reiziger anticiperen.
- De maatschappelijke kosten van files als gevolg van incidenten, bedroegen in 2008 circa 400 miljoen euro. In een hoog groeiscenario loopt dit bedrag op tot 1.450 miljoen euro in 2040, in een laag scenario zal het fors dalen. Alhoewel robuustheid alleen betrekking heeft op een gedeelte van de gevolgen van incidenten, is er toch sprake van omvangrijke potentiële robuustheidsbaten.

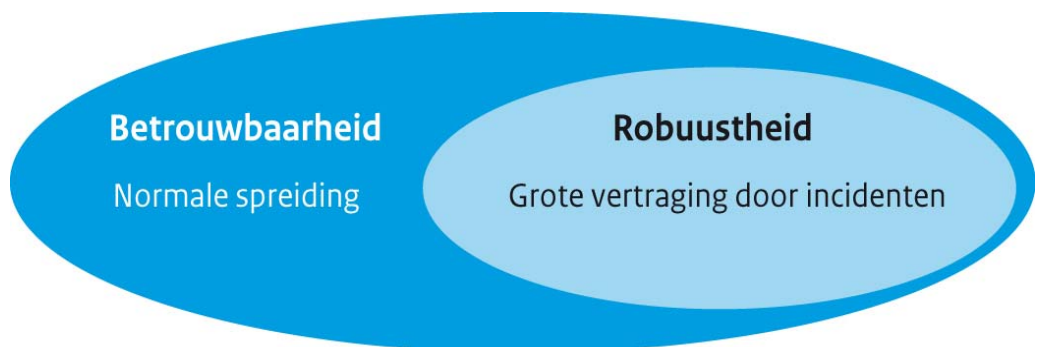
### 2.1 Robuustheid en betrouwbaarheid

*Min of meer verwachte spreiding rond reistijd versus 'uitschieters'*

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 2.1). Onvoorspelbare en uitzonderlijke gebeurtenissen noemen we in dit rapport incidenten; hieronder verstaan we ongevallen, wegwerkzaamheden, weersomstandigheden en evenementen (RPB, 2004).

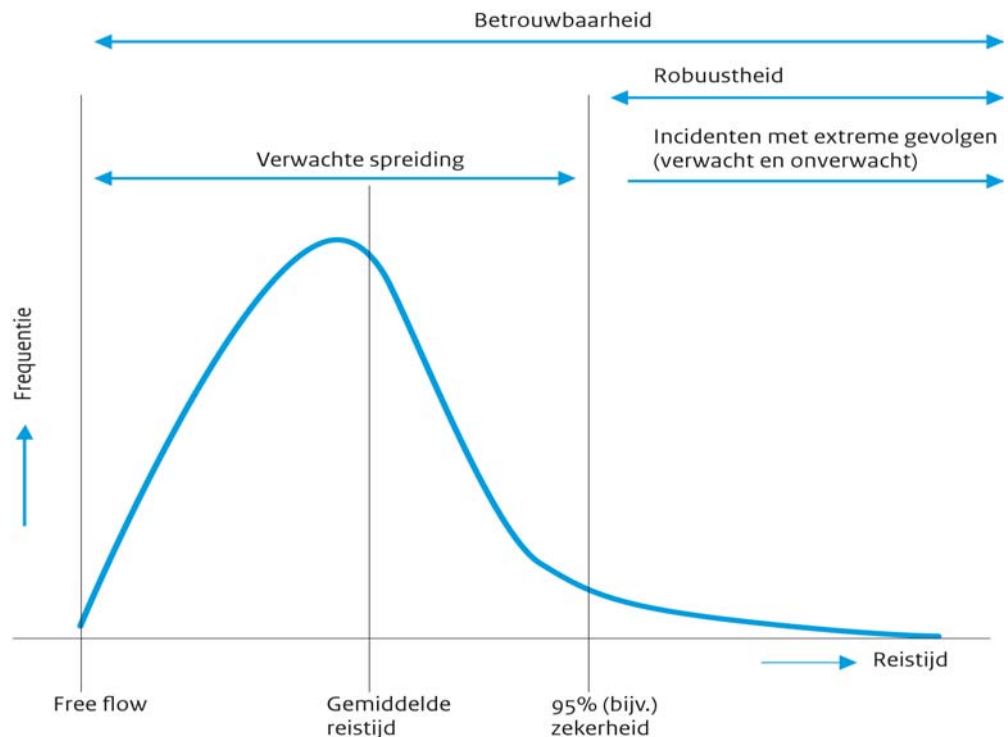
**Figuur 2.1**

Robuustheid als  
deelverzameling van  
betrouwbaarheid



Het KIM definieert betrouwbaarheid als: *de kwaliteit van het systeem voor de gebruiker* (KIM, 2008c). 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 2.2**  
Spreiding rond de  
verwachte reistijd



In figuur 2.2 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.

## 2.2 Robuustheid = kans \* gevolg

*Robuustheid veelal gedefinieerd vanuit aanbod*

In de gebruikte definities hebben robuustheid en kwetsbaarheid<sup>1</sup> 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 (2008b) 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.

*Indicator vanuit de weggebruiker van belang in MKBA's*

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

<sup>1</sup> Kwetsbaarheid is het tegengestelde van robuustheid.



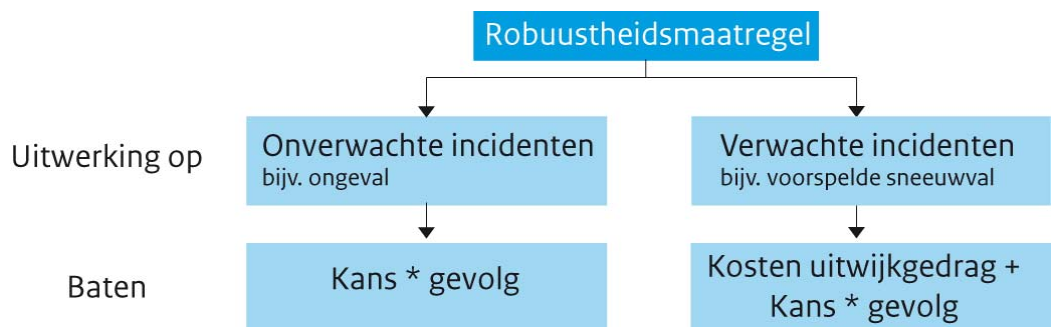
aspecten in beeld die de robuustheid beïnvloeden, zoals de frequentie waarmee incidenten plaatsvinden ('de kans'), informatievoorziening en gedragsbeïnvloeding. Vanuit de gebruiker is de belangrijkste indicator dan ook de extra reistijd als gevolg van incidenten over een bepaalde periode gemeten. In figuur 2.2 gaat het hierbij om het rechtergedeelte van de spreiding rond de reistijd. *'Robuustheid is de mate waarin extreme reistijden als gevolg van incidenten worden voorkomen.'*

*Incidenten kunnen verwacht en onverwacht zijn*

De mate waarin gebruikers anticiperen op incidenten ofwel hun gedrag aanpassen, is ook afhankelijk van de vraag of de gebruiker weet dat het incident zich voordoet als hij besluit zijn reis te beginnen. Dit kan per reiziger anders zijn. Er is dus een verschil tussen onverwachte en verwachte incidenten:

- **Onverwachte incidenten:** het gaat hierbij bijvoorbeeld om ongevallen of (ad hoc) wegwerkzaamheden die de weggebruiker niet weet bij aanvang van zijn reis, of onverwacht slechte weersomstandigheden.
- **Verwachte incidenten:** het gaat hierbij bijvoorbeeld om geplande wegwerkzaamheden, (onregelmatige en grootschalige) evenementen, verwachte (en gecommuniceerde) extreme weersomstandigheden, maar ook ongevallen waarover de gebruiker informatie had bij het begin van zijn reis.

**Figuur 2.3**  
Effecten  
robuustheidsmaatregel



*Onverwachte incidenten*

Bij onverwachte incidenten zijn de vooraf in te schatten kosten afhankelijk van de gevolgen, veelal gemeten in reistijd. Deze kosten worden bepaald door:

- De **kans**: het aantal keren dat er een incident plaatsvindt (een maatregel of project kan de kans op een incident verlagen).
- Het **gevolg**: de uitwerking die een incident heeft (een maatregel of project kan de gevolgen beperken).

*Verwachte incidenten: ook uitwijkgedrag*

Bij verwachte incidenten geldt hetzelfde. In dit geval zal een deel van de weggebruikers zijn gedrag echter vooraf aanpassen op basis van de verwachte effecten. Dit kan betekenen dat de reis niet doorgaat, uitgesteld wordt of via een andere modaliteit plaatsvindt. Hierbij is ook van belang wanneer deze informatie de gebruiker bereikt. Als dit een paar minuten voor de geplande aanvangstijd van de reis is, zijn er minder mogelijkheden dan als de informatie ruim van tevoren bekend is.

Bij zowel verwachte als onverwachte incidenten kan de reiziger ook uitwijken naar een andere route. Dit komt tot uiting in een langere reistijd van A naar B. Met

uitwijken zijn ook kosten gemoeid: zou het wegennet immers robuuster zijn, dan zou er ook minder uitwijkgedrag plaatsvinden. Doordat gebruikers in dit geval hun gedrag kunnen aanpassen, zijn de kosten lager dan bij een onverwacht incident. De gedragsaanpassing leidt per saldo immers tot minder kosten voor de gebruiker; anders zou die zijn gedrag niet hebben aangepast.

Kraaijeveld (2008) heeft op basis van enkele cases onderzocht in welke mate automobilisten een alternatieve route kiezen bij een ongeval in de spits. In het geval van een langdurige blokkade en de beschikbaarheid van alternatieven, koos 7 procent voor een andere route. Bij kortere blokkades en weinig alternatieven is het aandeel 0 tot 3 procent. Een reden hiervoor is dat op alternatieve routes ook nauwelijks capaciteit beschikbaar is (het gedrag buiten de spits is niet geanalyseerd).

Telcijfers van Rijkswaterstaat op het hoofdwegennet met lussen (41 procent van het totaal) geven aan dat er op de sneeuwdag van 17 december 2009 17 procent minder autokilometers gerealiseerd zijn dan de twee 'normale' donderdagen daarvoor. Bij een dergelijke langdurige situatie waarbij er ook meer publiciteit is, is het uitwijkgedrag derhalve fors hoger.

### 2.3 De maatschappelijke kosten van files als gevolg van incidenten

#### *Gedeeltelijke dubbeltelling met overige betrouwbaarheidseffecten*

Incidenten die slechts een beperkte vertraging tot gevolg hebben leiden niet tot extreme reistijdverliezen en worden meegenomen in de baten van betrouwbaarheid via het effect op de spreiding van reistijden.

Cijfers en studies hebben veelal betrekking op alle incidenten zoals ze geregistreerd worden, ongeacht de omvang van het gevolg van deze incidenten. In dit onderzoek werken we alleen met de beschikbare gegevens voor het totaal aan incidenten. Dat betekent dat er een zekere dubbeltelling kan zijn met betrouwbaarheidseffecten. De effecten van robuustheid kunnen dus niet zomaar bij elkaar worden opgeteld (zie paragraaf 6.2). Andere lopende studies kunnen hier meer inzicht in geven (zie paragraaf 1.3).

#### *Maatschappelijke kosten in veel studies ongeveer gelijk*

Tabel 2.1 geeft een samenvatting van enkele bronnen over de hoogte van de kosten van vertragingen als gevolg van incidenten. Uiteraard zijn er ook andere maatschappelijke kosten, maar daar gaan we hier niet op in. Visser en Molenkamp (2004) en RAND Europe (2006) hebben gebruik gemaakt van analyses met het Landelijk Modelsysteem (LMS), de TNO-studies en Knibbe en Wismans (2003) zijn gebaseerd op modelsimulaties, Van Reisen (2006) en SWOV (2006) baseren zich op tellingen van Rijkswaterstaat.

Tabel 2.1

De gewaardeerde reistijdverliezen als gevolg van incidenten in diverse bronnen

Studie	Type kosten	Kosten (reistijdverlies)	% totale reistijdverliezen op HWN
Visser & Molenkamp (2004)	Ongevallen, calamiteiten, werkzaamheden, regen	2000: € 200 mln. 2020: € 600-700 mln.	2000: 20% 2020: 24-28%
Knibbe & Wismans (2003)	Incidenten in Utrecht	-	2003: 22% (alleen Utrecht)
RAND Europe (2006)*	Ongevallen	2000: € 427 mln. 2020: € 854 mln.	2000: 21% 2020: 25%
Van Reisen (2006)	Ongevallen, werkzaamheden, overig (HWN)	2000: € 168 mln. 2020: € 360 mln.	2004: 22% (HWN)
Van Reisen (2006)	Ongevallen, werkzaamheden, overig (HWN + OWN)	2000: € 323 mln. 2005: € 419 mln. 2020: € 665 mln.	Nb
SWOV (2006)	Ongevallen	2003: € 125 mln.	1997: 14%
TNO (2006)	Ongevallen	?	2003: 19% 2020: 17,6%
TNO (2008b)	Ongevallen, regen (HWN + OWN)	2008: € 1.500 mln. 2030: € 4.600 mln.	Nb

HWN = Hoofdwegennet; OWN = Onderliggend wegennet

\* Het dagtotaal (30% van 5 en 10 miljoen euro) is vermenigvuldigd met 285 om het jaartotaal te bepalen.

*Ongeveer 20 procent van de reistijdverliezen door files als gevolg van incidenten*  
Uit dit overzicht komt naar voren dat rond het jaar 2000 ongeveer 20 procent van de reistijdverliezen (gemeten in voertuigverliesuren) is veroorzaakt door files als gevolg van incidenten. Daarbij moet worden aangetekend dat werkzaamheden en weersomstandigheden soms wel en soms niet zijn meegenomen. Dit blijkt zowel uit studies die uitgaan van 'tellingen' als modelmatige studies. Knibbe en Wismans (2003) vinden ook vergelijkbare percentages in het buitenland. Voor de ontwikkeling op de lange termijn gaat een aantal studies uit van een stijgend aandeel van de kosten van files als gevolg van incidenten in het totaal. TNO (2006) gaat daarentegen juist uit van een beperkte daling.

TNO (2008b) komt tot een fors hoger bedrag aan kosten van files als gevolg van incidenten dan de andere bronnen. Dit komt mede doordat TNO een geheel andere methode heeft gebruikt. Er is een beperkt aantal blokkades van rijstroken (op de A2, A4 en A12) gesimuleerd; de gevolgen hiervan zijn vermenigvuldigd met het totaal aantal ongevallen met een lange afhandeldingsduur om tot een totaal voor Nederland te komen. De kosten zijn niet gebaseerd op voertuigverliesuren, maar op het totale reistijdverlies (inclusief omrijden en dergelijke). Ook effecten op het onderliggende wegennet zijn meegenomen. Het KiM schat de kosten van incidenten lager in, zoals blijkt uit de volgende analyse.

*Twee derde van de files als gevolg van incidenten ontstaan door ongevallen*

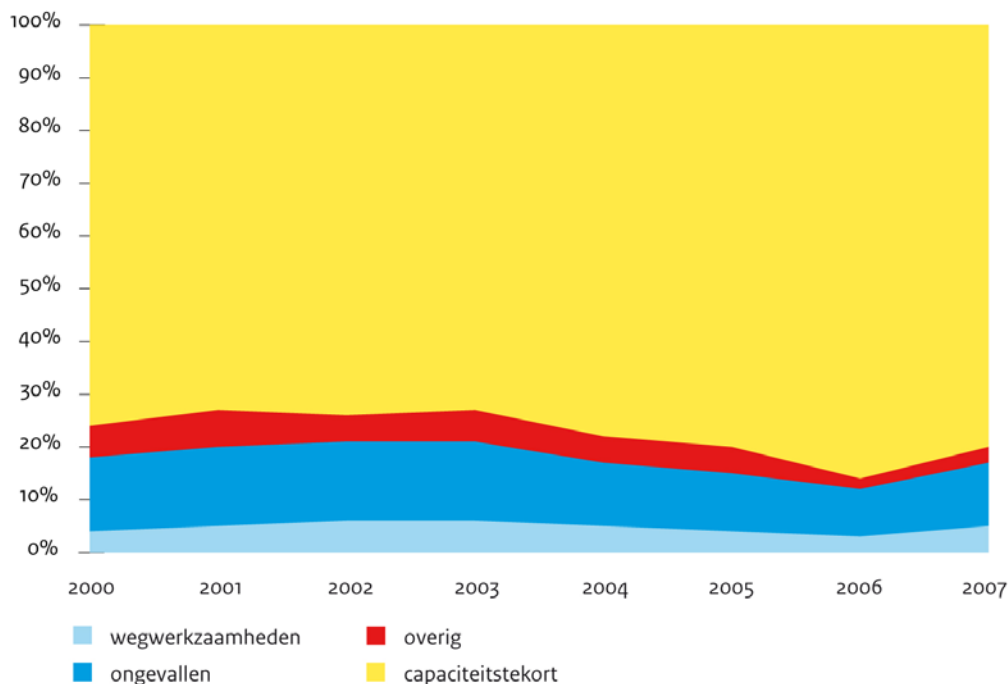
De fileoorzaken op het hoofdwegennet worden dagelijks geregistreerd door Rijkswaterstaat. Hierbij geldt dat deze cijfers gebaseerd zijn op de opgave van individuele wegbeheerders, waarvan bekend is dat dit niet altijd eenduidig gebeurt. Uit deze gegevens blijkt dat in 2007 12 procent van de filezwaarte veroorzaakt wordt door ongevallen, 3 procent door wegwerkzaamheden en 5 procent door overige oorzaken (waaronder weersomstandigheden). In totaal maken de kosten

van files als gevolg van incidenten dus ongeveer 20 procent van het totaal uit. Dit aandeel is sinds 2000 afgenomen (zie figuur 2.4).

**Figuur 2.4**

Fileoorzaken (% van totale filezwaarte)

Bron: Rijkswaterstaat (2008)



#### *Maatschappelijke kosten files als gevolg van incidenten 400 miljoen euro (2008)*

De beschikbare data hebben een beperkte kwaliteit en de uitkomsten van verschillende studies zijn erg divers. Daardoor is het niet mogelijk te bepalen hoe hoog de maatschappelijke kosten van files als gevolg van incidenten zijn. Een tentatieve berekening van een orde van grootte is wel te geven. We beperken ons hierbij tot de directe effecten. We hanteren hiervoor de volgende uitgangspunten<sup>2</sup>:

1. De *Mobiliteitsbalans 2008* (KiM, 2008b) geeft voor 2007 aan dat de totale maatschappelijke kosten van files – afgezien van eventuele indirecte effecten – 2,7 miljard euro bedragen. Dit bedrag is opgebouwd uit een reistijdverlies van 1,1 miljard euro en een inschatting van uitwijkkosten (de verplaatsing niet maken of een andere vervoerwijze kiezen) van hetzelfde bedrag. De overige kosten hebben betrekking op betrouwbaarheid, de bijbehorende reistijdskosten en een klein bedrag aan extra brandstofkosten.
2. Op basis van bovenstaande analyse gaan we ervan uit dat in 2008 de files als gevolg van incidenten 20 procent van de totale filezwaarte veroorzaken.
3. De totale filekosten tot 2040 zijn berekend door de toe- en afname van de congestie per WLO-scenario (Welvaart en Leefomgeving; CPB e.a., 2006) te bepalen en die te waarderen met de stijgende tijdwaardering (prijspeil 2008).
4. Voor de drie laagste WLO-scenario's voor economische groei gaan we ervan uit dat het aandeel van files als gevolg van incidenten constant blijft op 20 procent

<sup>2</sup> Lopende studies kunnen de komende tijd aanleiding geven om de aannames aan te passen. Voorbeelden daarvan zijn de beschrijving en verklaring van fileoorzaken en de trends daarin in het afgelopen decennium, en de studie naar de waardering van reistijdverliezen, waaronder extreme reistijden (nu is de waardering van 'normale' reistijdverliezen gebruikt).

van de totale filekosten. Zoals uit figuur 2.4 blijkt, lijkt de trend eerder dalend. Uit de WLO-analyses blijkt bovendien dat het aantal slachtoffers in deze scenario's daalt, dus daarmee mogelijk ook het aantal ongevallen. Anderzijds blijkt uit modelsimulaties zoals weergegeven in tabel 2.1, dat dit percentage vrij stabiel is.

5. In het *Global Economy* (GE) scenario van WLO neemt de congestie wel sterk toe en stabiliseert het aantal ongevallen met letselschade. De gevolgen van incidenten zouden dan sterker kunnen toenemen dan de congestie. Sommige van de modelstudies zoals weergegeven in tabel 2.1 (gebaseerd op een hoog groeiscenario) laten ook een stijgend aandeel zien in de toekomst. Daarom hanteren we voor GE een laag (20 procent) en hoog (30 procent) scenario.
6. Voor de kosten van uitwijken (omrijden, niet rijden, ander tijdstip, andere modaliteit) is het aannemelijk dat de uitwijkkosten lager zijn dan de kosten voor de totale files. De *Mobiliteitsbalans* gaat ervan uit dat de uitwijkkosten even hoog zijn als de gemeten reistijdverliezen. In dit geval zal een groot deel van de files onverwacht zijn, waardoor uitwijken in mindere mate mogelijk is. Conform Van Reisen (2006) gaan we er daarom vanuit dat deze kosten 50 procent zijn van de reistijdverliezen.
7. Daarnaast passen we een opslag van 25 procent toe als kosten voor betrouwbaarheid. Files als gevolg van incidenten leiden tot een grotere spreiding rond de gemiddelde reistijd, wat negatief wordt gewaardeerd.

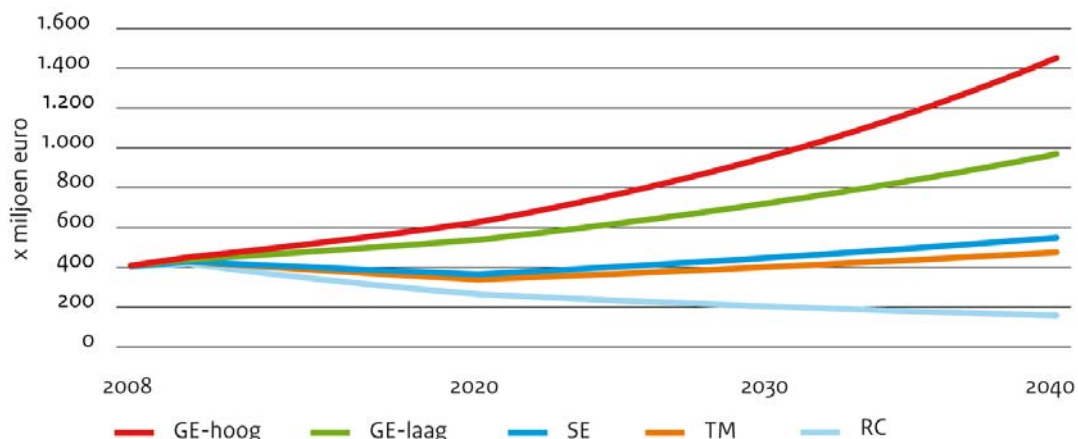
De maatschappelijke kosten van vertragingen door files als gevolg van incidenten op het hoofdwegennet, bedroegen op basis van deze aannames in 2008 ongeveer 400 miljoen euro (20 procent van 1,1 miljard euro kosten reistijdverlies, plus een opslag van 50 procent voor uitwijkkosten en 25 procent voor betrouwbaarheid). Dit bedrag vinden we ook vanuit een *bottom-up* analyse met behulp van de resultaten met de Robuustheidsscanner (zie paragraaf 5.3). Daarnaast kan er sprake zijn van indirecte effecten. In de *Mobiliteitsbalans* wordt hier een opslag van 0-30 procent voor gebruikt; in dat geval lopen de kosten op tot maximaal 520 miljoen euro.

#### *Toekomstige ontwikkeling van kosten is sterk scenarioafhankelijk*

De toekomstige ontwikkeling van maatschappelijke kosten hangt sterk af van het gekozen scenario, doordat ook het congestieniveau hierin zeer sterk verschilt. Uit de tentatieve berekeningen blijkt dat in het hoge GE-scenario de kosten toenemen tot 625 miljoen euro in 2020 en 1.450 miljoen euro in 2040. In het *Regional Communities* (RC) scenario nemen de kosten af tot 160 miljoen euro in 2040.

**Figuur 2.5**

Tentatieve inschatting van de reistijdverliezen en uitwijkkosten als gevolg van incidenten (prijspeil 2008)





### 3 Effecten van projecten en maatregelen

- Verkeersmodellen houden niet goed rekening met veranderingen in de robuustheid. Aanvullende analyses zijn daarom noodzakelijk.
- Specifieke maatregelen die de robuustheid vergroten, kunnen veel effect hebben en leiden tot een afname van reistijdverliezen door incidenten. Voor een goede afweging van dergelijke maatregelen moeten de (extra) kosten wel goed worden afgewogen tegen de (extra) baten.
- Bij wegverbredingen en nieuwe verbindingen werken twee effecten tegen elkaar in. Enerzijds ontstaat er meer capaciteit op het projecttracé of ontlaste wegvakken, anderzijds komt er op de rest van het netwerk meer verkeer en dus minder restcapaciteit. Welk effect overheerst is, afhankelijk van de specifieke situatie.
- Alleen buiten de spits bij een nieuwe verbinding is een eenduidig positief effect op de robuustheid gevonden.
- Het is dan ook niet mogelijk om in een kosten-batenanalyse (KBA) een vaste opslag te hanteren voor robuustheid bovenop bijvoorbeeld de reistijdbaten.
- Een nadere analyse van specifieke kenmerken van het project, kan wel handvatten geven voor het effect van een specifiek project op robuustheid. Die analyse komt terug in de volgende hoofdstukken.
- Bij het operationaliseren van robuustheidseffecten lopen we tegen twee problemen aan die een rol spelen bij de interpretatie van resultaten:
- Alle beschikbare modellen om robuustheid door te rekenen, kijken naar de effecten op ongevallen en niet naar weersomstandigheden, evenementen en werkzaamheden. Ook in de rest van dit rapport zullen we ons hier grotendeels op concentreren. We spreken dan expliciet over ongevallen in plaats van incidenten.
- Het is binnen de beschikbare data niet mogelijk om onderscheid te maken naar de mate waarin reistijdverlies optreedt door een ongeval. Er ontstaat daarom een zekere dubbeltelling met overige betrouwbaarheidseffecten (zie de paragrafen 2.3 en 6.2).

#### 3.1 Effecten meten met behulp van verkeersmodellen

##### *Verkeersmodellen simuleren congestie in basisjaar inclusief incidenten*

Verkeersmodellen als het NRM (Nieuw 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 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.

Het model neemt de totale congestie in het basisjaar als uitgangspunt. Daardoor zit hierin impliciet ook de congestie opgenomen als het gevolg van incidenten. In de gemeten gemiddelde gedragsreacties zit ook impliciet de kans op incidenten in het basisjaar versleuteld.

*In runs staan kansen en gevolgen 'vast'; een aanvullende analyse is nodig*

Als de kans op een incident op een bepaald wegvak ongeveer gelijk blijft, wordt dat dus in beginsel meegenomen in de modellen. Een wijziging van de kans of de omvang van reistijdverliezen is echter niet meegenomen. Omdat infrastructuurprojecten zowel de kans op een incident als de gevolgen van een incident beïnvloeden, is het effect op robuustheid niet in het model 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.

In de volgende paragraaf beschrijven we een aantal studies waarin specifiek is gekeken naar robuustheidseffecten van projecten.

### 3.2 Studies naar robuustheidseffecten van projecten

#### *Buffer op de A13 verbetert de robuustheid*

In onderzoek van TNO (2008b) zijn de resultaten gepresenteerd van het effect van zogeheten buffers op de A13. Hierdoor wordt tijdelijk ruimte c.q. reservecapaciteit gecreëerd waar auto's kunnen staan in het geval van files. Hierdoor vindt er geen terugslag van files plaats voorbij knooppunt Ypenburg, waardoor de doorstroming richting de A12 intact blijft. Tabel 3.1 laat zien tot welke resultaten dat leidt.

**Tabel 3.1**

Effect buffer A13 (regio Haaglanden)

Bron: TNO (2008b)

	Reistijd	Afgelegde afstand	Gemiddelde snelheid
Buffer A13	-12,1%	-7,6%	+5,2%

Doordat er geen terugslag meer plaatsvindt, verbeteren zowel de reistijd, de afgelegde afstand door minder omrijden en de gemiddelde snelheid op het onderzochte netwerk. De reistijdwinst ontstaat zowel in reguliere situaties als bij extra congestie die ontstaat door incidenten. Beide situaties zijn in de studie geanalyseerd.

#### *Opwaarderen onderliggend wegennet vergroot robuustheid*

TNO (2008b) berekent ook wat het effect is van het opwaarderen van het regionale wegennet in de Zuidvleugel van de Randstad. Hierdoor ontstaan alternatieven voor het geval er incidenten zijn op het hoofdwegennet. De algemene en robuustheidseffecten zijn vergeleken met een referentie waarin tot 2020 geplande wegen aangelegd zijn. De kosten van het opwaarderen zijn volgens TNO overigens wel hoger, het gaat dus niet om pakketten die wat betreft kosten gelijkwaardig zijn.

**Tabel 3.2**

Effect opwaarderen regionaal wegennet Zuidvleugel vs. bestaand beleidspakket

Bron: TNO (2008b)

	Reistijd	Afgelegde afstand	Gemiddelde snelheid	Effect (reistijd-verlies) ongeval
Verskil met bestaand pakket	-2,3%	-0,8%	+1,6%	-29%

Door het alternatieve pakket verbetert de reistijd, wordt de afstand verkort en neemt de gemiddelde snelheid toe. Een belangrijke reden hiervoor is de toegenomen robuustheid; het reistijdverlies bij ongevallen neemt met bijna 30 procent af.

#### *Robuustheid extra effect in de KBA van de planstudie SAA*

In de KBA van de eerste fase van de Planstudie Schiphol-Amsterdam-Almere (Decisio, 2005) is een inschatting gemaakt van robuustheidsbaten van een



alternatieve verbinding. Die inschatting is gemaakt op basis van de Filethermometer van Rijkswaterstaat en de reservecapaciteit (binnen en buiten de spits) op de eventueel nieuw aan te leggen tunnel onder het Naardermeer. Tabel 3.3 geeft de resultaten van deze berekeningen weer.

Tabel 3.3

Resultaten berekeningen  
KBA Planstudie SAA (netto  
contante waarde, mln. €)  
Bron: Decisio (2005)

	Verbreding A6-A1-A10	Nieuwe verbinding A6-A9
Reistijdwinst	1.246	1.846
Betrouwbaarheid	260	421
Robuustheid	-	53

Door de nieuwe verbinding ontstaat een alternatief voor het geval er zich incidenten voordoen op de bestaande verbinding. Doordat de nieuwe route in de spits echter al vrijwel volledig benut is, is aangenomen dat alleen robuustheidsbaten buiten de spits optreden. Deze baten bedragen ongeveer 3 procent van de reistijdwinsten.

*Verbreding Randstadsnelwegen naar 2x4 rijstroken: grote effecten*

TNO en Ecorys (2009) hebben de effecten bepaald van het verbreden van snelwegen in de belangrijkste corridors van de Randstad naar 2x4 rijstroken. Daarbij is gekeken naar de effecten op betrouwbaarheid – inclusief robuustheid – door met het zogeheten SMARA-model de spreiding rond de reistijden als gevolg van mogelijke vertragingsoorzaken te bepalen.

Tabel 3.4

Reistijd- en  
betrouwbaarheidseffecten  
verbreden Randstadwegen  
naar 2x4 rijstroken (netto  
contante waarde mln. €)  
Bron: TNO & Ecorys (2009)

	RC-scenario	GE-scenario
Reistijdwinst	172	487
Betrouwbaarheid (inclusief robuustheid)	142 (+/- 20)	465 (+/- 150)

De betrouwbaarheidsbaten waarbij ook ongevallen zijn gesimuleerd, zijn in deze studie gemiddeld 80-95 procent van de reistijdbaten. Dit wil niet zeggen dat een dergelijke opslag voor betrouwbaarheid voor alle projecten verwacht mag worden. Het geanalyseerde project heeft specifieke kenmerken die mogelijk leiden tot relatief grote effecten op de betrouwbaarheid en relatief kleine effecten op de gerealiseerde reistijdwinst. De capaciteit wordt niet zozeer vergroot op locaties met knelpunten, maar op locaties waar in de referentie nog geen 2x4 rijstroken zijn. Dit zijn waarschijnlijk juist locaties waar de knelpunten en dus de reistijdbaten relatief gering zijn. De extra restcapaciteit levert daarentegen wel hoge betrouwbaarheidsbaten op. Bij de berekening van het opslagpercentage is dan de noemer laag en de teller hoog: het opslagpercentage is dan hoog.

In een gevoeligheidsanalyse wordt het effect op robuustheid afzonderlijk bepaald. De kwetsbaarheid van het gehele netwerk neemt af met 3,8 procent. Dit effect wordt vermenigvuldigd met de totale kosten van kwetsbaarheid in 2030 zoals gepresenteerd in tabel 2.1. Dit levert een batenpost op van 140 miljoen euro. Zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk schat het KiM de totale kosten van de gevolgen van incidenten lager in. Als deze schatting toegepast wordt, zouden de baten in het GE-scenario ruim 30-45 miljoen euro bedragen.

*Ontvlechten en verbeteren N-wegen; het effect van informatie belangrijk*

In onderzoek van TNO en Ecorys (2009) worden betrouwbaarheidseffecten van een aantal voorbeeldprojecten uitgewerkt. Deze hebben betrekking op het zogeheten ontvlechten van snelwegen: in dit geval wordt bijvoorbeeld geen 5-strooks snelweg aangelegd, maar naast elkaar een 3-strooks weg voor doorgaand verkeer en een 2-

strooks weg voor parallelverkeer. Als één van de wegen geblokkeerd wordt, is er dan een alternatieve route beschikbaar.

Er zijn enkele voorbeeldprojecten uitgewerkt voor twee extreme situaties. In het geval van volledige informatie wijken automobilisten uit naar eventueel beschikbare alternatieven, als ze geen informatie hebben doen ze dit niet. Alleen door de restcapaciteit op de eigen route verbetert in dat geval de betrouwbaarheid.

Tabel 3.5

Betrouwbaarheidseffecten  
(incl. robuustheid)  
ontflechten en opwaarderen  
N-wegen (GE-scenario  
(2030); mln. € per jr)  
Bron: TNO & Ecorys (2009)

	Volledige informatie	Geen informatie	Kwetsbaarheid* wegvak
Ontflechting snelwegen tussen Den Haag-A'dam-Utrecht	79	16	Nb
Ontflechten A4 Burgerveen - De Hoek	-3	-28	-52%
Opwaarderen N205	29	115	-48%
Oostelijke Ring Eindhoven	83	184	-2% tot -11%
Parallelbrug bij Deventer	1	-60	-94%

\* Verandering spreiding rond reistijd maal *value of reliability* op het onderzochte wegvak

De analyses laten zien dat er door verschuivingen in routes niet 'automatisch' per saldo een positief effect is van de maatregelen op betrouwbaarheid (inclusief robuustheid): in twee van de gevallen is het effect negatief, in twee gevallen positief. In alle gevallen is er wel een positief effect op de robuustheid op het specifieke wegvak. Elders in het netwerk wordt ook meer verkeer gegenereerd, waardoor daar de kwetsbaarheid toeneemt.

### 3.3

#### Acht projecten nader geanalyseerd

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\*gevolg van een blokkade van één rijstrook en een reductie van 50 procent van de capaciteit op de overige rijstroken<sup>3</sup>. Hierbij is het effect in het studiegebied gemeten. In sommige gevallen kan de kans op bijvoorbeeld een ongeval afnemen door een verbeterde lay-out van de infrastructuur. Hier is geen rekening mee gehouden: de kans op een ongeval is afhankelijk van het wegkenmerk constant verondersteld. In bijlage 1 is de werking van de Robuustheidsscanner en de uitgevoerde analyse nader toegelicht.

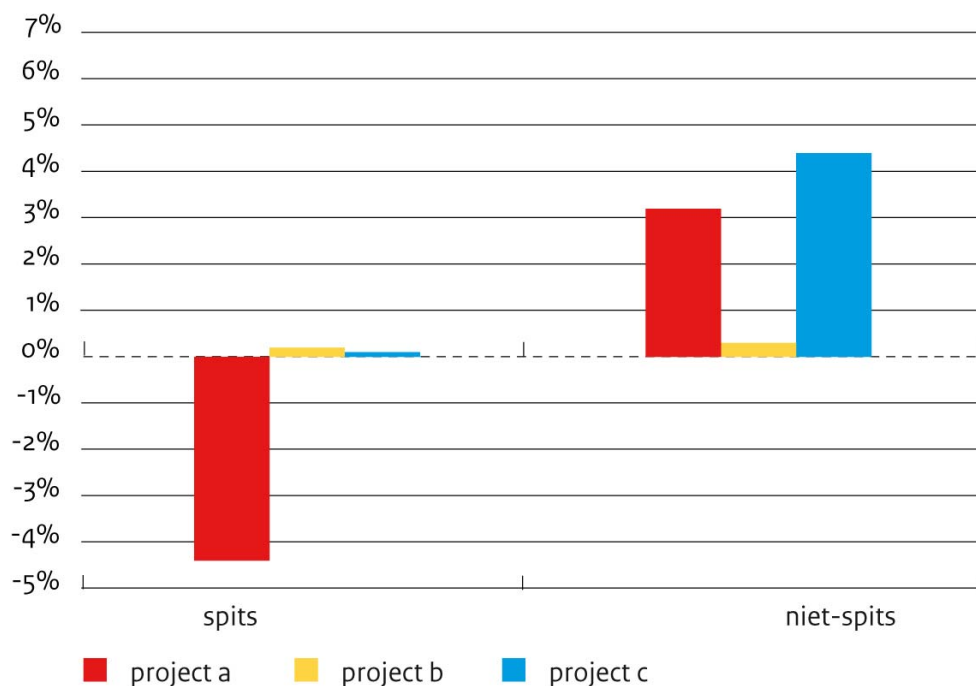
<sup>3</sup> Er wordt gewerkt met relatieve kansen gebaseerd op wegkenmerken, rekening houdend met het aantal rijstroken en de aanwezigheid van weefvakken, invoeg- en uitvoegstroken (zie hoofdstuk 4). De daadwerkelijke kans is niet bepaald; de waarde van de indicator kan dus niet gebruikt worden om het 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.

*Verbreiding van wegen: geen eenduidig effect*

De figuren 3.1 en 3.2 laten de effecten op de robuustheid zien van wegverbredingen en de nieuwe verbindingen binnen en buiten de spits.

**Figuur 3.1**

Effect wegverbreding op robuustheid (uitgedrukt in verandering van reistijdeffect bij blokkade rijstrook)



Bij de effecten van wegverbreding in de spits is er in één geval sprake van een forse verslechtering, in twee gevallen is er sprake van een kleine verbetering. Buiten de spits (de spitsuren zijn 's ochtends tussen 7 en 9 uur en 's middags tussen 16 en 18 uur) is er in één geval wel sprake van een forse verbetering. De verklaring van dit diffuse beeld is dat meerdere effecten elkaar tegenwerken:

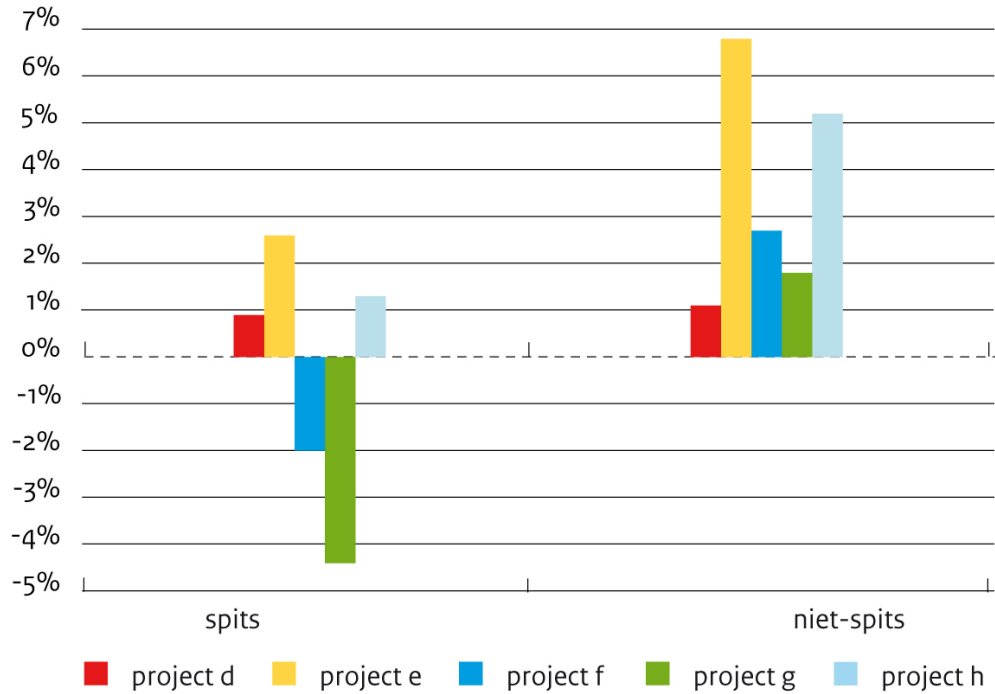
1. De verbreding leidt tot minder congestie en dus meer restcapaciteit op het tracé zelf. Hierdoor neemt de robuustheid toe.
2. Er wordt meer verkeer gegenereerd. Hierdoor neemt het verkeer ook in de rest van het netwerk toe, waardoor de restcapaciteit en dus de robuustheid daar afnemen.

Deze effecten treden zowel binnen als buiten de spits op, zodat er niet een eenduidig effect op de robuustheid waarneembaar is. Wel blijkt het effect buiten de spits gemiddeld positiever te zijn dan in de spits. Er is derhalve geen eenduidig effect van een verbreding zichtbaar.

*Nieuwe verbinding: alleen buiten de spits een eenduidig effect*

Ook bij een nieuwe verbinding is er in de spits geen sprake van een eenduidig effect op de robuustheid: in twee gevallen neemt de robuustheid af, in drie gevallen neemt de robuustheid toe. Ook hier speelt enerzijds de toename van de robuustheid door de nieuwe verbinding, en anderzijds een lagere robuustheid door de toename van het verkeer. Zeker als de capaciteit van de nieuwe verbinding in de spits (vrijwel) volledig gebruikt wordt, is de bijdrage aan de robuustheid in de spits beperkt.

**Figuur 3.2**  
Effect nieuwe verbinding op robuustheid (uitgedrukt in verandering van reistijdeffect bij blokkade van een rijstrook)



Buiten de spits is er wel in alle gevallen een positief effect op de robuustheid. Het is aannemelijk dat er in dit geval op het nieuwe traject restcapaciteit is, die gebruikt kan worden als er een blokkade plaatsvindt in de rest van het netwerk. Dit positieve effect is in alle onderzochte cases groter dan het negatieve effect van de generatie van verkeer.

### 3.4 Conclusie voor de MKBA: geen vaste 'opslag'

Zowel uit het literatuuroverzicht als uit de aanvullende analyses blijkt dat er geen eenduidig effect van een project op de robuustheid is. In een MKBA kan dan ook niet worden gewerkt met een vast kengetal of opslag. Er is een aparte analyse nodig om zicht te krijgen op de 'richting' van het effect en het belang daarvan. In de volgende hoofdstukken bieden we daarvoor handvatten. We gaan daarbij in op de twee aspecten die het effect bepalen: de kans op incidenten (hoofdstuk 4) en het gevolg van incidenten (hoofdstuk 5).

## 4 De kans op een incident

- Uit hoofdstuk 3 blijkt dat er een aparte analyse nodig is om zicht te krijgen op de 'richting' van het robuustheidseffect en het belang daarvan. In dit en het volgende hoofdstuk bieden we daarvoor handvatten. In dit hoofdstuk gaan we in op het aspect 'kans op een incident', in hoofdstuk 5 gaan we in op het aspect 'gevolg van een incident'.
- Voor dit onderzoek is een incident geoperationaliseerd als een ongeval (waaronder pechgevallen) waarbij er een blokkade ontstaat van één rijstrook.
- De kans op geblokkeerde rijstroken bedraagt 0,13 per miljoen voertuigkilometers in de spits en 0,10 buiten de spits.
- Dit leidt naar schatting tot 6.900 keer per jaar een blokkade van één of meer rijstroken op het hoofdwegennet, waarvan ongeveer 2.400 keer in de vier spitsuren.
- In een spitsuur is de kans op een ongeval circa twee keer zo groot als in een uur buiten de spits.
- De kans op een ongeval is afhankelijk van specifieke wegkenmerken, zoals weefvakken en invoegstroken.
- Bij de analyse van effecten van infrastructuurprojecten kunnen bovengenoemde kansen benut worden om het effect op de kans op een incident in te schatten.
- Beleidsopties om de kans te verkleinen, zijn in eerste instantie alle maatregelen die de verkeersveiligheid vergroten. Daarnaast kan het beter informeren van weggebruikers tot afname van de kans dat wegwerkzaamheden, evenementen en bepaalde weersomstandigheden tot files leiden, verkleind wordt.

### 4.1 De kans op incidenten

*Ongevallen: kans hangt af van wegkenmerken*

Bij de kans op incidenten gaat het niet alleen om letselongevallen, maar ook om ongevallen die alleen materiële schade tot gevolg hebben. Uit onderzoek van Grontmij (2005) blijkt dat de ongevalkans toeneemt als een wegvak de volgende kenmerken heeft:

- De benutting van de weg is hoog (meestal gemeten in de intensiteit-capaciteitsverhouding (I/C-verhouding).
- Er is meer verkeer. Bij een zelfde I/C-verhouding is op een weg met vier rijstroken de kans groter dan als er twee rijstroken zijn.
- Het aandeel van het vrachtverkeer is groter.
- Het betreft een niet-snelweg.

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

Om de kans te berekenen op een ongeval waarbij sprake is van lichamelijk letsel, gaat de SWOV (2008) uit van cijfers uit 1998. Op basis van deze berekening is die kans voor de snelweg 0,06 per miljoen voertuigkilometer, voor de autoweg 0,18 en gemiddeld voor het totale weggennet 0,35. Deze kans wordt tot 2010 constant verondersteld, ervan uitgaande dat de veiligheidswinsten van infrastructurele aanpassingen opwegen tegen toenemende intensiteiten. Als we deze ongevalskans

nu berekenen voor 2007 (op dezelfde manier als de SWOV deed voor 1998), dan komen we op 0,04 voor autosnelwegen. Het aantal ongevallen is gedaald, terwijl het aantal gerealiseerde kilometers licht is gestegen.

Rijkswaterstaat (2008) heeft een andere indicator berekend. Op een autosnelweg vinden per jaar gemiddeld 27,5 ernstige slachtofferongevallen per 100 kilometer plaats, op autowegen is dit aantal 15. Hierbij geldt uiteraard dat de gemiddelde intensiteit op een autosnelweg ook hoger is.

Bij veel ongevallen is er alleen sprake van materiële schade, terwijl er wel sprake kan zijn van een tijdelijke blokkade. Tabel 4.1 geeft een inschatting van het totaal aantal ongevallen en pechgevallen op basis van TNO-onderzoek (2006).

**Tabel 4.1**

Kans op ongeval HWN (per mln. vtkm)

Bron: TNO (2006)

<b>Kans per mln. vtkm</b>	<b>pechgevallen</b>	<b>Ongevallen – blokkade vluchtstrook</b>	<b>Ongevallen – blokkade rijstrook (1 of meer)</b>
Spits	2,87	0,51	0,13
Dal	2,25	0,40	0,10

Verreweg het grootste aandeel van geregistreerde incidenten betreft pechgevallen, 10 procent van het totaal incidenten heeft betrekking op een ongeval. Van het totaal aantal ongevallen leidt vervolgens weer ongeveer 20 procent (3,7 procent van het totaal) tot een blokkade van één of meer rijstroken. Binnen de spits is deze kans iets groter dan buiten de spits.

Deze orde van grootte wordt ook gevonden in andere bronnen, waaruit we concluderen dat bovenstaande kansen een reëel beeld geven.

- Knibbe en Wismans (2003) geven aan dat ongeveer 4 procent van het totaal aantal ongevallen in Utrecht leidt tot een groot aantal voertuigverliesuren (meer dan 1000). Dit komt grofweg overeen met het aandeel van de ongevallen dat leidt tot een blokkade van een rijstrook.
- RAND Europe (2006) komt voor een selectie van snelwegen op een kans op een ongeval van 0,47 per miljoen voertuigkilometers (spits en niet spits). Zij geven hierbij aan dat dit getal een goede berekening is voor het totale hoofdwegennet. Dit aantal komt grofweg overeen met de bovengenoemde aantallen (inclusief blokkade vluchtstrook).

Bij de analyse van het effect van een infrastructuurproject op de kans op ongevallen, kunnen bovengenoemde kengetallen toegepast worden op de toe- of afname van het aantal voertuigkilometers. Als we uitgaan van 63,3 miljard voertuigkilometers en een spitsaandeel van 29 procent<sup>4</sup>, dan schatten we dat er in 2008 bijna 6.900 keer een rijstrook geblokkeerd was als gevolg van een ongeval. Deze blokkades leiden overigens niet altijd tot extreme reistijdverliezen.

<sup>4</sup> Dit aandeel is gebaseerd op de tellingen van Rijkswaterstaat in 2008. Alleen de wegen waar 'lussen' aanwezig zijn, zijn meegenomen.

Tabel 4.2

Inschatting aantal keren dat rijstroken geblokkeerd zijn (HWN, 2008)

<b>Blokkade één of meer rijstroken</b>	
Spits	2.364
Niet-spits	4.515
<b>Totaal</b>	<b>6.879</b>

#### *Wegwerkzaamheden: 4-6 procent van de files*

Regulier onderhoud wordt van tevoren gepland en gecommuniceerd. De weggebruiker kan dan zijn gedrag aanpassen. In de meeste gevallen wordt de capaciteit van de weg hierdoor tijdelijk verminderd, in sommige gevallen wordt een weg tijdelijk geheel afgesloten. Als er sprake is van een spoedreparatie (zoals bij een gat in de weg), dan is dat een onverwacht incident. De gebruiker kan dan niet van tevoren anticiperen in zijn gedrag.

Uit figuur 2.4 blijkt dat in de afgelopen jaren zo'n 4 tot 6 procent van de files veroorzaakt worden door wegwerkzaamheden.

#### *Weer: weinig kennis over kans op extreme omstandigheden*

De effecten van het weer op het dagelijkse gebruik van de wegen, wordt vaak breed uitgemeten in de media. Dit laatste betreft dan voornamelijk onverwachte weersituaties (niet aangekondigde regen of mist, of weersituaties die erger zijn dan aangekondigd). Daarnaast vinden incidenteel extreme weersomstandigheden plaats zoals extreme sneeuwval, ijzel of zware storm. Het weer wordt verwacht, zodat extreme weersomstandigheden veelal aangekondigd worden. In uitzonderlijke situaties geeft Rijkswaterstaat een verkeersalarm af, en ook de ANWB waarschuwt weggebruikers bij verwacht slecht weer. Het betreft dan dus verwachte incidenten waar de weggebruiker zijn gedrag op kan aanpassen.

Bij onverwachte omstandigheden (zoals onverwachte ijzel) is er sprake van een onverwacht incident. De gebruiker kan dan niet van tevoren anticiperen in zijn gedrag.

Volgens verschillende bronnen regent het ongeveer 7,25 procent van de tijd in Nederland (Van der Loop & Van Beek, 2004; Visser & Molenkamp, 2004). Er is weinig literatuur beschikbaar over de frequentie van extreme weersomstandigheden. Wel leiden extreme weersomstandigheden tot lange files: in 2007 bijvoorbeeld werden de vijf dagen met de meeste congestie gekenmerkt door slecht weer (regen, storm) (Rijkswaterstaat, 2008).

#### *Evenementen/overig: informatie en planning belangrijk*

Evenementen worden vrijwel altijd gepland. Wegbeheerders kunnen hier dan op anticiperen, en als dat relevant is de verwachte effecten communiceren aan overige weggebruikers. Niet alle weggebruikers zullen dan echter op de hoogte zijn, zodat het voor weggebruikers toch onverwacht kan zijn.

## 4.2

### **De kans op een ongeval bij diverse wegkenmerken**

Een wegproject zal leiden tot veranderde kenmerken van de weg (rijstroken, weefvakken, in- en uitvoegstroken). De kans op een incident verandert dan niet alleen door een verandering van het aantal voertuigkilometers, maar ook door deze kenmerken. Zo berekent Kraaijeveld (2008) dat de ongevalkans op kopstaartbotsingen bij uitvoegstroken zes keer groter en bij weefvakken en

wegversmallingen vijf keer groter is dan bij normale wegvakken (met meerdere stroken). Dit geldt zeker bij hoge intensiteiten.

*Bij meer rijstroken een grotere kans op een ongeval*

Om tot meer algemene uitspraken te komen, heeft Grontmij (2009) de meldingen (pech- en ongevallen) uit de database van het Verkeerscentrum Nederland van Rijkswaterstaat (VCNL) gekoppeld aan wegkenmerken. Dit betreft alleen de delen van het hoofdwegennet waarop incidentenmanagement is ingevoerd. Tabel 4.3 geeft de relatieve kans op een ongeval, waarbij de kans per uur op een normale weg met één rijstrook per richting op '1' gezet is. Het gaat hier om een relatief klein deel van het hoofdwegennetwerk, de gevonden 'kansen' moeten dus met voorzichtigheid worden gebruikt.

**Tabel 4.3**

Relatieve kans per kilometer wegvak per uur op een pech- en ongeval naar wegkenmerken (kans bij 1 rijstrook buiten de spits = 1).  
Bron: bewerking gegevens Grontmij (2009)

Aantal rijstroken per richting	Normaal	Invoegstrook	Uitvoegstrook	Weef/splitsing
<b>Niet-spits</b>				
1	1,0	0,5	1,8	3,0
2	1,5	1,4	1,5	2,8
3	3,3	-	3,9	4,0
4	2,4	-	-	-
<b>Spits</b>				
1	1,8	1,5	5,1	6,9
2	3,6	3,5	3,6	6,5
3	7,7	-	8,5	10,1
4	4,8	-	-	-

Uit tabel 4.3 blijkt dat de kans op een ongeval toeneemt als het aantal rijstroken toeneemt (en de daarbij behorende verkeersintensiteiten). Buiten de spits is de kans op een snelweg met drie rijstroken drie keer groter, in de spits is dat zelfs bijna acht keer groter dan een snelweg met één rijstrook buiten de spits. Als er sprake is van in- en uitvoegstroken, dan neemt de kans op een ongeval niet of nauwelijks toe. 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.

*Effect van meer voertuigkilometers verklaart deels grotere kans*

Een logische en belangrijke verklaring van de toegenomen kans op een ongeval, is dat ook het aantal voertuigkilometers toeneemt als het aantal rijstroken toeneemt. Hier is in bovengenoemde kansen niet voor gecorrigeerd. Wel kan uit bovenstaande cijfers afgeleid worden dat bijvoorbeeld een wegverbreding van twee naar drie rijstroken leidt tot een meer dan evenredige stijging van een kans op een incident. De kans verdubbelt, terwijl het aantal voertuigkilometers maximaal met 50 procent toeneemt, maar meestal minder.

*Infrastructuurproject leidt tot verandering in kans op ongeval*

Als een infrastructuurproject leidt tot meer rijstroken en/of tot aanpassing van weefvakken, invoeg- en uitvoegstroken, dan kunnen bovengenoemde kansen in globale zin worden toegepast om een inschatting te maken van veranderingen in de kans op ongevallen.



### 4.3 **Beleidsopties: verlagen van de kans op een incident**

De kans op een incident kan verminderd worden via diverse beleidsknoppen. Over de effectiviteit van de verschillende maatregelen is zonder verdere studie niets te zeggen, dat moet projectspecifiek worden bekeken. De meeste maatregelen worden overigens al in meer of mindere mate uitgevoerd of onderzocht.

#### *Ongevallen: verkeersveiligheid vergroten*

Alle maatregelen die leiden tot een verhoogde verkeersveiligheid, leiden tot minder incidenten en daarmee tot een betere robuustheid. Dit kan betrekking hebben op een grote variëteit aan maatregelen die al uitgevoerd worden, variërend van het stimuleren van gedragsverandering tot een andere lay-out van infrastructuur (zoals minder weefvakken, het aantal rijstroken beperken door een parallelstructuur en regelgeving).

#### *Wegwerkzaamheden: communicatie belangrijk*

Bij de realisatie of groot onderhoud van een wegverbinding kan gekozen worden voor een duurzame uitvoering waardoor in de toekomst minder werkzaamheden mogelijk zijn. Hierbij dienen de extra kosten afgewogen te worden tegen de maatschappelijke baten (minder reistijdverlies) in een *life cycle*-benadering.

Verder is het van belang om werkzaamheden zo goed mogelijk te communiceren, duidelijke alternatieven aan te geven en zo te plannen dat de weggebruiker er het minste last van heeft. De effecten voor gebruikers worden zo beperkt. Een goed voorbeeld uit het verleden is de aanpak bij het groot onderhoud van de A10-West, waarbij er door communicatie en mobiliteitsmanagement 10 procent minder verkeer was tijdens de wegwerkzaamheden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002). Ook hierbij is het van belang om de kosten en baten van communicatiemaatregelen te analyseren. Bij de werkzaamheden aan de A16 (Moerdijkbrug) is dit bijvoorbeeld gedaan voor tijdelijke tekstkarren die de reistijden op alternatieve routes aangeven en een systeem van 'spitsmijden' (automobilisten kregen een vergoeding om niet in de spits te rijden). De baten van deze maatregelen wogen in ruime mate op tegen de kosten (Rijkswaterstaat, 2009).

Bij onverwachte werkzaamheden als spoedreparaties geldt in beginsel hetzelfde. Alleen de middelen die ter beschikking staan, zijn anders en kunnen minder gepland worden. Daarnaast kunnen onverwachte werkzaamheden mogelijk worden voorkomen door de kwaliteit van de wegen te verhogen (bijvoorbeeld door vaker regulier onderhoud te plegen). Ook hierbij is het van belang om de kosten en baten van maatregelen te analyseren.

#### *Weer: vormgeving infrastructuur kan effect verminderen*

Uiteraard zijn extreme weersomstandigheden zelf niet te beïnvloeden. Door vormgeving van infrastructuur en de keuze voor materialen (zoals zoab bij regen) kan wel de kans worden verkleind dat een extreme weersomstandigheid leidt tot files als gevolg van incidenten. Ook hierbij geldt dat de kosten van de maatregelen goed moeten worden afgewogen tegen de baten.

#### *Evenementen: plannen en communiceren verkleint kans op files*

Om de kans op incidenten te verminderen, is een goede planning van de verkeersafwikkeling van belang. Daarnaast kan een 'Plan B' bij onverwacht grote toeloop, files als gevolg van incidenten voorkomen of verminderen.



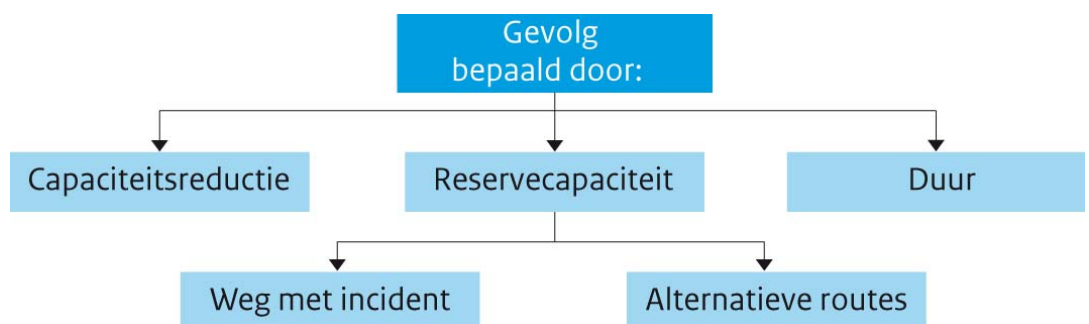
## 5 Het gevolg van een incident

- Nadat we in het vorige hoofdstuk zijn ingegaan op de kans, gaan we hier in op het gevolg van een incident. In combinatie met een inschatting van de kans kunnen we zo een inschatting maken van het totale effect van een project op de robuustheid.
- De omvang van de gevolgen van een incident wordt bepaald door de mate van capaciteitsreductie, de restcapaciteit op de weg zelf en op alternatieve routes, en door de duur van het incident.
- De gevolgen van een ongeval nemen gemiddeld toe als de verkeersdrukke (I/C-verhouding) stijgt en als er meer rijstroken zijn. Het reistijdverlies per incident loopt bij een hoge I/C-verhouding uiteen van ongeveer 500 verliesuren bij twee rijstroken buiten de spits tot bijna 12.000 verliesuren bij 3-4 rijstroken in de spits.
- In de spits resulteert een geblokkeerde rijstrook gemiddeld in ongeveer 3.000 verliesuren en in geld uitgedrukte reistijdverliezen van 81 duizend euro. Buiten de spits is dit ongeveer één vijfde.
- De gevolgen van incidenten kunnen verminderd worden door de capaciteitsreductie te beperken, de reservecapaciteit te vergroten en de duur van het oponthoud te verkleinen. De gevolgen worden ook beperkt als de incidenten verwacht zijn in plaats van onverwacht en als de uitwijkkosten worden verlaagd.

### 5.1 Aspecten die de omvang van het 'gevolg' bepalen

De gevolgen van een incident hangen af van een aantal factoren, die zijn te zien in figuur 5.1.

**Figuur 5.1**  
Aspecten die het gevolg van een incident bepalen



#### *Mate van capaciteitsreductie*

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 wegvakcapaciteit 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. 's Nachts is er meer reservecapaciteit dan overdag, in het weekend meestal meer dan op een doordeweekse dag.

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 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 (80 minuten), bij tankauto's met gevaarlijke stoffen is dit 240 minuten.

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 om een ongeval te bereiken.
- De aanwezigheid van een vluchtstrook om voertuigen te bergen of om het verkeer langs te leiden.
- De aanwezigheid van een spitsstrook: bij een gebruikte spitsstrook is de vluchtstrook tijdelijk niet beschikbaar<sup>5</sup>.
- 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, dan is de reductie 34 procent.

<sup>5</sup> Volgens de SWOV (2008) leidt de realisatie van plus- en spitsstroken tot een forse afname van de kans op ongevallen door de toename van capaciteit en de afname van congestie met 60 procent.

In 2007 werden de vijf dagen met de grootste files veroorzaakt door extreme weersomstandigheden (regen en storm). Deze vijf dagen waren goed voor 4,3 procent van het totale aantal files in dat jaar.

## 5.2 De gevolgen van een ongeval bij diverse wegkenmerken

### *I/C-verhouding en aantal rijstroken bepalend*

Ook verschillende wegkenmerken hebben een verschillende uitwerking op 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), maar ook de aanwezigheid van alternatieve routes.

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 van 0,8 ontstaat congestie. De verwachting is dat bij een hogere I/C-verhouding en dus lagere restcapaciteit de robuustheid lager is.
- Het aantal rijstroken dat het wegvak heeft. De hypothese is dat meer rijstroken grotere gevolgen hebben doordat er meer verkeer geblokkeerd wordt.

Op de resultaten zoals aangeleverd door Grontmij (2009) hebben we twee correcties toegepast: uit de studie van TNO (2006) bleek dat 3,7 procent van de geregistreerde ongevallen (inclusief pechgevallen) resulteert in een blokkade.

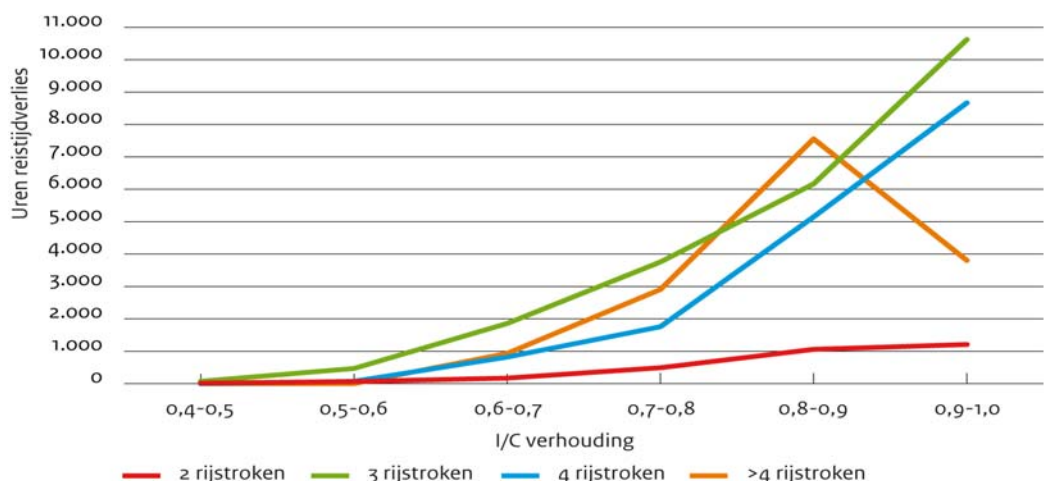
Aangezien Grontmij het gemiddelde van alle ongevallen heeft bepaald, hebben wij het gemiddelde gevolg opgehoogd door ervan uit te gaan dat alleen de ongevallen die tot een blokkade leiden, een vertraging tot gevolg hebben. Tevens hebben we gecorrigeerd voor het aantal wegvakken: Grontmij levert het gevolg op de meest kwetsbare wegvakken, wij hebben conform de analyse van Grontmij aangenomen dat er op de overige wegvakken geen gevolg van een ongeval is.

*In de spits zijn de gevolgen groter dan buiten de spits*

Figuur 5.2 geeft het gemiddelde uit de 13 runs met de Robuustheidsscanner (5 runs van referenties en 8 projectalternatieven) in de spits.

**Figuur 5.2**

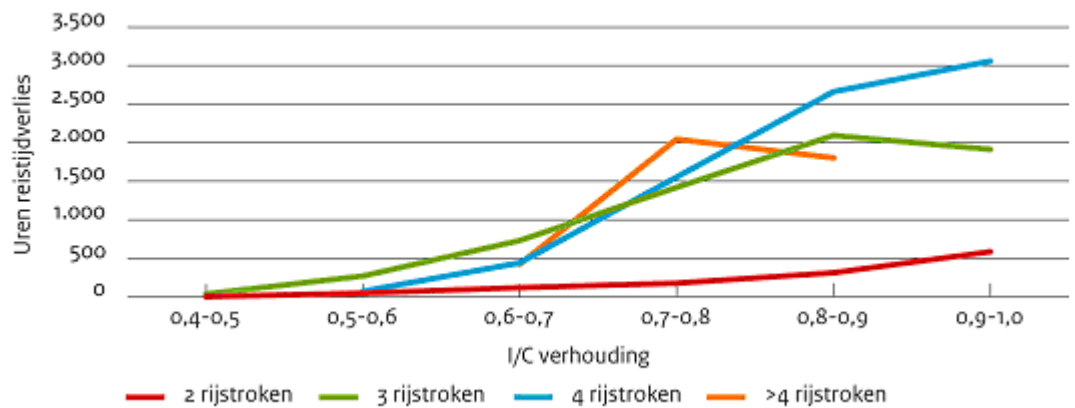
Gevolg ongeval (blokkade rijstrook) in de spits (in uren reistijdverlies) naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen



Uit de analyse blijkt dat het gevolg van een ongeval toeneemt als ook 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, dit neemt toe tot 11.000 bij een I/C-verhouding boven de 0,9.

**Figuur 5.3**

Gevolg ongeval (blokkade rijstrook) rest dag (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; hier is niet voor gecorrigeerd. Op wegen met meer dan twee rijstroken is het gevolg van een ongeval fors groter. Bij meer dan drie rijstroken blijft het gevolg grosso modo hetzelfde. Een verklaring hiervoor kan zijn dat steeds een blokkade van één rijstrook gesimuleerd is, waardoor de capaciteitsafname relatief kleiner wordt als het aantal rijstroken toeneemt.

#### *De spreiding rond deze uitkomsten zijn groot*

Als we deze gemiddelden willen interpreteren en eventueel gebruiken, is wel van belang dat de spreiding rond deze gemiddelden ('de standaarddeviatie') groot is. Dit is logisch: zoals ook uit hoofdstuk 3 blijkt, hangt het gevolg van een incident op een specifiek wegvak in sterke mate af van de situatie in de rest van het netwerk. Wel 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. Daarnaast is één type ongeval gesimuleerd. Een beschrijving van de studie en de daaruit voortkomende cijfers waarop deze figuren gebaseerd zijn, staan in bijlage 1.

### 5.3

#### **Gemiddeld gevolg van een ongeval**

*Een gemiddeld ongeval leidt in de spits tot 3.000, buiten de spits tot 600 verliesuren*  
Grontmij heeft het totaal aantal wegvakken per I/C-verhouding en aantal rijstroken aangeleverd. In hoofdstuk 4 is aangegeven dat de kans op een ongeval groter wordt als een weg meer rijstroken telt (mede als gevolg van hogere verkeersintensiteiten).

Met behulp van deze gegevens is bepaald op welke wegen met welke kenmerken de ongevallen plaatsvinden. Vervolgens is dit vermenigvuldigd met de voertuigverliesuren zoals ze in de vorige paragraaf zijn gepresenteerd .

**Tabel 5.1**

Gemiddeld gevolg blokkade rijstrook

	Voertuigverliesuren	Waardering (dzt €)
Spits	3.135	81
Niet-spits	601	16

Een ongeval leidt gemiddeld in de spits tot ruim 3.000 verliesuren. Dit leidt tot maatschappelijke kosten voor reistijdverliezen van 81 duizend euro<sup>6</sup>. Buiten de spits is dit ongeveer een vijfde: 600 voertuigverliesuren en 16 duizend euro. Uiteraard is de spreiding rond dit gemiddelde zeer groot. Opnieuw geldt hierbij de aantekening dat dit het gemiddelde betreft van alle ongevallen die leiden tot een blokkade, en niet alleen van de incidenten die extreme reistijden tot gevolg hebben.

Als we deze gemiddelden vermenigvuldigen met het totaal aantal ongevallen binnen en buiten de spits (ruim 2.300 respectievelijk ruim 4.500), dan volgt een jaarlijks in geld uitgedrukte waarde van ongeveer 260 miljoen euro.

De totale maatschappelijke kosten van files als gevolg van incidenten, zoals berekend in hoofdstuk 2, bedroegen ongeveer 400 miljoen euro, waarvan ongeveer twee derde wordt veroorzaakt door ongevallen (265 miljoen euro). Hieruit volgt dat via de *bottum-up* benadering met de Robuustheidsscanner en via de *top-down* analyse vanuit de bereikbaarheidsmonitor, grofweg dezelfde maatschappelijke kosten resulteren.

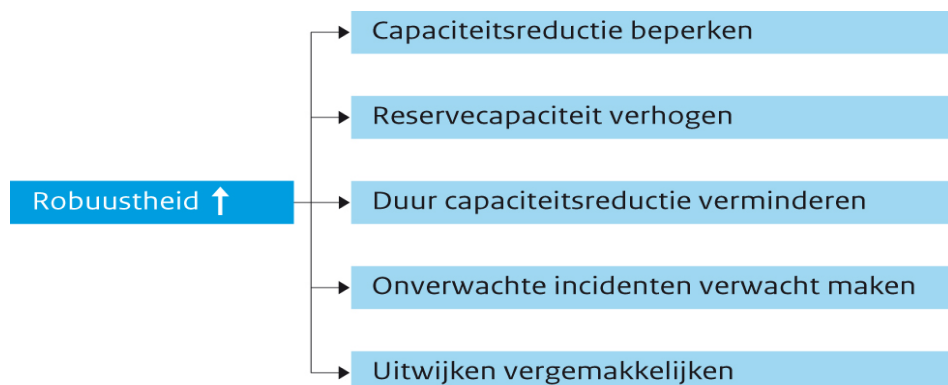
## 5.4

### Beleidsopties

De gevolgen van incidenten kunnen verminderd worden via diverse beleidsknoppen (zie figuur 5.2); voor een groot deel betreft het maatregelen die al zijn ingevoerd of die ingevoerd zullen worden. Andere maatregelen worden nog onderzocht. Over de effectiviteit van de verschillende maatregelen is zonder verdere studie niets te zeggen, dat moet projectspecifiek worden bekeken.

**Figuur 5.2**

Beleidsknoppen om de gevolgen van incidenten te verkleinen



<sup>6</sup> Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde tijdwaardering van 14,83 euro in 2008. Dit is gebaseerd op de standaard tijdwaardering zoals die door DVS gepubliceerd wordt en de voertuigkilometers zoals beschikbaar op Statline. Aan bestelwagens is hierbij de waardering van het zakelijk motief toegekend. Conform de redenering in paragraaf 2.4 is een opslag van 50 procent voor uitwijkkosten en 25 procent voor betrouwbaarheid toegepast.

#### *Capaciteitsreductie beperken*

Een incident heeft minder grote gevolgen als de capaciteitsreductie beperkt blijft. Bij ongevallen gaat het hierbij deels ook om maatregelen die capaciteitsreducerend gedrag tegengaan. Een voorbeeld dat tegenwoordig wordt toegepast, is het plaatsen van schermen om een kijkfile aan de andere kant te voorkomen of de campagne om blikshade af te wikkelen op parkeerplaatsen.

Bij wegwerkzaamheden en evenementen kunnen ad hoc maatregelen de capaciteitsreductie wellicht beperken, bij weersomstandigheden spelen materiaalkeuze en lay-out van de infrastructuur een belangrijke rol. Hierbij dienen ook weer keuzes gemaakt te worden: een bekend voorbeeld is het zoab dat bij regen een gunstig effect heeft, maar bij vorst juist niet.

#### *Reservecapaciteit vergroten*

Als de I/C-verhouding verlaagd wordt, is de restcapaciteit groter. Daarnaast kan wellicht tijdelijk extra capaciteit gecreëerd worden, bijvoorbeeld door tijdelijk gebruik van de vluchtstrook, door dynamische wegmarkeringen en het tijdelijk vergroten van capaciteit op alternatieve routes (bijvoorbeeld het onderliggend wegennet). Een andere mogelijkheid is om buffers te realiseren (extra opstelplaatsen indien er congestie is), waardoor terugslag voorkomen wordt.

Tevens leidt de beschikbaarheid van een alternatieve route tot een grotere robuustheid, als er sprake is van restcapaciteit. Zeker buiten de spits zal dat het geval zijn. Reservecapaciteit kan ook betrekking hebben op andere modaliteiten, met name in het geval van verwachte incidenten. Hierbij is het dan wel van belang dat de netwerken van de verschillende modaliteiten enigszins parallelle structuren hebben en goed met elkaar zijn verbonden.

#### *Duur verminderen*

De duur van de capaciteitsvermindering kan verkort worden door bijvoorbeeld sneller te bergen, door gedragsverandering (blikshade afwikkelen op een parkeerplaats) en door maatregelen om zo snel mogelijk de reguliere situatie te herstellen (bijvoorbeeld met signalering).

Hier zijn de laatste jaren al veel maatregelen voor genomen en pilots voor uitgevoerd. TNO (2006) geeft bijvoorbeeld een overzicht van maatregelen in het kader van incidentmanagement. De duur van ongevallen werd in diverse pilots met 20 procent verkort met uitschieters tot 40 procent. De onderzochte maatregelen hebben onder meer betrekking op verbeterd cameratoezicht en het versneld inzetten van bergers.

Bij weersomstandigheden, werkzaamheden en evenementen zal het meestal niet mogelijk zijn om de duur van de capaciteitsvermindering te verkorten, afgezien wellicht van maatregelen om na afloop zo snel mogelijk de reguliere situatie te herstellen.

#### *Van onverwachte naar verwachte incidenten*

Incidenten verwacht maken is niet zo zeer een robuustheidsmaatregel, maar leidt er wel toe dat de kosten van incidenten verlaagd worden. Bij een verwacht incident kan een weggebruiker zijn gedrag aanpassen, waardoor hij op basis van deze kennis



kan beslissen wel of niet en zo ja op welk tijdstip te gaan rijden. Door een verbeterde informatievoorziening kunnen incidenten verwacht worden gemaakt. Dit kan zowel vooraf (tv, radio, internet, advertenties) als tijdens de rit (radio, signalering, mobiel internet, navigatiesystemen). De mogelijkheden zijn de afgelopen jaren al sterk vergroot, deze ontwikkeling zal naar verwachting doorzetten.

Naast een goede informatievoorziening speelt uiteraard ook het belang van goede voorspellingen. Allerlei psychologische aspecten spelen ook een rol: als er drie dagen achter elkaar voor dichte mist wordt gewaarschuwd, maar er is geen dichte mist, dan zal bij de vierde dag niet iedereen meer luisteren naar de verwachtingen.

#### *Uitwijken vergemakkelijken*

De gevolgen van incidenten voor de gebruiker kunnen verminderd worden als hij gemakkelijker kan uitwijken. Bij verwachte incidenten zal het aantal mogelijkheden groter zijn dan bij onverwachte incidenten. Hieronder noemen we een aantal uitwijkmogelijkheden.

- Alternatieve modaliteiten aanbieden. Automobilisten kunnen bijvoorbeeld bij voorspelde zware mist of wegwerkzaamheden bedenken dat ze de trein nemen. Treinreizigers kunnen bij aangekondigde werkzaamheden aan het spoor kiezen voor de auto.
- ICT-toepassingen (thuiswerken). In het geval van bijvoorbeeld verwachte zware mist of werkzaamheden, kunnen mensen ook besluiten om thuis te werken in plaats van te forensen (met een andere modaliteit).
- Informatie over alternatieven (radio, Dynamische Route Informatie Panelen (DRIP's), via navigatiesystemen). Als er restcapaciteit is op alternatieve routes, dan kan dat aan de reizigers worden kenbaar gemaakt. Dit gebeurt via DRIP's of de radio, maar ook via informatieborden en omroepberichten op het station. Ook interactieve navigatiesystemen reiken de gebruiker alternatieven aan. De komende jaren zal dit waarschijnlijk verder verbeterd worden, bijvoorbeeld via toepassingen op mobiele telefoons.



## 6 Effectbepaling in de MKBA

- Om het effect op de robuustheid van een individueel project te bepalen, is het aan te bevelen om te werken met beschikbare modellen die gebruikmaken van de output van reguliere verkeersmodellen.
- Een zogeheten *quickscan* kan een indicatie geven van het effect van een maatregel op de robuustheid van infrastructuurprojecten. We kunnen zo'n quickscan uitvoeren met behulp van de gemiddelden uit het vorige hoofdstuk. Hiermee kunnen de verandering van de kans per voertuigkilometer, het aantal voertuigkilometers en het gemiddelde gevolg van een ongeval bepaald worden. Hiervoor is tevens input (veranderde wegkenmerken) en output nodig van het verkeersmodel (voertuigkilometers, intensiteit/capaciteit (I/C) verhoudingen). Daarmee benaderen we dus het robuustheidseffect door te kijken naar de gevolgen van incidenten.

### 6.1 Beschrijving methode

De effecten (kans \* gevolg) van individuele projecten op de robuustheid verschillen sterk. We gaan hier alleen in op de effecten van ongevallen. De effecten van weersomstandigheden, werkzaamheden en evenementen zijn niet verder uitgewerkt. De effecten van werkzaamheden zullen op voorhand niet sterk veranderen, de effecten van weersomstandigheden zullen afhankelijk zijn van de restcapaciteit (I/C-verhoudingen) in het netwerk, die verandert als gevolg van het project.

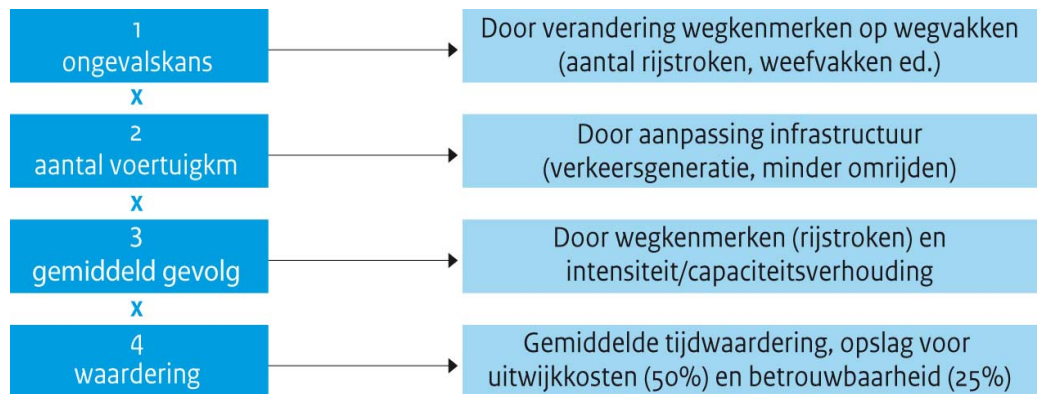
Bij de uitvoering van een infrastructuurproject wordt verkeer gegenereerd, waardoor elders op het netwerk de robuustheid afneemt. Tegelijkertijd neemt de robuustheid op de projectlocatie toe, doordat er meer reservecapaciteit ontstaat. Zoals bleek uit hoofdstuk 3 verschillen de effecten van projecten sterk. Als er voldoende tijd beschikbaar is, is het daarom raadzaam om de robuustheidseffecten met een specifieke analyse te bepalen. De output uit bijvoorbeeld het NRM (Nieuw Regionaal Model) of het LMS (Landelijk Model Systeem) wordt dan gebruikt om ongevallen te simuleren. Dit kan onder meer met de Robuustheidsscanner en SMARA. Dé methode of hét model bestaat echter nog niet. De uitkomsten kunnen nog fors verschillen en zijn nog onvoldoende getoetst en getest.

Een zogeheten quickscan kan een indicatie geven van het effect van een maatregel op de robuustheid van infrastructuurprojecten. We kunnen zo'n quickscan uitvoeren met behulp van de gemiddelden uit het vorige hoofdstuk. Hiervoor moeten per project data worden verzameld uit analyses met een verkeersmodel. Daarna kunnen dan de volgende analyses worden uitgevoerd. In de tekstbox aan het einde van deze paragraaf staat een rekenvoorbeeld van de effectbepaling voor een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). De analyses moeten voor de spits en niet-spits afzonderlijk worden uitgevoerd.

Gezien de grote variatie rond de gevonden gemiddelden, bestaat het risico dat de effecten in een meer modelmatige analyse fors anders uitpakken dan uit een eerste quickscan blijkt.

**Figuur 6.1**

Quickscan-bepaling van effecten van individuele projecten en maatregelen



#### *Ad 1: verandering in ongevalskans*

Wegvakken met meer rijstroken of met weefvakken en splitsingen hebben een grotere kans op een ongeval. We kunnen de kans op een ongeval op het projecttracé in het nulalternatief bepalen door te kijken naar het gemiddelde in de afgelopen jaren of de gemiddelde kans die volgt uit tabel 4.1 (0,13 of 0,10 per miljoen voertuigkilometers (afhankelijk van respectievelijk spits of dal)).

Deze ongevalskans op wegvakken die door het project aangepast worden, neemt toe of af al naar gelang de veranderingen die ontstaan door het project. Om hiervan een inschatting te maken, kan gebruik worden gemaakt van de relatieve kansen in tabel 4.3. In deze relatieve kansen is al impliciet een toename van het aantal voertuigkilometers opgenomen als er meer rijstroken zijn: hier hoeft dus niet voor gecorrigeerd te worden.

De kans per voertuigkilometer in de rest van het netwerk zal niet veranderen, omdat de wegkenmerken daar gelijk blijven.

#### *Ad 2: verandering aantal voertuigkilometers in de rest van het netwerk*

De toename van het aantal voertuigkilometers op het projecttracé is al verdisconteerd in de hogere kans op deze wegvakken. Het gaat hier alleen om effecten in de rest van het netwerk. Doordat reistijden verkort worden, wordt nieuw verkeer gegenereerd. Tegelijkertijd is het mogelijk dat gemiddelde ritten korter worden, doordat er minder wordt omgereden en/of omdat er een nieuwe kortere verbinding wordt aangeboden. De verandering van het aantal voertuigkilometers op de rest van het netwerk, is output van het verkeersmodel.

#### *Ad 3: verandering in gemiddeld gevolg*

Het gemiddelde gevolg van een ongeval gemeten in reistijden, verandert als het aantal rijstroken en/of de I/C-verhouding op wegvakken veranderen. Het gaat hierbij niet alleen om de projectlocatie, maar om alle wegvakken in het netwerk. Met behulp van de in- en output van het verkeersmodel kunnen die wegvakken geselecteerd worden waar kenmerken en/of de I/C-verhouding wijzigen. Met behulp van de gemiddelden uit bijlage A kan vervolgens de verandering in het gemiddelde gevolg worden geanalyseerd.

#### *Ad 4. Waardering*

De reistijdverliezen gemeten in uren kunnen vervolgens gewaardeerd worden met de tijdwaardering zoals die gepubliceerd wordt door Rijkswaterstaat

([www.rws.nl/see](http://www.rws.nl/see)). Het is overigens goed mogelijk dat de waardering van grote incidentele reistijdverliezen anders is dan van kleinere reistijdwinsten of -verliezen. In het lopende project rond nieuwe tijdwaarderingen worden ook extreme reistijdwinsten in beperkte mate meegenomen. Voor uitwijkkosten<sup>7</sup> (50 procent) en betrouwbaarheid kunnen opslagen worden gebruikt.

#### **Rekenvoorbeeld effectbepaling voor MKBA**

In dit rekenvoorbeeld illustreren we hoe de stappen uit figuur 6.1 doorlopen kunnen worden. Met behulp van de kengetallen uit de eerdere hoofdstukken kunnen we zo een idee vormen over het effect van nieuwe weginfrastructuur op robuustheid.

**Stel:** Er is een wegennetwerk waarop per jaar 1.050.000.000 voertuigkilometers (vtkm) worden verreden. Daarvan vinden 50.000.000 vtkm plaats op wegvak A. Op wegvak A is de I/C-verhouding 0,85.

In het projectalternatief wordt wegvak A verbreed van een 2-strookssnelweg naar een 4-strookssnelweg. De nieuwe rijstrook genereert extra verkeer. Op de rest van het netwerk worden 1 miljoen vtkm meer gereden. De I/C-verhouding op wegvak A daalt van 0,85 naar 0,55. Op de rest van het netwerk veranderen de I/C-verhoudingen niet.

**Effecten:** De robuustheidseffecten in jaar X (geoperationaliseerd als de gevolgen van een blokkade van één rijstrook als gevolg van een ongeval) zijn nu volgens het schema in figuur 6.1 te berekenen. Hieronder volgt het rekenvoorbeeld voor de spitsperiode.

*Stap 1:* In de oorspronkelijke situatie is de kans op een ongeval 0,13 per miljoen vtkm (tabel 4.1). In de nieuwe situatie blijft de kans op de rest van netwerk 0,13 per miljoen vtkm. Op wegvak A verandert de situatie echter; het aantal rijstroken gaat van 2 naar 4. Daardoor wordt de kans op een ongeval op dit wegvak hierdoor een derde ( $4,8/3,6$ ) groter (tabel 4.3 en tabel 4.1). Omdat deze kengetallen al een gemiddeld voertuigkilometereffect meenemen, wordt hiervoor niet apart gecorrigeerd.

*Stap 2:* In de oorspronkelijke situatie werden er 50.000.000 vtkm gereden op wegvak A met een kans van 0,13 per miljoen vtkm, en werden er 1.000.000.000 vtkm op de rest van het netwerk verreden, met een kans van 0,13 per miljoen vtkm. Hieruit resulteren 6,5 ongevallen op wegvak A en 130 ongevallen op de rest van het netwerk. In de nieuwe situatie wordt de kans op een ongeval op wegvak A 8,67 ( $6,5 * 4,8/3,6$ ). Op de rest van het netwerk worden 1.001.000.000 vtkm verreden. Met een kans van 0,13 per miljoen vtkm leidt dit tot 130,1 ongevallen.

*Stap 3:* In de oorspronkelijke situatie waren er op wegvak A 6,5 ongevallen met een gemiddeld gevolg van 1.059 voertuigverliesuren (tabel A.1). Op de rest van het netwerk waren er 130 ongevallen met een gemiddeld gevolg van 3.135 voertuigverliesuren (tabel 5.1). Op wegvak A wordt in de nieuwe situatie het effect als gevolg van een ongeval (met een blokkade van één rijstrook) 73 uren

<sup>7</sup> Deze opslag wordt gebruikt omdat alleen een effect op voertuigverliesuren bekend is. Als uitwijkgedrag via een model of anderszins is meegemodelleerd, mag deze opslag niet toegepast worden maar wordt deze op de standaardmanier meegenomen via de toe- en afname van verkeer en berekening van de totale reistijdeffecten (niet alleen verliesuren).

reistijdverlies (tabel A.1). Voor de rest van het netwerk is het gevolg in de nieuwe situatie hetzelfde (3.135 uren). Op wegvak A leidt dit tot 6.250 minder verliesuren per ongeval. Op de rest van het netwerk neemt het aantal verliesuren toe met 408.

*Stap 4:* De gemiddelde reistijdwaardering is ongeveer 15 euro. Hierbij komen nog opslagen voor uitwijkkosten (50 procent) en betrouwbaarheid (25 procent). De baten van de toegenomen robuustheid (een kleiner effect van een ongeval) zijn op wegvak A 164.100 euro, op de rest van het netwerk neemt de robuustheid met 10.700 euro af. De totale baten van de robuustheid (geoperationaliseerd als de gevolgen van een blokkade van één rijstrook als gevolg van een ongeval) van de wegverbreding van wegvak A, zijn per saldo voor het jaar X 153.400 euro.

Eenzelfde berekening kan gemaakt worden voor de niet-spits. De analyse kan daarnaast worden uitgebreid door in de rest van het netwerk een afzonderlijke analyse te maken van die wegvakken waar de I/C-verhouding wijzigt.

## 6.2 Kanttekeningen bij het gebruik van deze kengetallen

In deze paragraaf bespreken we de beperkingen bij de beschreven *quickscan*. Deze beperkingen hebben betrekking op reistijdverliezen als gevolg van blokkades, verandering van de kans op een ongeval, waardering van extreme reistijdverliezen en het kijken naar ongevallen.

- De kengetallen die in de hoofdstukken 4 en 5 zijn gebruikt, hebben betrekking op blokkades van rijstroken. Niet alle blokkades zullen echter tot extreme reistijdverliezen leiden, zeker niet buiten de spits. De effecten worden dan ook al meegenomen in de analyses van de spreiding rond de verwachte reistijd, waarmee betrouwbaarheid wordt gewaardeerd.
- De verandering van de kans zit niet opgenomen in de standaard modelruns (zie paragraaf 2.4), dus hierdoor ontstaat geen dubbeltelling. Als de gevolgen klein zijn, ontstaat die dubbeltelling wel. We gaan ervan uit dat deze dubbeltelling beperkt is, hoewel het lastig is om de omvang aan te geven. Nadere analyses van actuele fileoorzaken kunnen hierin wellicht meer inzicht geven.
- Daartegenover staat dat de *waardering* van extreme reistijdverliezen mogelijk groter is dan die van kleine reistijdverliezen. We gebruiken nu de waardering van kleine reistijdverliezen, wat mogelijk tot een onderschatting leidt. In de loop van 2010 ontstaat ook daar meer inzicht in, via het project over reistijdwaardering.
- Bij het bepalen van de effecten op robuustheid moesten we ons beperken tot de gevolgen van ongevallen (geoperationaliseerd als een blokkade van één rijstrook). Hiermee hebben we slechts een deel van de effecten gekwantificeerd.

Op basis van bovenstaande (tegengestelde) afwijkingen van de *quickscan*, durven we per saldo geen uitspraak te doen over de verhouding tussen de globale inschattingen en het totale uiteindelijke robuustheidseffect.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

- 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) worden voorkomen.
- Ongeveer 20 procent van de files wordt veroorzaakt door 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. In 2040 varieert het bedrag tussen de 160 en 1.450 miljoen euro, afhankelijk van het scenario. 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.
- Het effect op de robuustheid van wegenprojecten wordt niet goed meegenomen in verkeersmodellen. Als er aanwijzingen zijn dat dit affect substantieel kan zijn, is er dan ook een afzonderlijke analyse nodig en een batenpost in een MKBA. Het betreft een aanvulling op de gebruikelijke waardering van betrouwbaarheid.
- 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 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 robuustheidseffecten van maatregelen verschillen sterk per project. Als er bij een beperkt budget moet worden gekozen tussen afzonderlijke projecten, dan kan de prioriteitsvolgorde worden beïnvloed door robuustheid mee te nemen in de beoordeling van die projecten.
- In dit rapport noemden we een aantal gemiddelden voor kansen op ongevallen en voor de gevolgen van ongevallen. Deze gemiddelden kunnen worden gebruikt om een globale inschatting te maken van het robuustheidseffect van een individueel project (benaderd door de effecten als gevolg van een blokkade van één rijstrook). De bandbreedte rond deze cijfers is echter groot: in een uitgebreidere kosten-batenanalyse (KBA) of bij een verwacht substantieel effect, bevelen we daarom aan om gebruik te maken van een model waarmee ongevallen gesimuleerd worden.
- Er is een breed scala van beleidsmogelijkheden beschikbaar om de robuustheid van het wegennet te vergroten. Deze maatregelen kunnen er bijvoorbeeld op zijn gericht om de kans op incidenten te verkleinen, de gevolgen ervan te verminderen of te zorgen voor betere informatie en voorspellingen. Verder kunnen de uitwijkmogelijkheden worden vergroot door alternatieve routes of andere vervoerwijzen aan te bieden. De maatregelen moeten op individuele basis worden beoordeeld op effectiviteit en efficiency.





## Summary

This study provides insights into understanding robustness and how the issue of robustness can be elaborated. In order to be able to incorporate robustness as a factor in a social cost-benefit analysis (SCBA), it is necessary to determine what effects certain measures have on robustness and to appraise these effects. In this study we focus on the effects that certain measures have on robustness and on the question of how these effects can be incorporated in a SCBA. An appraisal of robustness effects is addressed in a separate study.

### **What is robustness?**

From the perspective of road users, robustness is a component of reliability. At issue here is the probability for road users to reach their destinations within the expected travel time. We define robustness as the extent to which extreme travel delays, resulting from various incidents (accidents, extreme weather conditions, road works and events), are prevented.

### **Measures to improve robustness**

There are various starting points for improving robustness, including those measures that affect the probability of an incident occurring and those that affect the consequences of an incident. Many of these types of measures have already been implemented.

Measures can influence the probability of incidents occurring, especially in cases of accidents and road works. Thus, traffic safety measures that reduce the overall number of accidents can reduce the probability of accidents occurring. In the case of road works, an initial choice can be made to carry out projects in a manner that requires less maintenance. In addition, the consequences of incidents can be reduced. This can be done, for example, by limiting the capacity reduction (by allowing the temporary use of the emergency-lane, for example), expanding the residual capacity (through road expansion projects, for example), or by reducing the duration of an incident (by incident management, for example).

Through the use of communication methods and improved prognostication, unexpected incidents can become expected and allow road users to adapt their travel behaviours. Moreover, the possibility of making alternative arrangements can be expanded by offering alternatives (also other modalities), by offering the possibility of temporarily working elsewhere, and by improving the supply of information.

### **Potential social benefits of robustness**

The robustness effects of specific measures can be substantial. Hence, incidents account for about 20 percent of all traffic jams. The social costs of this amount to approximately 400 million euro (excluding any indirect effects), of which approximately two-thirds is caused by lane blockages. Although robustness is only associated with part of the consequences stemming from incidents (namely, those that involve extreme travel time delays), there is nevertheless still an indication of potentially major robustness benefits.

### **The robustness effect determined**

Current traffic models are not very adept at incorporating the effects that measures have on robustness; therefore, additional analyses are required to analyse and appraise the robustness effects. This involves a supplement to the reliability analysis being used.

We can determine the robustness effects of a particular measure by multiplying the probability of an incident occurring with the consequences, as measured in travel time delays for road users and divergent actions. The effect this has on the entire network – not only the effect it has on the project location – is important. In order to determine a measure's robustness effect, greater insights into the probability of an incident occurring, and the consequences of an incident, are therefore required.

With regard to road expansion and new road connections, two effects work against each other. On the one hand, road expansion leads to less congestion and thus to more residual capacity on that particular route. For new road connections, this applies to stretches of road relieved of their congestion, whereby the robustness increases. On the other hand, however, more traffic is generated, and this causes an increase in traffic, also in the rest of road network, whereby the residual capacity decreases. Traffic also increases on the routes which have been expanded, whereby during an incident the robustness decreases.

No standard declarations can therefore be made about the positive or negative effects on robustness. There can also then be no permanent 'storage' or fixed ratio determined for incorporation in the SCBA. The robustness effects of various measures vary widely on a per project basis. The priority level of projects can be influenced by taking robustness into account when evaluating the projects.

### **Robustness effects of incidents operationalised: effects on accidents**

In this study, incidents are operationalised if, as result of an incident, a minimum of one lane is blocked. In the cases studied pertaining to road expansion, the robustness effect both during rush hours and non-rush hours is ambiguous. For new road connections, it was only during non-rush hours that a positive effect was recorded for all cases.

#### *An infrastructure project influences the probability of an accident*

A certain percentage of accidents (including breakdowns) that occur on the road network result in one or more lanes being blocked. The probability of this occurring is 0.13 per million vehicle kilometres during the rush hours and 0.10 during non-rush hours. During a rush hour, the probability of an accident occurring is twice as great as during non-rush hours. In the case of infrastructure projects, the road conditions can also change. This influences the probability of accidents occurring. During non-rush hours, the probability of accidents occurring on a three-lane highway is three times greater than for a one-lane road, while during the rush hours that figure is nearly eight times greater. If entry or exit roads are involved, the probability of an accident occurring does not increase or only slightly increases. In the case of slip roads and split roads the probability of an accident occurring is clearly greater. A logical and key factor for the increase in the probability of accidents occurring is that the number of vehicle kilometres also increases if the number of lanes increases. Here the probabilities are not revised.

*An infrastructure project influences the consequences of an accident*

The consequences resulting from a road accident (and from other incidents) are determined by the degree of the capacity reduction, the residual capacity – on the road where the incident occurs, as well as on alternate routes – and the duration of the incident. Travel time delays as a consequence of an accident amount to an average of 3,000 hours during rush hours, which in monetary terms is the equivalent of 81,000 euros. During non-rush hours, the sum is one-fifth that of during rush hours. The distribution of these sums is immense. Consequences stemming from a lane blockage are relatively greater if the traffic volume (intensity-capacity ratio) increases. The consequences also increase (to a limited degree) if the number of lanes is increased.

**Quick scan of the robustness effects versus specific analyses**

A so-called quick scan analysis can provide an indication of the effect a measure has on the robustness (approximated by the effects of accidents) of infrastructure projects. We can conduct a quick scan with the help of the input (road conditions/characteristics) and output (I/C ratios, vehicle kilometres) of the traffic model being used and the indicators presented in this report. If a measure is expected to generate significant effects, and if a relatively comprehensive SCBA will be conducted, we recommend using specific model analyses to analyse the effect on robustness.



## Literatuur

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

CPB, MNP & RPB (2006). Welvaart en Leefomgeving; Een Scenariostudie voor Nederland in 2040, Den Haag: Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau.

Decisio (2005). *Kosten-batenanalyse op hoofdlijnen voor de Planstudie Schiphol-Amsterdam-Almere*. Amsterdam: uitgever.

Fosgerau, M. e.a. (2008). *Travel Time Variability, Definition and Valuation*. Kgs. Lyngby: DTU Transport.

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

Grontmij (2007). *Robuustheid van Doorgetrokken A4 en Verbrede A13-plus A13-A16*. De Bilt: Grontmij.

Grontmij (2008). *Robuustheid Mainport Corridor Zuid*. 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.

International Transport Forum Joint OECD/ITF Transport Research Committee: Working Group on Surface Transport Networks (nog te publiceren). *Improving Reliability and Levels of Service*.

KiM (2008a). *Filefacts*. Bijlage bij de Begrotingsbehandeling 2008. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

KiM (2008b). *Mobiliteitsbalans 2008*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

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

Knibbe, W.J. & Wismans, L. (2003). *Voertuigverliesuren door Incidenten. Incidenten in Utrecht onder de Loep*. Notitie gedownload van [www.goudappel.nl](http://www.goudappel.nl).

Koopmans, C. & Kroes, E. (2004). *Estimation of Congestion Costs in the Netherlands*. SEO Discussion Paper no. 28.

Kraaijeveld, R. (2008). Onderzoek naar de Identificatie van Kwetsbare Wegvakken, ITS-EDU LAB. Delft: Rijkswaterstaat/TU Delft.

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 (2002). *Nota Mobiliteitsmanagement*. Den Haag: VenW.

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

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008). *Mobiliteitsaanpak. Vlot en Veilig van Deur tot Deur*. Den Haag: VenW.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008a). *Nationale Mobiliteitsmonitor 2008*. Den Haag: VenW.

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

Raad voor Verkeer en Waterstaat (2009). *De Randstad Altijd Bereikbaar. Advies over Robuuste Verkeers- en Vervoersnetwerken*. Den Haag: Raad voor Verkeer en Waterstaat.

RAND Europe (2006). *Voertuigverliesuren door Incidenten. Hoeveel Kan Incidentmanagement Bijdragen aan de Vermindering van Files?* Leiden: RAND Europe.

Reisen, M. van (2006). *Incidentele files; de kenmerken, de kosten en het beleid*. Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.

Rijkswaterstaat (2007). *Bereikbaarheidsmonitor Hoofdwegennet 2006*. Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV).

Rijkswaterstaat (2008). *Bereikbaarheidsmonitor Hoofdwegennet 2007*. Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV).

Rijkswaterstaat (2009). *Kosten-batenanalyse hinderbeperkende maatregelen bij de werkzaamheden op de Moerdijkbrug*. Delft: Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS).

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.

SWOV (2005). *De Verkeersveiligheidsverkenner gebruikt in de regio*. Leidschendam: SWOV.

SWOV (2006). *Kosten verkeersongevallen Nederland: Ontwikkelingen 1997-2003*. Leidschendam: SWOV.

SWOV (2008). *Veilig over Rijkswegen!?* Leidschendam: SWOV.

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

TNO (2008a). *De kosten van de kwetsbaarheid van het wegennet in de Randstad in 2008 en 2030*. Delft: TNO.

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

TNO & Ecorys (2009). *Kansrijke combinaties van de concepten uit de Mobiliteitsaanpak: een economische toets en uitwerking van de concepten naar gebiedstype*. Delft: TNO & Ecorys.

Visser, J. & Molenkamp, L. (2004). *Hoe robuust is het Nederlandse Hoofdwegennet?* Zeist: Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk (CVS).





## Bijlage A Toelichting bij analyses met de Robuustheidsscanner

Het volledige rapport van Grontmij is als bijlage bij deze studie te downloaden via [www.kimnet.nl](http://www.kimnet.nl).

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 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 een ongeval veroorzaakt.

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

1. Selectie van een groot aantal kritieke wegvakken.  
De Robuustheidsscanner 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 Robuustheidsscanner welke schakels relatief kwetsbaar zijn.

In het kader van deze studie is een aantal analyses uitgevoerd met de Robuustheidsscanner. Hiertoe zijn eerdere runs met het NRM (Nieuw Regionaal Model) gebruikt van vijf projecten, waarvan in een aantal gevallen meerdere varianten doorgerekend zijn. In totaal kunnen daarom acht vergelijkingen worden gemaakt tussen project- en nulalternatief.

De eerste selectie van een groot aantal potentieel kwetsbare wegvakken wordt bepaald door de incidentkans. Deze kans is in de oorspronkelijke versie van de Robuustheidsscanner gebaseerd op kengetallen van de SWOV die het aantal ongevallen per voertuigkilometer per wegtype weergeven. Voor alle wegvakken van hetzelfde type (rijkswegen, provinciale wegen, lokale wegen) is dit kengetal gelijk. Zo is het kengetal voor autosnelwegen 0,06 ongevallen per miljoen voertuigkilometer en voor autowegen 0,18 ongevallen per miljoen voertuigkilometer. De SWOV-kengetallen zijn gebaseerd op door de politie geregistreerde letselongevallen en zijn voor een bepaald wegtype generiek over heel Nederland bepaald.

Er is een verdiepingsslag uitgevoerd naar de ongevalskans op de hoofdwegen, met als doel de ongevalskans in de Robuustheidsscanner afhankelijk te maken van het

rijbaantype (normaal, weefvak, in- of uitvoeger) en het aantal rijstroken. De uitkomsten staan in hoofdstuk 4. Voor deze verdiepingsslag is een database van het Verkeerscentrum Nederland van Rijkswaterstaat (VCNL) gebruikt, met daarin alle geregistreerde ongevallen (ongevallen en pechgevallen) op het hoofdwegennet waar incidentmanagement wordt toegepast. De kansverdeling is hiermee anders dan in eerdere studies waar de Robuustheidsscanner is toegepast.

### **Robuustheid en I/C-verhouding**

Het eerste onderzochte aspect is de relatie tussen de I/C-waarde van wegvakken enerzijds, en de kwetsbaarheid gemeten in reistijdverlies als gevolg van een ongeval anderzijds. Het gaat hier om een gemiddelde in het gehele netwerk. Anders dan in de eerdere onderzoeken met de Robuustheidsscanner, waarbij de nadruk werd gelegd op de meest kwetsbare wegvakken, is in deze studie de focus verbreed. Ook weinig kwetsbare wegvakken zijn meegenomen om zo tot gemiddelden te komen. Voor elke geanalyseerde run is daarom aan de hand van de ongevalskans en het aantal geblokkeerde voertuigen, de kwetsbaarheid bepaald van een groot aantal wegvakken (250, alleen autosnelwegen), zowel voor de ochtend- als de avondspitsperiode, maar ook voor de restdag. De gevolgen van de ongevallen bepalen we aan de hand van de formule kwetsbaarheid = ongevalskans \* verliestijd (in voertuigminuten).

De gemiddelde kwetsbaarheid is bepaald van wegvakken die zijn 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 onderzocht tussen het effect van een ongeval (de verliestijd in het netwerk als gevolg van de afsluiting van één rijstrook) en de I/C-verhouding (dus zonder de ongevalskans).

### **Robuustheidseffect projectalternatieven**

Daarnaast is het robuustheidseffect doorgerekend van wegverbredingen en nieuwe verbindingen van de aangeleverde NRM-output. Het gaat hierbij steeds om het verschil tussen de referentie en het project, waarbij gebruik is gemaakt van een gedeeltelijke afsluiting van een wegvak. Voor de referentie en het projectalternatief wordt de kwetsbaarheid van alle (autosnel)wegen binnen het studiegebied bepaald en gesommeerd.

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 een capaciteitsgevoelige toedeling, omdat er bij een blokkade (in het alternatief) capaciteitsbeperkingen optreden. 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.

In de tabellen A1 en A2 staan de uitkomsten van de Robuustheidsscanner die voor dit project van belang zijn. In tabel A.1 staan de gevolgen van een ongeval

(blokkade van één rijstrook) in de spits (uitgedrukt in uren reistijdverlies), uitgesplitst naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen. In tabel A.2 staan de gevolgen van een ongeval (blokkade van één rijstrook) in de 'restdag' (uitgedrukt in uren reistijdverlies) uitgesplitst naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen.

**Tabel A.1**

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

I/C-verhouding	Aantal rijstroken			
	2	3	4	>4
0,4-0,5	16	73	-	-
0,5-0,6	65	468	73	-
0,6-0,7	171	1.859	821	935
0,7-0,8	492	3.756	1.757	2.907
0,8-0,9	1.059	6.166	5.148	7.555
0,9-1,0	1.209	10.619	8.667	3.805

**Tabel A.2**

Gevolg ongeval (blokkade rijstrook) tijdens rest dag (in uren reistijdverlies) naar aantal rijstroken en bij diverse I/C-verhoudingen

I/C-verhouding	Aantal rijstroken			
	2	3	4	>4
0,4-0,5	2	37	-	-
0,5-0,6	48	270	72	-
0,6-0,7	119	731	441	424
0,7-0,8	177	1.420	1.554	2.046
0,8-0,9	312	2.094	2.662	1.803
0,9-1,0	585	1.913	3.059	-

## Colofon

Dit is een uitgave van het  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

juli 2010  
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

KiM-10-A04

Auteurs:  
Jaap Anne Korteweg  
Sytze Rienstra

Vormgeving en opmaak:  
VenW

Opmaak figuren en grafieken:  
Studio Guido van der Velden B.V., Blaricum

ISBN: 978-90-8902-071-0

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)  
Postbus 20901  
2500 EX Den Haag

Telefoon : 070 351 1965  
Fax : 070 351 7576

Website : [www.kimnet.nl](http://www.kimnet.nl)  
E-mail : [info@kimnet.nl](mailto:info@kimnet.nl)

Publicaties van het KiM zijn aan te vragen bij het KiM (via [kimpublishing@minvenw.nl](mailto:kimpublishing@minvenw.nl)) of als PDF te downloaden van onze website [www.kimnet.nl](http://www.kimnet.nl). U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.

Dit is een publicatie van het

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat**

Postbus 20901 | 2500 EX Den Haag  
[www.verkeerenwaterstaat.nl](http://www.verkeerenwaterstaat.nl)  
[www.kimnet.nl](http://www.kimnet.nl)

ISBN: 978-90-8902-071-0  
Juli 2010 | KiM-10-A04