

Inspiratieboek Robuustheid

***Verkenning van robuustheidverhogende
maatregelen***

TT04-060

Ing. Evert Klem, ir. Manus Barten, drs. Marc Bijlsma
Veenendaal, Traffic Test bv

Documentbeschrijving

Titel: Inspiratieboek Robuustheid
Subtitel: Verkenning van robuustheidvergrotenende maatregelen
Rapportnummer: TT04-060
Status: Eindrapport
Trefwoorden: robuustheid, verstoringen, voorbeelden van maatregelen
Projectnummer: E2004-036
Auteur(s): Ing. Evert Klem, ir. Manus Barten, drs. Marc Bijlsma
Datum: 25 november 2004
Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer
Korte inhoud: Het Nederlandse wegennet blijkt in de praktijk gevoelig te zijn voor diverse verstoringen. Deze verstoringen leiden vaak tot onverwachte files of langere files. De hierdoor veroorzaakte extra reistijd wordt door de weggebruiker als hinderlijk ervaren. De Minister van Verkeer en Waterstaat wil daarom de robuustheid van het wegennet vergroten. Het systeem moet beter tegen een stootje kunnen. In opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer heeft Traffic Test voorliggend rapport opgesteld met daarin naast een nadere beschouwing van het fenomeen robuustheid ook voorbeelden van robuustheidvergrotenende maatregelen, die door de wegbeheerder kunnen worden toegepast.

Traffic Test is een onderzoeks- en adviesbureau, dat wil bijdragen aan effectief verkeers- en vervoersbeleid van overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties. Vanuit de invalshoeken 'gedrag', 'beleid' en 'verkeerskunde' staat de mens in het verkeer daarbij steeds centraal. Veel voorkomende werkzaamheden zijn enquête-onderzoek, beleidsevaluaties, praktijkexperimenten, literatuur-studies, methodiekontwikkeling, projectmanagement, detacheringen, panel-discussies en workshops.

Inhoudsopgave

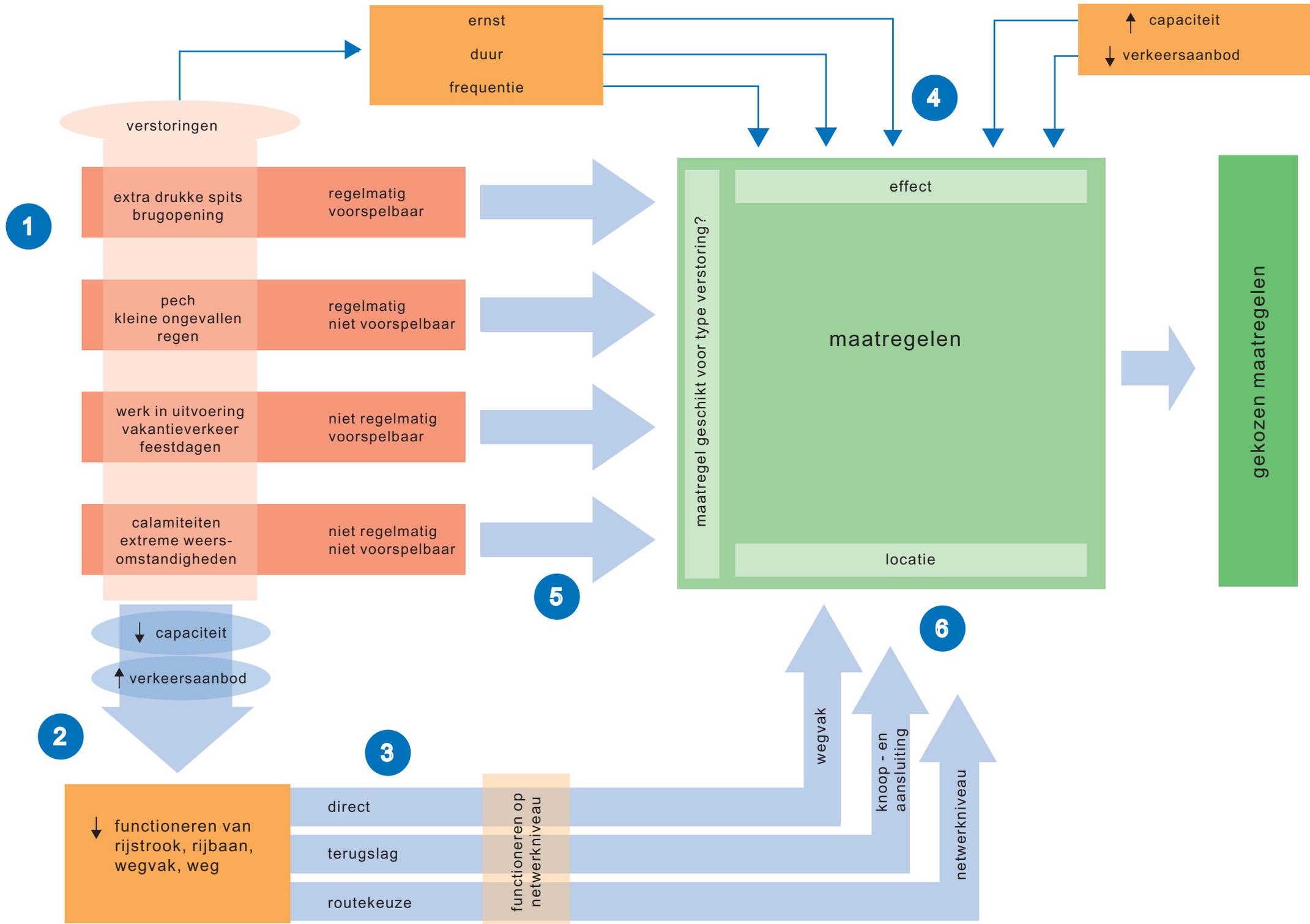
Samenvatting	1
1. Inleiding.....	3
1.1 Doelstelling en beperkingen.....	3
1.2 Werkgroep.....	4
1.3 Inhoud van het rapport.....	4
2. Robuustheid nader toegelicht	5
2.1 Inleiding.....	5
2.2 Robuustheid in verkeer en vervoer	5
2.3 Robuustheid en betrouwbaarheid	5
3. Analyse van verstoringen	7
3.1 Type Verstoringen op wegvakniveau.....	7
3.2 Verstoringen op netwerkniveau.....	9
3.3 Impact van verstoringen.....	10
3.4 Kwantificeren van verstoringen	14
4. Analyse robuustheid weginfrastructuur.....	16
4.1 Robuustheidvergotende maatregelen.....	16
4.2 Een kader voor robuustheidvergotende maatregelen op netwerkniveau	17
4.3 Maatregelen per verstoring	18
5. Voorbeelden robuustheidvergotende maatregelen	21
5.1 Inleiding.....	21
5.2 Verharde zijberm.....	22
5.3 Inzet van het OWN bij functieverlies op het HWN	23
5.4 Ontvlechten weefvak op knooppunt.....	25
5.5 Flexibele rijbaanindeling.....	27
5.6 Uitbouwen Incident Management	30
5.7 Verlengen uitvoegstrook	31
5.8 DRIP's en rijbaandosering	32
5.9 ZOAB.....	33
5.10 Afstemmen levensduur onderdelen infrastructuur	34
5.11 Overzicht van de voorbeelden van maatregelen	35
6. Literatuur.....	41

Bijlage 1 Totstandkoming definitie robuustheid

Bijlage 2 Filecijfers

Bijlage 3 Capaciteitswaarden bij werk in uitvoering

Bijlage 4 Noten bij maatregelen per verstoring



Samenvatting

Robuustheid en betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van de reistijd voor de weggebruiker is een belangrijk doel van het verkeersbeleid. Een betrouwbare reistijd voor de gebruiker vraagt om een robuust verkeerssysteem. Met robuustheid wordt de ongevoeligheid van het verkeerssysteem voor verstoringen bedoeld.

In dit inspiratieboek is gekeken naar verstoringen, en de mate waarin zij het verkeerssysteem op verschillende niveaus beïnvloeden. Aan de hand hiervan worden enkele voorbeelden aangegeven van maatregelen die dat systeem beter bestand maken tegen die verstoringen. Doel van dit inspiratieboek is om wegbeheerders op praktische ideeën te brengen om al dan niet gezamenlijk met andere partijen maatregelen te nemen ten einde het verkeerssysteem robuuster te maken.

Typen verstoringen

In dit rapport worden verstoringen onderscheiden naar:

- De regelmaat waarmee een verstoring voor komt.
- De mate waarin de verstoring voorspelbaar is.

In figuur 1 zijn de in dit rapport behandelde verstoringen hiernaar ingedeeld (zie nr. 1 in de figuur). In dit inspiratieboek wordt vooral ingegaan op de niet regelmatige en/of niet voorspelbare verstoringen.

Impact van verstoringen

Als een verstoring plaatsvindt, heeft dat gevolgen voor het functioneren van het verkeerssysteem (zie nr. 2 in de figuur). De verstoring zal in eerste instantie leiden tot:

- een verlaagde capaciteit, *of*;
- een verhoogd verkeersaanbod.

Hierdoor wordt in eerste instantie de verkeersafwikkeling beïnvloedt op het niveau van een rijstrook, rijbaan, wegvak of weg. In tweede instantie kan de verstoring op drie manieren doorwerken naar het netwerkniveau (zie nr. 3 in de figuur):

- Direct; het lagere niveau is een deel van het netwerk en het verminderde functioneren op dat niveau beïnvloedt dus de netwerkprestatie.
- Via teruglageffecten; de verstoring kan via aansluitingen en knopen de verkeersafwikkeling op andere netwerkelementen beïnvloeden.
- Via routekeuze effecten; de prestatie van het netwerk wordt beïnvloed doordat het verkeer zich bij een verstoring anders over het netwerk verdeelt.

Keuze van maatregelen

Als de verstoring leidt tot functieverlies van het netwerk moeten maatregelen genomen worden. De keuze voor een bepaalde maatregel hangt van een aantal zaken af:

- Het effect van de maatregel (nr. 4 in de figuur). Een maatregel kan de ernst, duur of frequentie van een verstoring verminderen dan wel de beschikbare capaciteit vergroten of het verkeersaanbod verkleinen. Al deze effecten kunnen een bijdrage leveren aan het opheffen van het functieverlies.
- De verstoring (nr. 5 in de figuur). Bij een bepaalde verstoring zullen bepaalde maatregelen helpen en andere niet. Sommige maatregelen kunnen bijvoorbeeld alleen bij niet regelmatige of alleen bij voorspelbare verstoringen worden ingezet.
- Het niveau waarop een maatregel genomen moet worden (nr. 6 in de figuur). Sommige maatregelen moeten worden genomen op netwerkniveau, andere zijn juist geschikt om terugslag problemen bij een aansluiting op te lossen.
- Kosten van de maatregel.

Voor een aantal voorbeelden van maatregelen is alle genoemde informatie alsmede een schets van de maatregel te vinden in hoofdstuk 5 vanaf pagina 21. Deze voorbeelden zijn bedoeld als inspiratie voor het opstellen van een set maatregelen die zorgt voor een robuust wegennet.

1. Inleiding

Het Nederlandse verkeerssysteem wordt steeds intensiever gebruikt. De jaarlijkse groei van het aantal autokilometers wordt slechts ten dele opgevangen door de aanleg van nieuwe of bredere wegen. Het gevolg is dat van de bestaande infrastructuur een steeds intensiever gebruik gemaakt. Met name in de spitsperiode is het gebruik zodanig intensief dat filevorming onvermijdelijk is. Files zijn voor de meeste weggebruikers dan ook de dagelijkse realiteit.

Weggebruikers weten waar ze de dagelijkse file problemen kunnen verwachten en over het algemeen wordt dat aardig ingecalculeerd bij het bepalen van de totale reistijd. Maar ons verkeerssysteem wordt steeds vaker gehinderd door kleine en grote maar vooral onverwachte verstoringen. Vroeger kon het systeem dergelijke verstoringen wel aan, er was genoeg restcapaciteit en de weggebruiker ondervond eigenlijk weinig hinder van een verstoring. Maar met de het steeds intensievere gebruik van het verkeerssysteem blijkt dat systeem minder goed tegen een stootje te kunnen. Het verkeerssysteem is niet robuust genoeg, maar bezwijkt te snel als er zich een verstoring voordoet.

Jaarlijks staan er zo'n 30.000 tot 35.000 files op onze wegen. Zo'n 80% wordt veroorzaakt door een structureel tekort aan voldoende capaciteit. De dagelijks terugkerende knelpunten in ochtend- en avondspits en de problemen die zich steeds vaker ook buiten de gekende spitsuren voordoen zijn bij de meeste weggebruikers bekend. Maar daarnaast wordt zo'n 20% van de files veroorzaakt door onverwachte situaties als ongevallen (12,5%), wegwerkzaamheden (5%) en overige omstandigheden, als evenementen, weersomstandigheden, etc (1,4%). Tot slot wordt bijna 1% veroorzaakt door kijkers op de andere rijbaan. Juist deze files veroorzaakt door onverwachte verstoringen maken het inschatten van de reistijd voor de weggebruiker lastiger. Om die reden vormen zij, gezien vanuit de weggebruiker, een relatief groter probleem dan de voorspelbare dagelijkse filevorming.

1.1 Doelstelling en beperkingen

Rijkswaterstaat heeft het idee opgepakt om naast het blijven werken aan benuttingmaatregelen en structurele capaciteitsuitbreidingen, ook werk te maken van het vergroten van de robuustheid van het wegennet.

Hiervoor moet wel een antwoord worden gegeven op de vragen wat we onder robuustheid verstaan, tegen welke verstoringen we het systeem bestand willen laten zijn en welke maatregelen hiervoor ingezet kunnen worden.

De doelstelling van dit project richt zich dan ook op een drietal aspecten:

- Een nadere analyse maken van het begrip robuustheid.
- Inzicht te geven in de soort en ernst van veel voorkomende verstoringen en maatregelen die kunnen helpen deze verstoringen aan te pakken.
- Ter inspiratie voorbeelden schetsten van maatregelen die op verschillende niveaus moeten leiden tot een robuuster verkeerssysteem.

De resultaten van dit project zijn in voorliggend document vastgelegd.

De wegbeheerders kunnen, mede met behulp van dit document, onderzoeken in hoeverre en met welke maatregelen de wegen in hun beheersgebied robuuster kunnen worden gemaakt. Daarbij kunnen de in dit document geschetste

voorbeelden als inspiratiebron dienen. Opgemerkt moet worden dat de gegeven lijst met voorbeelden niet compleet is. Dit document heeft zich beperkt tot enkele voor de hand liggende en merendeels op korte termijn realiseerbare maatregelen.

1.2 **Werkgroep**

Aan Traffic Test is opdracht gegeven om dit project uit te voeren en een 'Inspiratieboek Robuustheid' te vervaardigen.

Bij de totstandkoming van dit document is intensief samengewerkt met de leden van de werkgroep, die als volgt was samengesteld:

- Mevr. ing. L. Molenkamp (AVV)
- Dhr. ir. B.A. Schenk (AVV)
- Dhr. ing. A.A.P.M. van Loon (AVV)
- Dhr. ir. J.R.C. de Vries (AVV)
- Dhr. ing. E. Klem (Traffic Test)
- Dhr. ir. M. Barten (Traffic Test)

1.3 **Inhoud van het rapport**

Het volgende hoofdstuk gaat nader in op het begrip robuustheid. Wat komen we tegen in de nationale in internationale literatuur en welke praktische vergelijkingen dringen zich op om duidelijk te maken wat we met een robuust systeem bedoelen en welke conclusies kunnen we hieruit trekken.

Vervolgens hebben we in hoofdstuk 3 de diverse soorten verstoringen die tot (geregistreerde) filehinder leiden, nader onder de loep genomen. In relatie tot mogelijk te nemen maatregelen levert dit enkele interessante conclusies op.

Hoofdstuk 4 bevat deels de aanpak die kan worden gehanteerd om tot ideeën over robuustheidvergrotenende maatregelen te komen. Hoe bepaal je of een wegvak, weg of netwerk robuust is? Welke maatregelen zijn er mogelijk? Kan ook een pakket van maatregelen worden ingevoerd en wat zijn de organisatorische aspecten waar op gelet moet worden?

In hoofdstuk 5 hebben we van 10 mogelijke maatregelen schetsen gemaakt en is een korte toelichting op de maatregel gegeven.

2. Robuustheid nader toegelicht

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaan we in op wat we onder robuustheid verstaan. In het dagelijks spraakgebruik betekent robuust, dat "iets tegen een stootje kan". De term robuust wordt gebruikt door producenten om aan te geven dat een 'product' toekomstbestendig is, stabiel is of bestand is tegen negatieve invloeden. Door de term robuust te gebruiken probeert men duidelijk te maken naar de gebruiker dat een product betrouwbaar is. Het product is robuust, dus het kan een stootje hebben, zonder dat er sprake is van functieverlies. De klant mag er op vertrouwen dat het product, bij 'normaal gebruik', onder nagenoeg alle omstandigheden zal functioneren en zijn kwaliteit zal behouden.

2.2 Robuustheid in verkeer en vervoer

Voor robuustheid worden veel definities gehanteerd. In deze rapportage wordt gewerkt met de volgende definitie:

Robuustheid wordt gedefinieerd als de ongevoeligheid voor verstoringen op rijstrook, rijbaan, wegvak, weg of netwerkniveau, inclusief de inrichting en uitrusting ervan, zodat de functie behouden blijft. De functie is beleidsafhankelijk en kan variëren, bijvoorbeeld de mate van betrouwbaarheid en kan mogelijk ook differentiëren naar doelgroepen. In bredere context omvat de robuustheid alle elementen van netwerkmanagement, dus inclusief bijvoorbeeld Incidentmanagement en informatievoorziening.

Essentieel in de definitie is de relatie tussen verstoring en functie. Een verstoring beïnvloedt de afwikkeling van het verkeer en daarmee het functioneren van het verkeerssysteem. Niet iedere verstoring zal het functioneren zodanig beïnvloeden dat het systeem niet meer op het beleidsmatig verlangde minimum niveau kan functioneren. De mate waarin het systeem ondanks de verstoring op dit minimum niveau (of daarboven) blijft functioneren bepaalt of het systeem robuust genoeg is. Leidt de verstoring ertoe dat het systeem onder dit niveau functioneert dan spreken we over functieverlies. In dat geval is het systeem niet robuust genoeg.

2.3 Robuustheid en betrouwbaarheid

In de definitie van robuustheid wordt gesproken over de functie van het systeem. Een belangrijke vraag is hoe we de functie van ons wegennet definiëren. In eerste instantie kunnen we kort zijn over de functie. De infrastructuur is aangelegd om het verkeer af te wikkelen.

De volgende vraag die gesteld kan worden is, op welke kwaliteitsniveau de afwikkeling moet plaatsvinden. Oftewel, wat verwachten we van ons verkeerssysteem als het gaat om de kwaliteit van afwikkelen. Van der Loop (van der Loop, 2004) gaat in op de betrouwbaarheid van de reistijd. Vertragingen zijn acceptabel zolang ze voor de gebruiker maar te voorzien zijn, hoewel natuurlijk ook voorzienbare vertragingen niet eindeloos mogen blijven oplopen. Niet zozeer het reistijdverlies maar de spreiding in reistijden rond de geschatte reistijd moet worden aangepakt. Als een van de oorzaken van een onbetrouwbare reistijd noemt Van der Loop de kwetsbaarheid van het netwerk. We zouden ook van onvoldoende robuust kunnen spreken.

Ook Immers (Immers, Snelder, Wilmink, 2004) koppelt de begrippen robuustheid en betrouwbaarheid en beschouwt daarbij robuustheid als een producenteterm en betrouwbaarheid als een consumenteterm. De aanbieder van het systeem wil zijn systeem zo inrichten dat het verkeer wordt afgewikkeld ondanks verstoringen. Betrouwbaarheid daarentegen is veel meer een consumentenbegrip. De gebruiker wil er op kunnen vertrouwen dat hij op een vooraf ingeschat tijdstip na een veilige en comfortabele verplaatsing aan kan komen op de plek van de bestemming. De functie van het systeem heeft derhalve een sterke relatie met de manier waarop de wegbeheerder en de gebruiker tegen het gebruik aankijken. Wat verstaat de wegbeheerder onder de functie en wat denkt de gebruiker?

- Functie vanuit de wegbeheerder. Afwikkelen van verkeer op een veilige wijze met een bepaalde normsnelheid. Op netwerkniveau zal de wegbeheerder kijken naar de netwerkprestatie met indicatoren zoals voertuigverliesuren, gemiddelde reistijd van een aantal routes.
- Functie vanuit de gebruiker. Afwikkelen van verkeer op een veilige wijze en met een snelheid die overeenkomt met de op die plaats en die tijd verwachte snelheid. Hierbij wordt in de spits rekening gehouden met extra reistijd, doordat er op sommige plaatsen door congestievorming langzamer wordt gereden. De weggebruiker houdt echter weinig tot geen rekening met extra reistijd door bijvoorbeeld regenval.

De gebruiker wijdt de dagelijkse structurele file dus niet aan het niet robuust zijn van het verkeerssysteem, maar aan het niet beschikken over voldoende capaciteit om het te verwachte verkeersaanbod te kunnen verwerken. Zolang dit tot inschatbare reistijdverliezen leidt zal hij het systeem niet als onbetrouwbaar beoordelen. We kunnen hier een verbinding maken met de indeling van verstoringen naar regelmaat en voorspelbaarheid. De gebruiker zal rekening houden met de regelmatige en voorspelbare verstoringen. Reistijdverliezen veroorzaakt door die regelmatige en voorspelbare verstoringen zullen door de gebruiker niet als onbetrouwbaarheid van het systeem worden gezien.

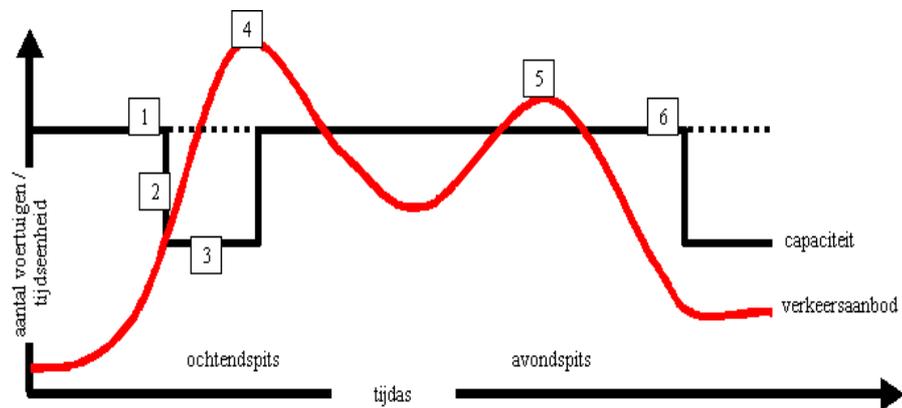
Concluderend kan gesteld worden dat er functieverlies optreedt wanneer de gebruiker te maken heeft met een onbetrouwbare reistijd. Voor de praktijk betekent dit dat reistijdverliezen acceptabel zijn zolang ze voor de weggebruiker voorspelbaar zijn. Een dagelijkse ochtendspitsfile die iedere dag ongeveer dezelfde lengte heeft, hoeft dus niet bij te dragen aan een onbetrouwbaar systeem. Onverwachte reistijdverliezen zijn voor de weggebruiker niet of minder acceptabel. Deze constatering geven de wegbeheerder een aanknopingspunt om te bepalen wanneer er sprake is van functieverlies.

3. Analyse van verstoringen

3.1 Type Verstoringen op wegvakniveau

In het vorige hoofdstuk is ingegaan op de vraag wat robuustheid is. Vastgesteld is dat verstoringen leiden tot verminderd functioneren.

Een verstoring kan worden gezien als een reductie van de capaciteit of een verhoging van het verkeersaanbod. Wordt door de verstoring het verkeersaanbod hoger dan de capaciteit dan leidt dit over het algemeen tot filevorming met de bijbehorende reistijdverliezen. Een en ander is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1

De figuur geeft de capaciteit (zwarte lijn) en het verkeersaanbod (rode lijn) weer. Zolang de capaciteit boven het verkeersaanbod blijft treedt er geen functieverlies op. In de figuur zijn een aantal situaties te onderscheiden:

1. Er treedt een verstoring op. De capaciteit wordt lager.
2. De mate van capaciteitsvermindering noemen we de ernst van een verstoring. In de figuur is dit de afstand tussen de gestippelde lijn die het basisniveau van de capaciteit aangeeft en de capaciteit gedurende de verstoring.
3. Na enige tijd herstelt de capaciteit. De tijd dat de capaciteit lager was dan het basisniveau noemen we de duur van de verstoring.
4. Tijdens de ochtendspits was het verkeersaanbod ook zonder verstoring boven de capaciteit uitgekomen. Het verschil tussen verkeersaanbod en de capaciteit bestaat dus uit twee delen. Een deel regelmatige en voorspelbare verstoring veroorzaakt door de spitsdrukke en een deel veroorzaakt door een onregelmatige verstoring van de capaciteit. Met het eerste deel zal de gebruiker rekening houden met het tweede niet. In het kader van robuustheid moet alleen dit tweede deel opgevangen worden.
5. Hier nogmaals hetzelfde reguliere effect in de avondspits. Omdat er alleen sprake is van een regelmatige en voorspelbare verstoring spreken we niet over functieverlies.
6. Hier treedt een verstoring op zonder functieverlies. De capaciteit is gereduceerd maar nog steeds hoger dan het verkeersaanbod. Het is niet nodig om maatregelen te nemen.

Deze verstoringen reduceren allemaal de capaciteit. Een verstoring kan ook leiden tot een hoger verkeersaanbod. Voorbeelden zijn vakantiedrukke, een bijzonder evenement of verkeer dat uitwijkt vanwege een verstoring op een ander wegvak.

Verstoringen kunnen dus leiden tot:

- Een capaciteitsreductie. De verstoring is bijvoorbeeld regen.
- Een verhoging van het verkeersaanbod. De verstoring is bijvoorbeeld vakantieverkeer.

Kijken we specifiek naar de verstoring dan zijn we drie kenmerken van een verstoring tegengekomen:

- De frequentie van de verstoring en de kans dat de verstoring optreedt (nr. 1 in de figuur); hoe vaak komt die verstoring voor?
- De ernst van de verstoring (nr. 2 in de figuur); hoe groot is de verandering van de capaciteit of intensiteit?
- De duur van de verstoring (nr. 3 in de figuur); wanneer zijn intensiteit en capaciteit weer terug op de "normale" waarde?

De frequentie van en kans op een verstoring hebben te maken met de regelmaat en de voorspelbaarheid van de verstoring. Voor iedere verstoringen vragen we ons af:

- Treedt de verstoring regelmatig op?
- Is de verstoring voorspelbaar?

Bovenstaande indeling van verstoringen is samengevat in Tabel 1.

Tabel 1

	Regelmatig		Niet-regelmatig	
Voorspelbaar	verlaagde capaciteit	verhoogde intensiteit	verlaagde capaciteit	verhoogde intensiteit
Niet-voorspelbaar	verlaagde capaciteit	verhoogde intensiteit	verlaagde capaciteit	verhoogde intensiteit

Weggebruikers kunnen rekening houden met reistijdverliezen veroorzaakt door een verstoring wanneer zij deze verstoring kunnen voorzien. Een voorspelbare, regelmatige verstoring leidt dus tot minder snel tot een onbetrouwbaar systeem. Er hoeft van een robuust systeem daarom niet verwacht te worden dat het bestand is tegen regelmatige en voorspelbare verstoringen.

Verstoringen kunnen ook zo bijzonder zijn, dat het de vraag is of een systeem daar wel tegen bestand moet zijn. Als door een aardbeving de A1 zwaar wordt beschadigd, dan zal niemand daar raar van opkijken of roepen dat de weg niet robuust genoeg is. Wanneer bij 20^o C het asfalt echter smelt, dan wordt dit wel beschouwd als zijnde onvoldoende robuust.

We zullen ons dus beperken tot verstoringen die met enige regelmaat kunnen voorkomen en waartegen het systeem dus bestand zou moeten zijn en verstoringen die voorspelbaar en regelmatig zijn buiten beschouwing laten.

3.2 Verstoringen op netwerkniveau

Een verstoring zal in eerste instantie optreden op wegvakniveau. Daar gebeurt immers het ongeval of vinden de werkzaamheden plaats. Ook verstoringen door vakantieverkeer of regen zullen eerst op wegvakniveau tot een verminderde afwikkeling leiden. De verstoringen op wegvakniveau werken vervolgens op drie wijzen door naar netwerkniveau.

- Direct, het wegvak is een deel van het netwerk en beïnvloed dus de netwerkprestatie.
- Via voortplantingseffecten, verstoringen kunnen leiden tot filevorming die ook andere wegvakken blokkeert. Met name de filelengte is van belang om na te gaan of er terugslag ontstaat.
- Via routekeuze effecten, verkeersdeelnemers die op de hoogte zijn van de verstoring kunnen hierop anticiperen.

Willen we vaststellen of er sprake is van functieverlies op netwerkniveau dan krijgen we te maken met twee problemen:

1. Er moet een maat zijn voor het functioneren van een netwerk en een referentieniveau ten opzichte waarvan functieverlies kan worden vastgesteld.
2. De drie genoemde wijzen waarop een verstoring doorwerkt op netwerkniveau moeten worden gekwantificeerd.

Het eerste probleem heeft te maken met het feit dat het functioneren van een netwerk minder eenvoudig is vast te stellen dan dat van een wegvak. Een aantal zaken spelen hierbij een rol:

- Er kan niet worden gesproken over de capaciteit van een netwerk. Het aantal voertuigen dat maximaal kan passeren is immers afhankelijk van de herkomsten en bestemmingen en de gekozen routes. Het functioneren van een netwerk wordt doorgaans aangeduid met de grootte netwerkprestatie. Deze netwerkprestatie wordt meestal gemeten met een aantal indicatoren zoals voertuigverliesuren, voertuigkilometers of de netwerksnelheid. Veelal zullen deze indicatoren gerelateerd zijn aan de beleidsdoelen waar de netwerkbeheerder mee werkt.
- Een netwerk kent verschillende gebruikers en infrastructuur elementen kunnen deel uitmaken van netwerken op verschillende niveaus. Een knooppunt kan bijvoorbeeld deel uitmaken van een lokaal, regionaal, nationaal en/of internationaal netwerk. Een bepaalde verstoring kan op lokaal niveau tot functieverlies op netwerkniveau leiden terwijl op nationaal niveau het verkeer omgeleid kan worden en er geen sprake is van functieverlies. Eenzelfde verhaal geldt voor verschillende groepen gebruikers.
- Meer dan op wegvakniveau is het minimum afwikkelingsniveau als maat voor functieverlies een keuze. Het bepalen van een referentieniveau waarop het netwerk minimaal moet presteren is een beleidsvraag.

Voordat op netwerkniveau dus over functieverlies gesproken kan worden moet eerst het volgende bekend zijn:

- De doelen van netwerkbeheerder.
- Een bijpassende definitie van de netwerkprestatie.
- Een set meetbare indicatoren.
- Een referentieniveau waarop het netwerk presteert ten opzichte waarvan functieverlies kan worden waargenomen. In de spits zal dit niveau andere waarden hebben dan midden op de dag.

Bij de definiëring van het begrip robuustheid in hoofdstuk 2 is al gesteld dat de vraag wanneer de reistijd nog als betrouwbaar wordt gezien door de weggebruiker richtinggevend kan zijn bij het bepalen van een referentieniveau.

Het tweede probleem gaat in op het vaststellen van het effect van een verstoring op de te kiezen indicatoren. Per wijze waarop een verstoring doorwerkt op netwerkniveau kan dit op de volgende manier gebeuren:

- Het directe effect. Dit effect kan op eenzelfde wijze in kaart worden gebracht als in de wegvak situatie uit paragraaf 3.1.
- Voortplantingseffecten. Met name de filelengte is van belang om na te gaan of er terugslag ontstaat. Gegevens uit de praktijk, eenvoudige berekeningen of een verkeersmodel dat op de één of andere manier wachtrijen modelleert kunnen hierbij behulpzaam zijn.
- Routekeuze effecten. Zowel met behulp van verkeersmodellen als praktijkgegevens kan dit effect worden bekeken. Routekeuze is lastig te voorspellen, zeker in incidentele of nieuwe situaties.

De invloed van verstoringen op het functioneren van een netwerk vraagt dus om beleidsmatige keuzes en een uitgebreide analyse. De robuustheidsscan (Molenkamp en Visser, 2004) is een eerste middel dat behulpzaam kan zijn bij zo'n analyse. Deze scan kent als input het verkeerssysteem en de verstoringen en als output de mate van functieverlies en de knelpunten van het systeem bij het oplossen van dat functieverlies. Bij het uitwerken van het begrip robuustheid zullen de komende tijd ongetwijfeld nog meer van dergelijke middelen worden ontwikkeld.

3.3 Impact van verstoringen

In deze paragraaf willen we voor een aantal verstoringen kwantitatief proberen de impact op de verkeersafwikkeling aan te geven. Daartoe wordt gekeken naar filecijfers en enige literatuur waarin filecijfers en meteorologische data is geanalyseerd. Het is daarbij van belang om te realiseren dat een verstoring wat anders is dan een file. Een file is het gevolg van een verstoring die zodanig ernstig is dat hij tot geregistreerd functieverlies leidt. Het is daarom een maat voor de impact van verstoringen.

In deze paragraaf proberen we een tweetal vragen te beantwoorden:

- Hoe vaak leidt een verstoring tot filevorming?
- Hoe zwaar zijn de files bij een bepaald type verstoring?

3.3.1 Aantal files en filezwaarte naar oorzaak

In deze subparagraaf wordt per fileoorzaak gekeken naar het aantal files en de filezwaarte. Daartoe is gebruik gemaakt van bestanden met filegegevens van AVV van de jaren 2001, 2002 en 2003.

Het idee is dat de fileoorzaak overeenkomt met de verstoringen en het aantal files en de filezwaarte met respectievelijk de frequentie en de ernst van de verstoring. Het aantal files veroorzaakt door een verstoring geeft immers aan hoe vaak die verstoring voorkomt in een vorm die ernstig genoeg is om tot geregistreerd functieverlies te leiden. Het aantal files is dus sterk gerelateerd aan de frequentie van een verstoring. De filezwaarte is een combinatie van de ernst van een verstoring en de duur van een verstoring. De filezwaarte is het product van de filelengte en de fileduur.

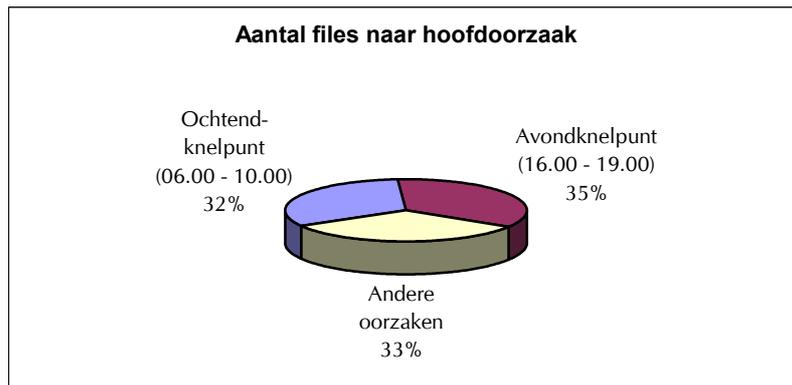


Diagram 1

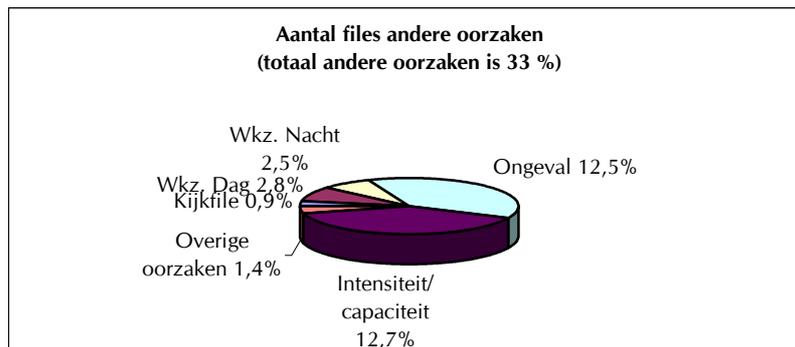


Diagram 2 ¹



Diagram 3

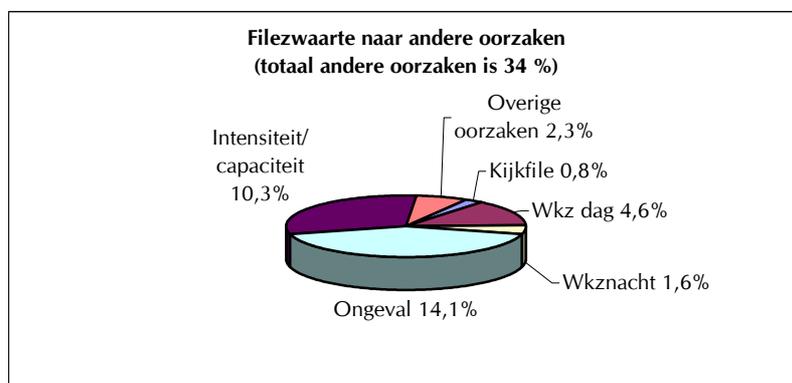


Diagram 4 ²

¹ Het Diagram is een uitsplitsing van "andere oorzaken" in Diagram 1.

² Het Diagram is een uitsplitsing van "andere oorzaken" in Diagram 3.

In tabel 2 zijn de filegegevens van 2001 t/m 2003 gesommeerd weergegeven als percentage per oorzaak. In bijlage 2 zijn ook de gegevens per jaar alsmede een meer uitgebreide analyse te vinden.

Tabel 2 Aantallen files en filezwaarte naar oorzaak (Bron: AVV).

code	omschrijving oorzaak	aantal files als percentage van het totaal	filezwaarte als percentage van het totaal
0	Kijkfile	0,9	0,8
1	Wegwerkzaamheden overdag (07.00 - 19.00)	2,8	4,6
2	Wegwerkzaamheden 's nachts (19.00 - 07.00)	2,5	1,6
3	Ongeval	12,5	14,1
4	Intensiteit/capaciteit (knelpunt buiten de spits)	12,7	10,3
5	Ochtendknelpunt (06.00 - 10.00)	32,3	29,3
6	Avondknelpunt (16.00 - 19.00)	34,9	37,1
7	Overige oorzaken (weer, evenementen, vakantie)	1,4	2,3

Uit Tabel 2 en Diagram 1 kunnen we afleiden dat het grootste deel van het aantal files (67,2%) en de filezwaarte (66,4%) wordt veroorzaakt door de dagelijkse ochtend- en avondknelpunten. Dit mag als voor de hand liggend worden verondersteld. Eén derde deel van de files heeft dus andere oorzaken, zie Diagram 2.

Ongevallen dragen voor 12,5% bij aan het totaal aantal files. De invloed van wegwerkzaamheden lijkt beperkt (2,8% overdag en 2,5% 's nachts). Opvallend is dat 12,7% van alle files buiten de, in de databestanden gehanteerde spitsuren wordt veroorzaakt door structurele capaciteitsproblemen. Slechts 1,4% van alle files heeft als kenmerk 'overige oorzaken'. Hieronder vallen de weersomstandigheden, evenementen en vakantieverkeer. Met name van weersomstandigheden zou een grotere invloed mogen worden verwacht.

In Diagrammen 3 en 4 is de filezwaarte naar oorzaak weergegeven. Diagram 3 geeft de verdeling naar de belangrijkste oorzaken, namelijk de ochtend- en avondknelpunten en de andere oorzaken. Deze andere oorzaken zijn in Diagram 4 uitgesplitst.

Wegwerkzaamheden en 'overige oorzaken' hebben, gezien het aantal files met deze oorzaken, relatief veel invloed op de filezwaarte. Het percentage files dat door 'wegwerkzaamheden overdag' worden veroorzaakt, namelijk 2,8%, draagt voor 4,6% bij aan de filezwaarte. Wegwerkzaamheden die 's nachts' worden uitgevoerd dragen voor een vergelijkbaar percentage bij aan het aantal files (2,5%) maar hun invloed op de filezwaarte is veel minder groot, namelijk 1,6%. Files, veroorzaakt door overige gebeurtenissen, zoals weersomstandigheden en evenementen, dragen 'slechts' voor 1,4 % bij aan het aantal files, maar voor 2,3% aan de filezwaarte.

De gedachte over robuustheid en daaraan gekoppeld de betrouwbaarheid, leiden tot de constatering dat deze 2 categorieën en dan met name de grote uitschieters een negatieve invloed hebben op de betrouwbaarheid van het systeem. Voor deze uitschieters is het systeem te weinig robuust.

Bij de gegevens moet op een aantal plaatsen een voorbehoud gemaakt worden:

Relatie tussen fileoorzaak en capaciteitsreductie is onbekend

Tot op heden zijn geen gegevens gevonden die iets zeggen over de impact van een verstoring op de verkeersafwikkeling in de zin van mate van capaciteitsverlies. Wel is de filezwaarte bekend, (tijdsduur en lengte), maar het aantal rijstroken dat tijdelijk geheel of gedeeltelijk geblokkeerd is geweest is niet geregistreerd. Navraag bij het Traffic Information Centrum leert dat dit bij de filevermeldingen wel in de mondelinge toevoeging op de radio wordt vermeld, maar dat deze data verder niet wordt vastgelegd. Als door een ongeval er één en tijdens de ongevalafhandeling misschien zelfs twee rijstroken zijn geblokkeerd, dan zou het zinvol zijn deze tijdstippen te registreren en te relateren aan de fileomvang.

Alleen de hoofdoorzaak van een file wordt geregistreerd

Een geregistreeerde file krijgt als oorzaak de hoofdoorzaak toegewezen. Een spitsfile die normaal 2 uur duurt, maar door regenval 3 ½ uur duurt, wordt toegewezen aan de ochtendspits. Het feit dat er gedurende 1 ½ uur een file staat die er bij droog weer niet zou zijn, wordt niet geregistreerd. Eenzelfde verhaal geldt voor een ongeval of brugopening. In sommige gevallen zal de gebeurtenis die het laatste zetje geeft helemaal niet worden geregistreerd, bijvoorbeeld bij een pechgeval op de vluchtstrook. Al met al bestaat het vermoeden dat in ieder geval de filezwaarte maar ook wel het aantal files dat veroorzaakt wordt door onregelmatige of onvoorziene gebeurtenissen aanzienlijk groter is dan de gegevens doen vermoeden. Dit is temeer een probleem omdat juist de variatie in files in de spitsperiode een groot gedeelte van de onbetrouwbaarheid veroorzaakt. Voor het robuuster maken van het systeem is het dus gewenst meer inzicht te hebben in de oorzaken van deze variatie. Voor wat betreft de verstoringen door weersinvloeden wordt hier in de volgende subparagraaf op teruggekomen.

Files zijn iets heel anders dan reistijdverliezen

Alleen files langer dan 2 km worden geregistreerd. Ook een afwikkelingsniveau waarbij het verkeer nog wel doorstroomt maar op een duidelijk lagere snelheid wordt niet geregistreerd. Deze situaties beïnvloeden de reistijd aanzienlijk. Het is op voorhand niet te zeggen welke verstoringen relatief veel van deze reistijdverliezen veroorzaken. Gegevens over reistijdverliezen zijn geanalyseerd door van der Loop (van der Loop, 2004).

3.3.2 Verstoringen door weersomstandigheden

De filecijfers bevatten weinig informatie over de invloed van weersomstandigheden. Alleen onder de 'overige oorzaken' worden weersinvloeden geregistreerd. Deze 'overige oorzaken' veroorzaken 1,4% van het aantal files en 2,3% van de filezwaarte. Dit lijkt erg weinig. Maar er is nog een manier om naar de invloed van weersinvloeden op filevorming te kijken. Namelijk door gebruik te maken van meteorologische data en filegegevens. Daarbij wordt gekeken welk deel van de filevorming verklaard kan worden uit bepaalde weersomstandigheden. In deze subparagraaf worden een drietal studies besproken waarin een dergelijke analyse is verricht. In 2004 is in opdracht van AVV een modelstudie gedaan naar de invloed van het weer op de filezwaarte in de jaren 1999 tot en met 2003 (Aeolis Forecasting Services, 2004). Ten opzichte van de filezwaarte bij een neutraal weerbeeld is de filezwaarte tussen de 12% en 23% hoger. Dit deel van de filezwaarte is dus toe te schrijven aan weersinvloeden. Het verschil tussen 12% en 23% wordt veroorzaakt door de variatie van jaar tot jaar. Met een correlatiecoëfficiënt van 0,96. wordt een groot

gedeelte van de geregistreerde filezwaarte door het model verklaard. De uitkomsten lijken dus behoorlijk betrouwbaar.

Kraay en Van de Hee (Kraay en Van de Hee, 2004) hebben gekeken naar de invloed van het weer op het verkeer. Een aantal conclusies:

- In Nederland regent het 6% van de tijd.
- Tijdens regen gebeurt 15% van het totaal aantal ongevallen met doden en gewonden.
- Lichte regen leidt op ZOAB tot een capaciteitsafname van 5% op DAB tot een afname van 8%. Zware regen en winterse neerslag leidt tot grotere capaciteitsvermindering.
- Bij mist daalt het verkeersaanbod met 10 tot 20%.
- Regen heeft geen invloed op het verkeersaanbod.

Door Meteo Consult is ook gekeken naar de invloed van het weer op de verkeersafwikkeling (Geuze e.a. , 1998).

Meteo Consult noemt een aantal weersomstandigheden die kunnen leiden tot capaciteitsreductie. Dit zijn:

- Mist
- Neerslag
- Gladheid
- Felle zon
- Veel wind

Voor deze omstandigheden wordt in het artikel de reductie van de capaciteit afgeleid.

- Lichte neerslag leidt tot een capaciteitsafname van 3 tot 8%.
- Hinderlijke neerslag (matige regen, zware regen of winterse neerslag) leidt tot een capaciteitsafname van 2 tot 18%.
- Mist lijkt het rijgedrag (en daarmee de capaciteit) slechts bij zichtwaarden beneden 300 meter te beïnvloeden).
- Laagstaande zon leidt niet tot capaciteitsvermindering. In combinatie met andere factoren (zout op de weg, nat wegdek) kan het wel leiden tot een extra capaciteitsafname.

Al met al lijkt het reëel om bij lichte regen uit te gaan van een capaciteitsreductie van 3% tot 5% bij ZOAB en 3% tot 8% bij DAB. Bij zwaardere neerslag kan dit oplopen tot 18%. Deze gegevens zijn als input gebruikt voor Tabel 3 waar per verstoring de reductie van de capaciteit is weergegeven.

3.4 Kwantificeren van verstoringen

Om na te gaan of door een verstoring het functioneren van een systeem zodanig wordt aangetast dat we van functieverlies kunnen spreken moeten we weten hoe groot de ernst van een verstoring is (zie Figuur 1 met toelichting). Dit betekent dat de verstoring gekwantificeerd moet worden.

In paragraaf 3.1 is gesteld dat verstoringen invloed kunnen hebben op de capaciteit en het verkeersaanbod. Als we de ernst van een verstoring willen kwantificeren dan moeten we dus voor iedere verstoring weten in hoeverre verkeersaanbod en capaciteit veranderen ten gevolge van de verstoring.

In Tabel 3 is voor iedere verstoring de geschatte reductie van de capaciteit gegeven. Verstoringen die aangrijpen op het verkeersaanbod zijn wel opgenomen in Tabel 3 maar niet gekwantificeerd. De reden hiervoor is dat deze verstoringen per situatie zodanig verschillen dat er geen algemene uitspraken over te doen zijn.

Verkeersaanbod en capaciteit zijn fundamenteel anders als het gaat om het inschatten van verstoringen. In het geval van de capaciteit is de inrichting van de weg bepalend. Een 2x2 strooks autosnelweg zal een bepaalde capaciteit hebben. Wordt bij werkzaamheden een strook afgesloten dan gaat daar een zeker percentage vanaf. Het is niet te verwachten dat bijvoorbeeld de A9 of A7 in dit opzicht veel zullen verschillen.

*Een verstoring van het verkeersaanbod is een ander verhaal. De mate van verhoging van het verkeersaanbod is in iedere situatie verschillend. Het is weinig zinvol om in kwantitatieve zin te spreken van **de** vakantiedrukte. De toename van het verkeersaanbod op de A12 tussen Arnhem en de Duitse grens is in die situatie namelijk van een totaal andere orde als op de A4 tussen Den Haag en Leiden. De invloed van verstoringen die aangrijpen op het verkeersaanbod moet dus per situatie worden geschat op basis van historische gegevens of een vraagvoorspellend model.*

4. Analyse robuustheid weginfrastructuur

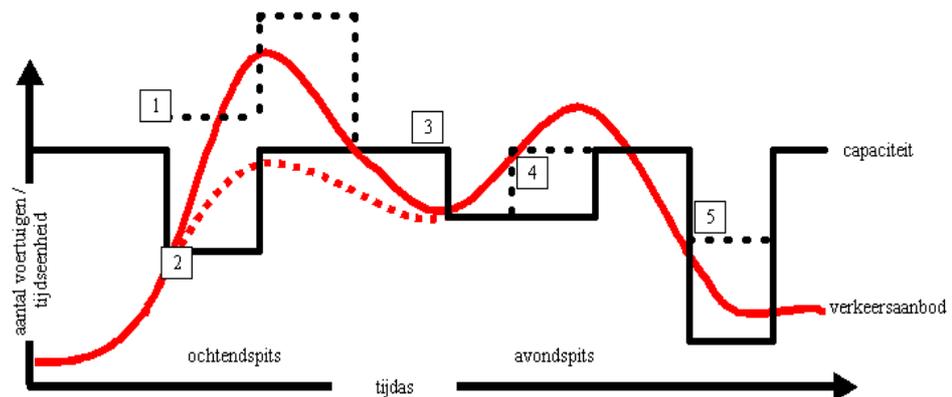
4.1 Robuustheidvergrotenende maatregelen.

In hoofdstuk 2 en 3 is gekeken naar verstoringen en de wijze waarop die verstoringen leiden tot functieverlies. Als er functieverlies optreedt kan er naar maatregelen gezocht worden om dat functieverlies op te heffen. In hoofdstuk 5 worden een aantal maatregelen gepresenteerd. Voorliggend hoofdstuk gaat in op de typen maatregelen en de wijze waarop zij functieverlies kunnen beperken of op kunnen heffen.

In Figuur 1 (paragraaf 3.1) is de invloed van verstoringen op capaciteit en verkeersaanbod nagegaan. Evenals de manier waarop dat leidt tot functieverlies. Onderstaande figuur is een uitbreiding van Figuur 1 uit paragraaf 3.1. In deze figuur zijn de mogelijke maatregelen om functieverlies op te heffen schematisch weergegeven. Er zijn twee typen maatregelen te onderscheiden:

- Maatregelen die het verkeersaanbod verlagen of de capaciteit verhogen.
- Maatregelen die de verstoring beperken.

Beide typen zijn in de figuur terug te vinden.



Figuur 2

Maatregelen die invloed hebben op de capaciteit of het verkeersaanbod

Functieverlies kan worden beperkt door het (tijdelijk) verhogen van de capaciteit of het reduceren van het verkeersaanbod. Dit kan zowel op het wegvak waar de verstoring optreedt als op andere plekken in het netwerk.

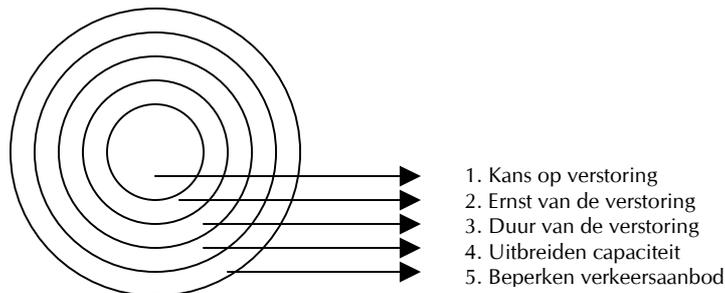
1. Het verhogen van de capaciteit (nr. 1 in de figuur). In de figuur neemt de beheerder een maatregel waardoor op het moment van de verstoring elders meer capaciteit wordt aangeboden. De verstoring op zich is niet verholpen maar de functie is wel weer hersteld. Nadat de verstoring verdwenen is, kan de maatregel weer worden uitgeschakeld en is de capaciteit weer terug op het basisoniveau.
2. Een afname van het verkeersaanbod (nr. 2 in de figuur). In de figuur is te zien dat op het moment van de verstoring een maatregel wordt genomen die het verkeersaanbod reduceert (weergegeven met de rode stippellijn). Resultaat is dat ondanks de verstoring er niet meer functieverlies optreedt dan normaal tijdens de ochtendspits. De gebruiker zal spreken over een betrouwbaar systeem omdat de reistijd gelijk is aan het gebruikelijke.

Maatregelen die de verstoring beperken:

Daarnaast kan functieverlies worden voorkomen of verholpen door de verstoring zelf aan te pakken.

3. Een afname van de kans op een verstoring (nr. 3 in de figuur). Het aanleggen van pechhavens bij een spitsstrook maakt de kans kleiner dat een voertuig met pech een rijstrook blokkeert. De kans kan ook naar nul gebracht worden, door bijvoorbeeld een brug te vervangen door een aquaduct.
4. Een afname van de duur van een verstoring (nr. 4 in de figuur). Door bij een ongeval incident management toe te passen kan de weg sneller vrijgemaakt worden dan wanneer dit niet wordt gedaan.
5. Een afname van de ernst van een verstoring (nr. 5 in de figuur). Bij regen is de capaciteitsreductie van een strook met ZOAB kleiner dan die van een strook met DAB. De verstoring blijft maar de ernst wordt minder.

Van binnen naar buiten:



Er zijn vijf manieren om een verstoring aan te pakken. Bij het bedenken van maatregelen werkt men van binnen naar buiten. Uitgangspunt is om als eerste te proberen het probleem zelf aan te pakken. Dit biedt de meeste garanties dat het probleem daadwerkelijk is opgelost. We pakken hiertoe de kans op een verstoring aan. Als dat niet goed mogelijk is kunnen we proberen de ernst en duur te beperken. Als de verstoring zelf een gegeven is wordt gekeken naar een capaciteitsuitbreiding of een reductie van het verkeersaanbod.

Een aquaduct als maatregel bij de verstoring “brugopening” is een voorbeeld van een maatregel waarbij het probleem zelf wordt aangepakt. Bij bijvoorbeeld regen is dat niet mogelijk. Wel kan bij regen door een goede afwatering de ernst van het probleem worden beperkt.

De uiteindelijk te kiezen maatregel hangt dus sterk af van het specifieke karakter van de verstoring en het oplossende vermogen (specifiek of generiek) van de maatregel.

4.2

Een kader voor robuustheidvergrotenende maatregelen op netwerkniveau

In de vorige paragraaf is een indeling gemaakt naar het effect van een bepaalde maatregel. Het is echter ook mogelijk robuustheidvergrotenende maatregelen in te delen naar het infrastructuurniveau waarop de maatregel genomen wordt. Dit heeft een sterke relatie met paragraaf 3.2. Hierin hebben we gezien dat verstoringen op een wegvak op drie wijzen invloed hebben op het functioneren van een verkeerssysteem op netwerkniveau, namelijk direct, via voortplantingseffecten en

via routekeuze effecten. Maatregelen zullen zich richten op het aanpakken van één van deze effecten:

- Maatregelen om het functieverlies van een wegvak aan te pakken.
- Maatregelen om bij knooppunten en aansluitingen terugslag effecten te voorkomen.
- Maatregelen op netwerkniveau gericht op het beïnvloeden van routekeuze, vervoersvraag of extra capaciteit op andere of nieuwe routes. Ook zijn er maatregelen denkbaar die op alle wegvakken aangrijpen en daarmee feitelijk op netwerkniveau, zoals bijvoorbeeld incident management.

Op netwerkniveau kunnen we dus op twee manieren naar maatregelen kijken. Het niveau waarop de maatregel aangrijpt (wegvak, knoop, aansluiting en netwerk) en de manier waarop de maatregel werkt (verminderen van de verstoring, verhogen capaciteit, etc.). In Tabel 4 zijn beide tegen elkaar uitgezet. De cursief weergegeven voorbeelden zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 5.

Tabel 4

		<i>Invloed van de maatregel op :</i>				
		Kans op verstoring	Ernst van de verstoring	Duur van de verstoring	Extra capaciteit	Reductie verkeersaanbod
Niveau :	Wegvak	<i>Flexibele rijbaanindeling</i>	ZOAB	<i>Afstemmen plegen van onderhoud</i>	<i>Verharde zijberm</i>	<i>Doorsteek naar OWN</i>
	Knooppunt	<i>Ontvlechten weefvak</i>	Extra verbindingen voor WIU.	Berger standby op belangrijke knooppunten.	<i>Ontvlechten weefvak</i>	<i>DRIPs en rijbaandosering</i>
	Aansluiting	<i>Verlengde uitvoegstrook</i>	Toestaan uitvoegen op vluchtstrook.	Autom.melding terugslag van OWN op HWN	Aanpassen VRI bij aansluiting op OWN.	Toeritdosering
	Netwerk	<i>Voorlichting-campagne afstand houden</i>	Spreiden vakantie periode.	<i>Uitbouwen incident management</i>	<i>Omleiden via OWN</i>	<i>DRIPs en rijbaandosering</i>

4.3 Maatregelen per verstoring

In Tabel 5 is aangegeven welke maatregelen bij een bepaalde verstoring kunnen worden ingezet. In de kolommen zijn de verschillende verstoringen opgenomen en in de rijen de in dit inspiratieboek genoemde voorbeelden van maatregelen. De tabel werkt twee kanten op:

- Door in de kolom van een verstoring te zoeken, wordt een indruk verkregen welke maatregelen ingezet kunnen worden om de robuustheid te vergroten.
- Door in de rij van een maatregel te zoeken, wordt een indruk verkregen welke verstoringen met die maatregel kunnen worden aangepakt.

In de cellen zijn het plussymbool en het minsymbool te vinden. Een plus geeft aan dat de maatregel helpt de verstoring te bestrijden. Een verharde zijberm helpt bijvoorbeeld bij de verstoring "pechgeval". Een min geeft aan dat de maatregel het systeem juist gevoeliger maakt voor een verstoring. Gebruik van de vluchtstrook maakt het systeem bijvoorbeeld gevoeliger voor de verstoring "pechgeval".

Iedere maatregel heeft een nummer, corresponderend met een noot. Deze noten bevatten per maatregel een uitleg van de verbanden zoals die in de tabel te vinden zijn. De noten zijn te vinden in bijlage 4.

Tabel 5 Maatregelen bij verstoringen		Zie noten bijlage 4	Regelmatige en voorspelbare verstoring			Regelmatige en niet voorspelbare verstoring		Onregelmatige en voorspelbare verstoring			Onregelmatig en niet voorspelbare verstoring			
			Extra drukke spits	Brugopening	Pechgeval (op vluchstrook)	Kleine ongevallen (aanname: 1 rijstrook geblokkeerd)	Regen	Werk-in-uitvoering	Vakantieverkeer	Feestdagen	Calamiteiten (2 stroken geblokkeerd)	Calamiteiten (volledige blokkade)	Werk-in-uitvoering (noodmaatregel)	Extreme weersomstandigheden
Robuustheid vergrotende maatregelen	DRIP's en omleiden via HWN. Zie pagina 32 voor beschrijving en schets.	26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Rijbaandosering. Wegvakken als buffer inrichten om andere route (met hogere prioriteit) beter te kunnen laten afwikkelen. Zie pagina 32 voor beschrijving en schets.	27	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Omleiden via OWN. Daartoe omleidingroutes bewegwijzeren en op HWN dynamische bewegwijzering. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	28						+	+	+	+	+	+	+
	IM uitbreiden op alle (aansluitende) wegen met een belangrijke stroomfunctie. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	29			+	+					+	+		
	Tijdelijke regeling voor VRI` s op OWN-route. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	30						+	+	+	+	+	+	+
	Lokaal vergroten capaciteit OWN. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	31						+	+	+	+	+	+	+
	Verkeersinformatie (radio, in-car).	32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Wegwerkzaamheden plannen in 'rustige' periode.	33						+						
	Levensduur van systeemonderdelen op elkaar afstemmen. Zie pagina 34 voor beschrijving en schets.	34						+						
	Veel routekeuzes in netwerk.	35	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+
	Prijismaatregelen (meer aanbod = hogere prijs).	36	+	+				+	+	+				
	Ontvlechten weefvak. Zie pagina 25 voor beschrijving en schets.	37	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Organisatorische maatregelen	Waarschuwing voor drukte.	38	+	+				+	+	+			
Wijzen op alternatief vervoer.		39	+					+	+	+				
Inrichten verdeelpunten, op strategische knopen van weg, water en rail, zodat andere vervoerwijzen gekozen kunnen worden.		40	+				+	+	+	+				
Weeralarm ook bij minder ernstige weersomstandigheden die de capaciteit nadelig beïnvloeden.		41					+							
Geen techniek en onderhoud in middenberm.		42						+						
Parkeertarieven of eventuele andere vormen van beprijzing flexibel inzetten.		43						+	+	+				
Tijdelijke verboden (bijvoorbeeld niet parkeren in gebied x met koninginnedag).		44						+	+	+				

5. Voorbeelden robuustheidvergroten maatregelen

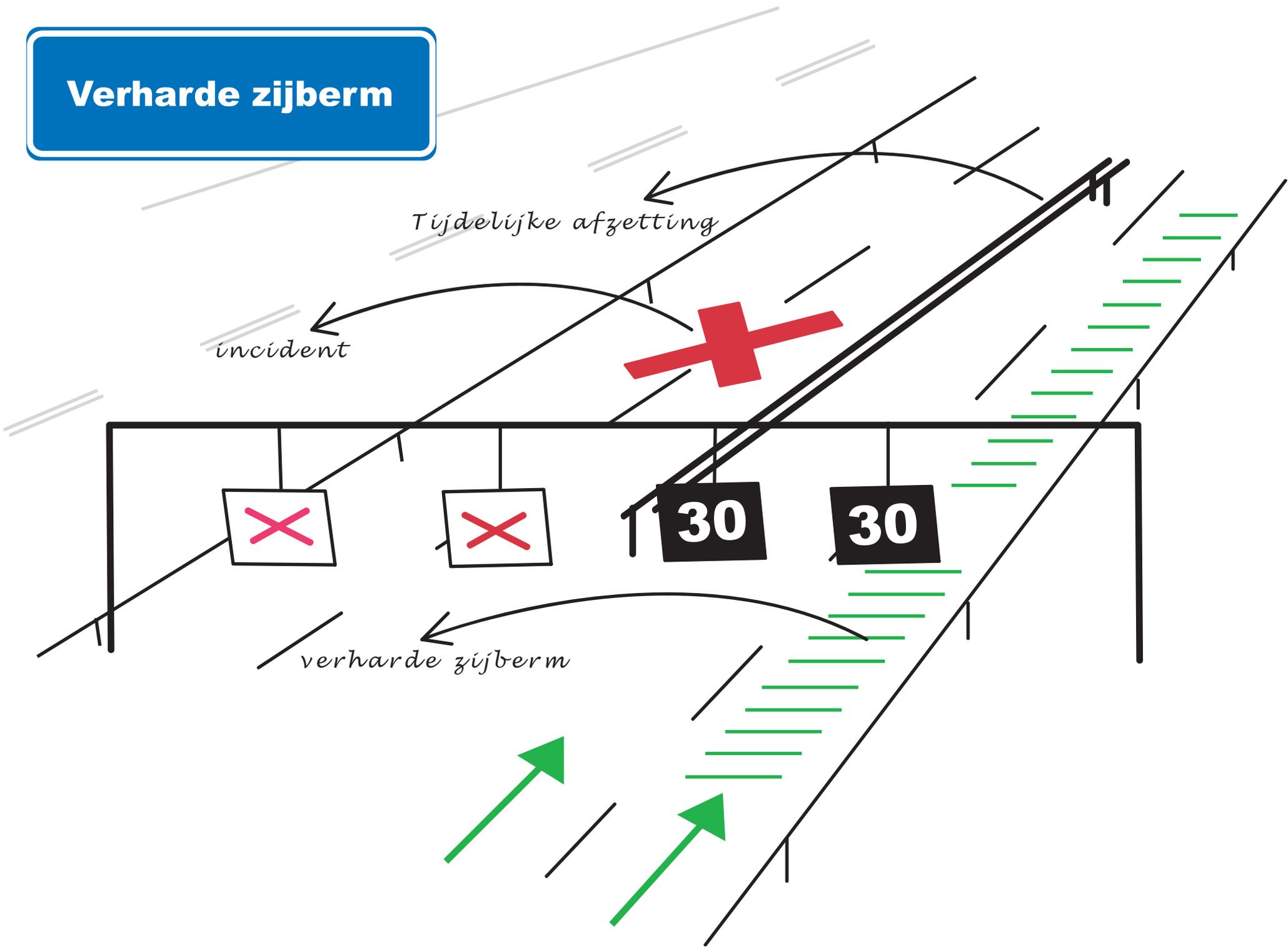
5.1 Inleiding

Na een verkenning van het begrip robuustheid en een nadere analyse van verstoringen in hoofdstuk 2 en 3, is in hoofdstuk 4 gekeken naar manieren om de robuustheid te vergroten. In hoofdstuk 4 is in Tabel 4 een klein aantal voorbeelden van robuustheidvergroten maatregelen gegeven. Deze maatregelen zijn in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. In paragraaf 11 is een groter aantal maatregelen te vinden in een samenvattende tabel. De maatregelen in dit hoofdstuk zijn bij lange na niet uitputtend; het gaat er vooral om een idee te geven wat aan het vergroten van de robuustheid gedaan kan worden.

Een aantal maatregelen dat illustratief is, en daarmee extra inspiratie kan geven om de robuustheid te vergroten, is in dit hoofdstuk uitgebreider weergegeven. Per maatregel worden de volgende aspecten behandeld:

- Een schets van de maatregel. De schets geeft een globale indruk van de maatregel.
- Een beschrijving van de maatregel. Vaak is een maatregel uitgebreider dan in een schets kan worden weergegeven. De beschrijving vertelt meer over de uitvoering en werking van de maatregel. In sommige gevallen is de maatregel nog in een sterk experimentele fase. Ook dit is te vinden in de beschrijving.
- Contra-indicatie. Niet iedere maatregel kan in elke situatie worden ingezet. In sommige situaties zijn de neveneffecten zo groot dat beter van de maatregel kan worden afgezien. Voor die situaties is het soms mogelijk een indicator aan te geven. Is er dan sprake van die contra indicatie dan moet de maatregel niet worden ingezet. Een voorbeeld van een contra-indicatie met bijbehorende maatregel is veel vrachtverkeer bij verharde zijberm.
- De kosten en effecten van een maatregel. De kosten en effecten zijn indicatief. In paragraaf 11 zijn van meer maatregelen de kosten en effecten te vinden.

Verharde zijberm



5.2 Verharde zijberm

5.2.1 Beschrijving van de maatregel

Bij een verstoring in de vorm van een blokkade van één of meerdere rijstroken neemt de capaciteit enorm af. Er kan dan lokaal extra capaciteit worden gevonden door gebruik te maken van een verharde zijberm. Bij lage snelheden hoeven aan een rijstrook veel minder hoge eisen te worden gesteld dan bij hoge snelheden. Een brede berm met een eenvoudige verharding kan volstaan om bij snelheden tot 30 á 50 km/uur verkeer af te wikkelen. Gedacht kan worden aan een uitvoering in grasstenen. De verharde zijberm heeft een aantal functies:

- Bij blokkade van de rijbaan kunnen vluchtstrook en zijberm worden benut om met lage snelheden het verkeer af te wikkelen.
- De verharde zijberm kan dienst doen als een vluchtstrook als de vluchtstrook ingezet wordt als spitsstrook. De kans op langdurige blokkade van een spitsstrook neemt zo af.
- Bij pech of ongevallen kunnen betrokken voertuigen de zijberm gebruiken en dus vluchtstrook vrijhouden. Hierdoor neemt de veiligheid toe en is er minder/geen reductie van de capaciteit.

5.2.2 Contra Indicatie

Voorwaarden voor het inzetten van de maatregel zijn:

- ❑ Voldoende ruimte in de zijberm en voldoende stabiliteit van de berm. Er vindt op dit moment een landelijke inventarisatieonderzoek plaats naar de kwaliteit van de zijbermen. Gekeken wordt naar de breedte van de bermen en naar het voldoen aan de genormeerde stabilisatie-eisen.
- ❑ Dynamische snelheidsaanduiding om de noodzakelijke lage snelheden kenbaar te maken. Handhaving zal niet nodig zijn omdat het geringe comfort een voldoende beperking is.
- ❑ Wellicht is het niet mogelijk vrachtverkeer over een verharde berm af te wikkelen. Het vrachtverkeer moet dan naar een andere strook. In deze gevallen moet aandacht worden besteedt aan de bebording en moet van de maatregel worden afgezien bij hoge percentages vrachtverkeer. In sommige gevallen zullen alleen te zwaar beladen vrachtwagens voor problemen zorgen. Met de handhavingmaatregel WIM (Weigh In Motion) kan dit probleem aangepakt worden.

5.2.3 Kosten en effecten

Tabel 6

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Verharden zijberm	Extra capaciteit	500 vtg/uur	€ 17.500,- / km

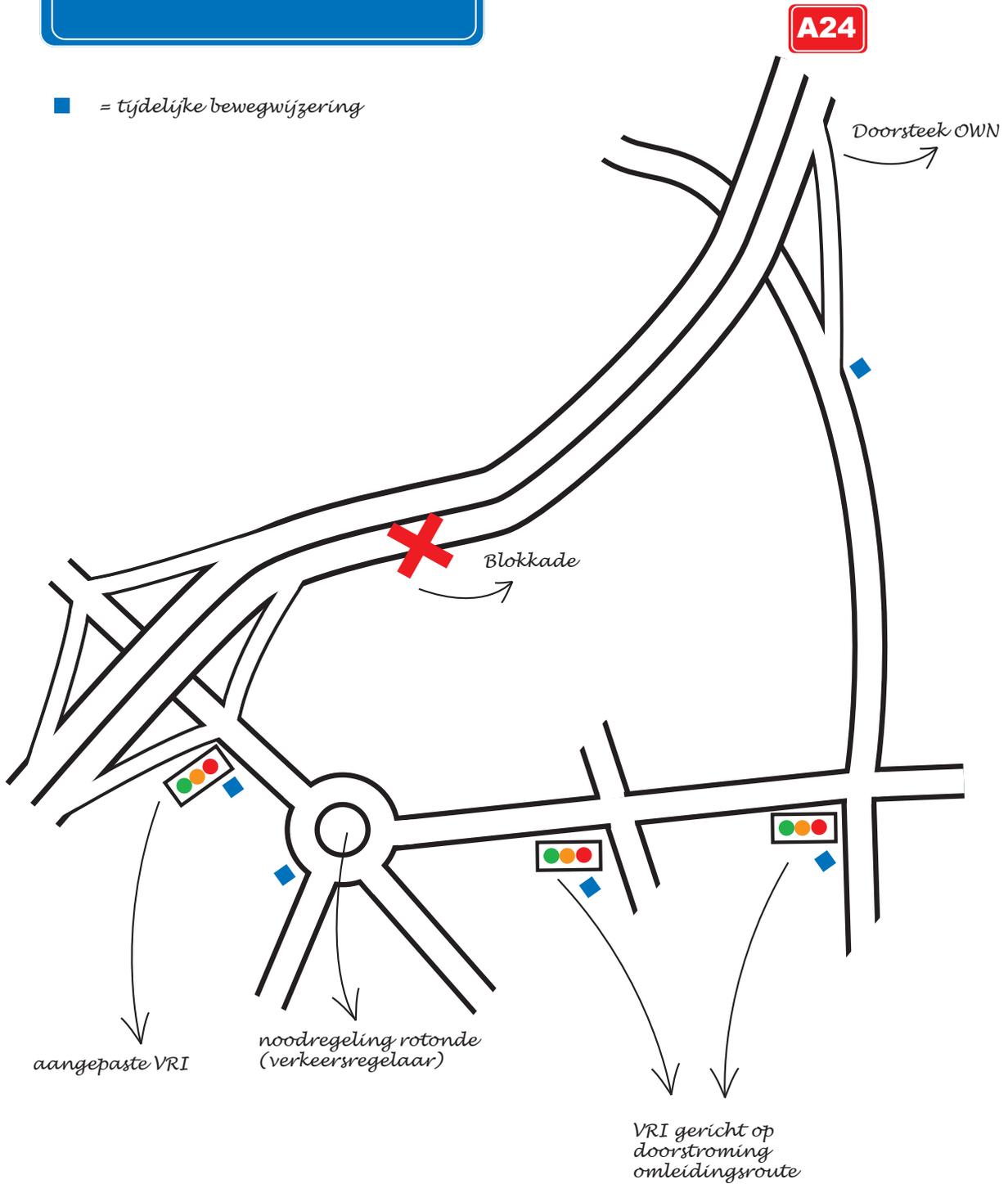
5.2.4 Verstoringen

Tabel 7

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar		
Niet voorspelbaar	Pechgeval Kleine ongevallen Regen	Calamiteiten Extreme weersomstandigheden

Maatregelen OVN

■ = tijdelijke bewegwijzering



5.3 Inzet van het OWN bij functieverlies op het HWN

5.3.1 Beschrijving van de maatregel

Bij een blokkade van één of meerdere rijstroken kan gebruik makend van het OWN tijdelijke capaciteit worden aangeboord. Om het OWN geschikt te maken om functies van het HWN over te nemen, kan een groot aantal maatregelen ingezet worden op OWN en HWN. Een aantal mogelijke maatregelen zijn:

- Selectie van geschikte OWN routes en daarop bewegwijzeren met omleidingnummers.
- Dynamische bewegwijzering op HWN waarbij omleidingnummers gebruikt worden.
- (Flexibel of tijdelijk) doorsteken maken van het HWN naar het OWN en visa versa.
- Inzetten Incident Management op het OWN. Hierdoor wordt de kans op een 'rampscenario' waarbij zowel de HWN- als de OWN-route voor langere tijd geblokkeerd zijn kleiner.
- Tijdelijke regelingen voor VRI's. Bijvoorbeeld met een langere groenfase voor de omleidingroute.
- Extra rijbaan of wisselstrook op knelpunten op het OWN.

5.3.2 Contra indicatie

Als er functieverlies optreedt van het HWN kan worden uitgeweken naar het OWN. Over de wenselijkheid hiervan zijn al vele discussies gevoerd. Als het OWN immers functies overneemt van het HWN kunnen een aantal problemen optreden:

- ❑ De restcapaciteit van het OWN is vaak beperkt waardoor er weinig winst behaald kan worden.
- ❑ Massaal gebruik van het OWN is ongewenst vanwege veiligheid- en leefbaarheidsaspecten.
- ❑ Het service niveau van het OWN is niet van een zodanig niveau dat het op langere termijn een alternatief voor het HWN zou moeten zijn.

Voor het gebruik van het OWN als robuustheidvergrotenende maatregel is echter veel te zeggen. Uitgangspunt zou moeten zijn dat het OWN slechts gebruikt wordt voor het opvangen van onregelmatige verstoringen. Het blijft dan bij incidenteel gebruik waarbij genoemde nadelen minder of in het geheel niet optreden. Wanneer frequenter gebruik wordt gemaakt van het OWN als alternatief voor het HWN dan dient een omvangrijke opwaardering van het OWN plaats te vinden met alle bijbehorende voorzieningen.

5.3.3 Kosten en effecten

De kosten en effecten zullen volledig afhangen van de lokale situatie. Wel is op het niveau van genoemde deelmaatregelen een inschatting van kosten en effecten mogelijk.

Tabel 8

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Dynamische bewegwijzering op HWN	Extra capaciteit.	Afhankelijk van capaciteit OWN. Uitgaande van een 2-strooks weg, 50% restcapaciteit en 50% capaciteitsreductie door VRI's bedraagt de extra capaciteit zo'n 350 vtg/uur.	Afhankelijk van locatie maximaal € 450.000,- per locatie. ⁸
Doorsteek van HWN naar OWN	Extra capaciteit.	Afhankelijk van de capaciteit van het OWN. De verwachting is dat de capaciteit van de afrit nooit de beperkende factor is.	De kosten voor een noodoprit bedragen € 120.000,- ⁹
Incident management op OWN	Afname ernst van de verstoring.	Tijd dat de weg niet vrij is zou met 5 tot 10 minuten verminderd moeten kunnen worden.	Sterk afhankelijk van de omvang van het gebied en het aantal incidenten.
Tijdelijke regeling voor VRI's	Kortere reistijd en grotere capaciteit op OWN route.	Afhankelijk van lokale situatie.	€ 100.000,- ⁹
Lokaal vergroten capaciteit OWN	Extra capaciteit.	Van één naar twee stroken vergroot capaciteit met 1500 tot 2000 pae/uur.	Kosten extra strook OWN bedragen € 500.000,- tot € 1.000.000,-/km ⁹

5.3.4 Verstoringen

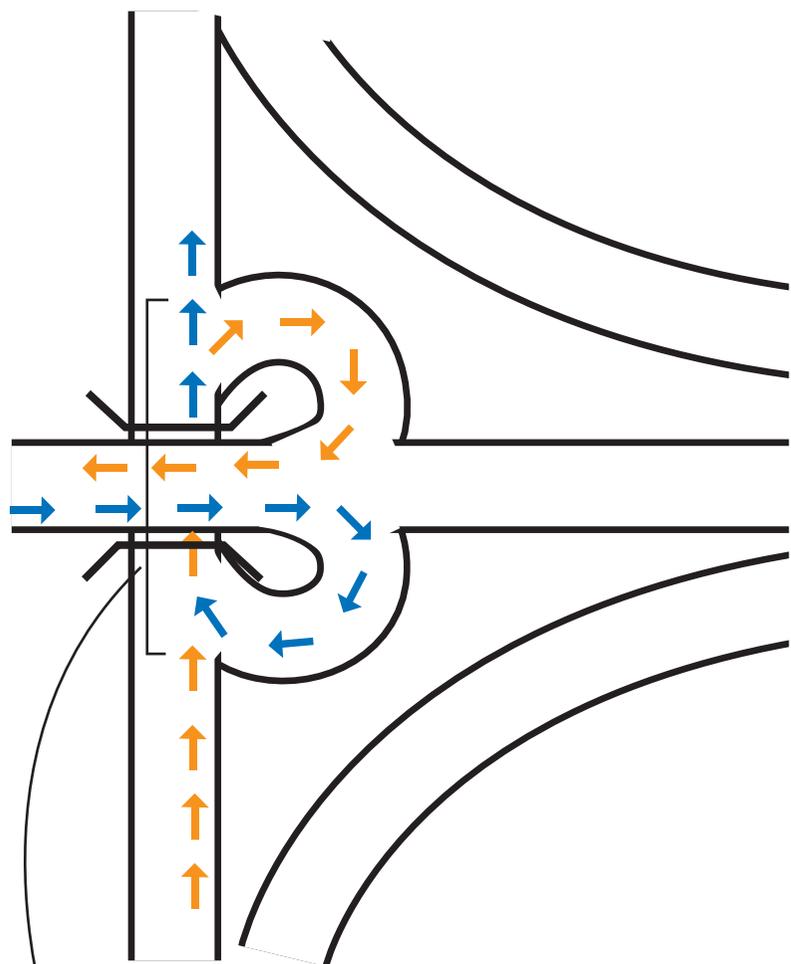
Tabel 9

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar		Werk in uitvoering Vakantieverkeer Feestdagen
Niet voorspelbaar		Calamiteiten Werk in uitvoering (noodmaatregel) Extreme weersomstandigheden

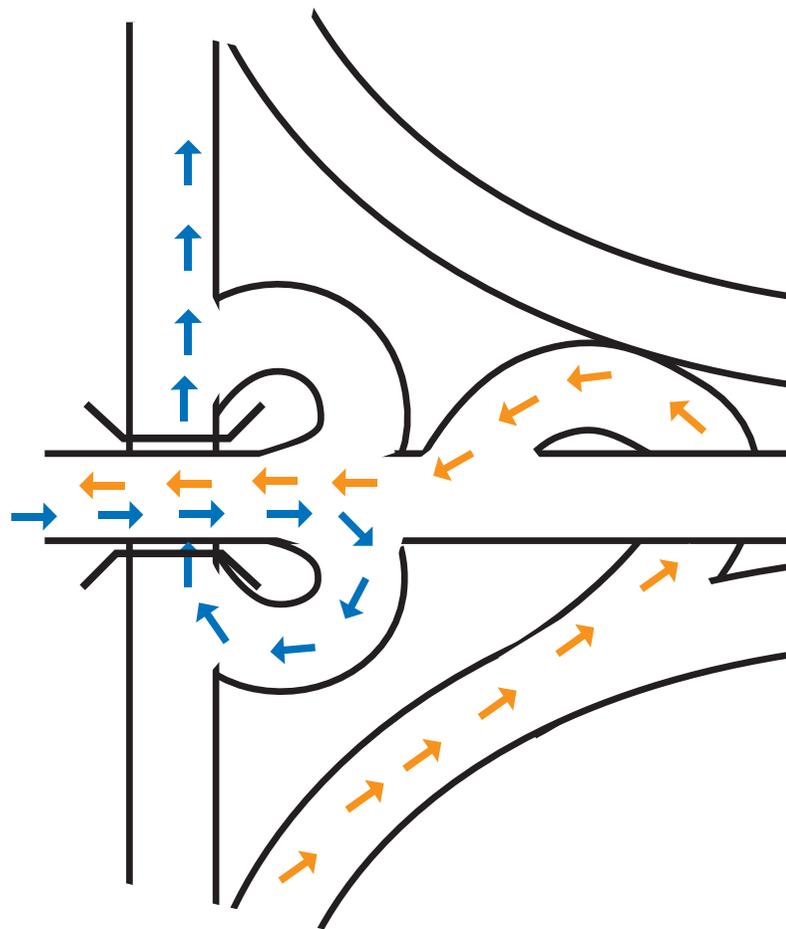
⁸ Bron kosten: Effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen (Arcadis en Goudappel Coffeng, 2002).

⁹ Bron kosten: expertisecentrum Beheer en Onderhoud DWW.

Ontvlechten weefvak in knooppunt



weefvak



5.4 Ontvlechten weefvak op knooppunt

5.4.1 Beschrijving maatregel

Functieverlies begint vaak bij een het samengaan of splitsen van verkeersstromen, zoals dat het geval is bij aansluitingen of weefvakken. Zo`n weefvak ligt vaak in een knooppunt van hoofdwegen. Filevorming op het weefvak kan daardoor bij terugslag de hoofdrijbaan op meerdere wegvakken blokkeren. Juist dit soort doorslageffecten beïnvloeden de robuustheid van een systeem negatief. In het rapport "Handreiking benutting knooppunten" (2004, Bouwdienst Rijkswaterstaat) wordt een aantal suggesties gedaan. Eén daarvan is in de schets weergegeven. Het weefvak wordt opgeheven en een lus van het klaverblad wordt afgesloten, in elk geval voor de reguliere situatie. Voor het uitvoegende verkeer wordt een extra aansluiting aangelegd.

Voor het vergroten van de robuustheid heeft de maatregel de volgende voordelen:

- Door een weefvak te ontvlechten wordt de capaciteit vergroot. Er wordt een bottleneck weggenomen waardoor de hoofdrijbaan minder snel functieverlies vertoont.
- De kans op een (vrijwel) volledige blokkade van een knooppunt vermindert. Bij een verstoring is de kans groter dat tenminste een aantal verkeersstromen nog afgewikkeld kunnen worden.
- De afgesloten lus kan in reserve worden gehouden en worden ingezet bij incidenten of WIU. Het knooppunt wordt daarmee minder gevoelig voor verstoringen.

5.4.2 Contra indicatie

- ❑ De inzetbaarheid van de maatregel hangt in hoge mate af van de fysieke ruimte die beschikbaar is. Ook de ruimte die bestaande kunstwerken bieden bepaalt wat relatief eenvoudig te realiseren is en wat hoge kosten met zich meebrengt.
- ❑ Het ontvlechten van een weefvak betekent dat het elders op het knooppunt drukker wordt. Bij de rechtsaf uitvoegstrook op de schets (voor de "rode" richting) zal bijvoorbeeld ook het links afslaan verkeer uit moeten voegen. Hiervoor moet wel de capaciteit aanwezig zijn.
- ❑ Wanneer de ruimte beperkt is, moet waarschijnlijk met krappe boogstralen en daarmee lage ontwerpsnelheden worden gewerkt. Dit beïnvloedt de capaciteit van de betreffende verbinding negatief. De te ontvlechten stroom moet dus zodanig klein zijn dat het verkeersaanbod de capaciteit niet overschrijdt. Een mogelijkheid om hiermee om te gaan is het aanleggen van een verbinding die alleen bij verstoringen wordt ingezet. Het weefvak blijft beschikbaar in de reguliere situatie.

5.4.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 10

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Ontvlechten weefvak	Extra capaciteit	Afhankelijk van volume van de wevende stromen. Een weefvak vermindert de capaciteit van de rechterrijstrook op de hoofdrijbaan met waarden tot 50%. Als de lus of de nieuwe verbinding in reserve worden gehouden voor tijdens verstoringen is de extra capaciteit bijna 100 % van die van de lus of de verbinding.	€ 600.000,- tot € 1.000.000,-/km (voetnoot 9, blz. 24)

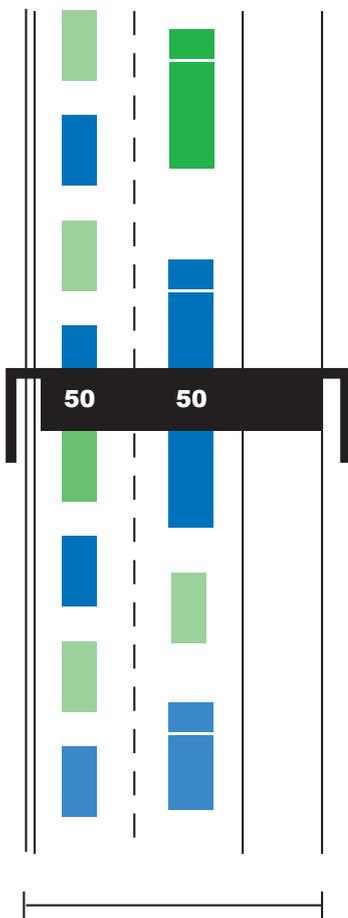
5.4.4 Verstoringen

Tabel 11

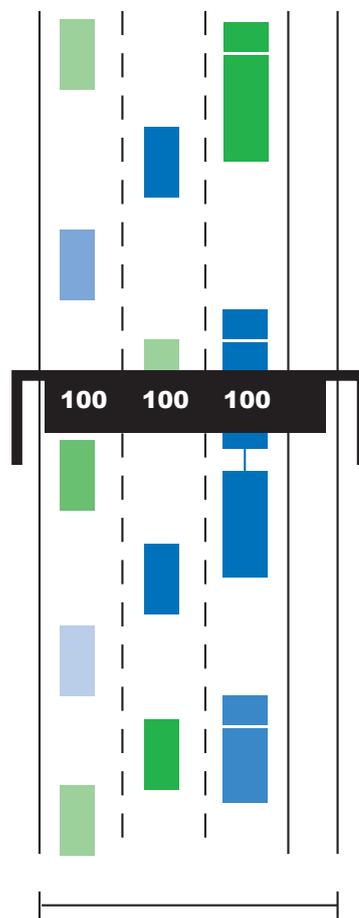
	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar	Spitsdrukke	Werk in uitvoering Vakantieverkeer Feestdagen
Niet voorspelbaar	Pechgeval Kleine ongevallen Regen	Calamiteiten Werk in uitvoering (noodmaatregel) Extreme weersomstandigheden

Flexibele rijbaanindeling

Twee-strooks



drie-strooks



=

5.5 Flexibele rijbaanindeling

5.5.1 Beschrijving maatregel

Doel van deze maatregel is het creëren van extra capaciteit op de rijbaan op het moment dat daar behoefte aan is. Bijvoorbeeld omdat verkeer moet worden omgeleid of het verkeersaanbod plotseling hoger ligt. De extra capaciteit wordt gevonden door de rijbaan in meer rijstroken op te delen. In het kader van robuustheid draagt de maatregel ook het aan het verminderen van de ernst van een verstoring bij ongevallen. Met een flexibele rijbaanindeling is de kans groot dat er bij een ongeval meer stroken open kunnen blijven.

Mogelijke vormen van flexibele rijbaanindeling zijn bijvoorbeeld het openstellen van de vluchtstrook (spitsstrook) of zelfs een dynamische markering (flexibele rijbaanindeling). Dergelijke maatregelen zijn uitgedacht met het oog op het beter benutten van de aanwezige infrastructuur. Echter ook voor het verhogen van de robuustheid kunnen dergelijke maatregelen worden ingezet. Het bevorderen van de robuustheid kan daarbij zowel een argument voor de maatregel zijn als een uitgangspunt bij de dynamische inzet van de maatregel. Wel is het van belang te realiseren dat deze benuttingmaatregelen zowel positieve als negatieve gevolgen kunnen hebben op de robuustheid. Een goed gebruik is dus geboden.

Onderstaand zijn de bijdrage aan robuustheid en de mogelijke bijdragen aan verstoringen weergegeven.

Bijdrage robuustheid:

- Extra capaciteit.
- Capaciteit kan gedoseerd worden ingezet waardoor er daadwerkelijk sprake is van extra capaciteit bij verstoringen in plaats van altijd extra capaciteit die in de praktijk alweer snel volloopt in de reguliere situatie.
- Soms is het mogelijk om het verkeer af te wikkelen om een ongevallocatie of werk-in-uitvoering vak heen waar dit bij een conventioneel wegvak niet mogelijk.

Mogelijke bijdrage verstoringen:

- Zonder vluchtstrook is een wegvak gevoelig voor pechsituaties en ongevallen (gebruik vluchtstrook).
- Techniek kan kapot. Een wegvak met dynamische maatregelen is gevoeliger voor storingen (flexibele rijbaanindeling).
- Als de benuttingmaatregelen tijdens iedere spitsperiode in gebruik zijn en de extra capaciteit wordt in de reguliere situatie opgevuld met extra vraag dan blijft het wegvak even gevoelig voor verstoringen of wordt het zelfs gevoeliger (gebruik vluchtstrook, plusstrook).

Voor het (tijdelijk) aanbieden van een extra rijstrook zijn in het kader van benutting een groot aantal maatregelen uitgedacht. De meeste zijn te vinden in "effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen" (Arcadis, Goudappel Coffeng, 2002). Aan het vergroten van de robuustheid leveren de volgende maatregelen de grootste bijdrage:

- Flexibele rijbaanindeling. Hierbij is de markering dynamisch en kan de rijbaan dus daadwerkelijk met twee verschillende configuraties worden ingericht. Voordeel is dat een extra rijstrook wordt verkregen in situaties met een hoge intensiteit terwijl in situaties met een lage intensiteit brede rijstroken kunnen worden geboden. Een ander voordeel is dat in de meeste situaties de vluchtstrook beschikbaar blijft. De maatregel is nog niet toegepast en nog in onderzoek. Meer informatie is te vinden in "Kansen en bedreigingen van een pilot met flexibele rijbaanindeling" (AVV, 2002).

- Gebruik vluchtstrook. Bij deze maatregel wordt de vluchtstrook aangepast om in bepaalde situaties als rijstrook te worden ingezet. Hierdoor wordt in deze situaties extra capaciteit gecreëerd. Voordeel van deze oplossing is dat in situaties zonder verstoringen de oorspronkelijke rijbaanindeling gebruikt kan worden. Nadeel is dat bij een pechsituatie of ongeval geen vluchtstrook beschikbaar is. Als de spitsstrook wordt ingezet om de reguliere spits op te vangen dan wordt het wegvak eerder gevoeliger dan ongevoeliger voor verstoringen. Bij een ongeval zal de verstoring immers meer impact hebben. Al is het wel zo dat bij een goede verkeersafwikkeling minder ongevallen zullen voorkomen dan bij congestie. Op netwerkniveau kan de capaciteitswinst verkregen met de spitsstrook tot een zodanig grotere robuustheid leiden dat het toch de moeite waard is om op wegvakniveau genoeg te nemen met een iets grotere kans op verstoringen.
- Plusstrook. Bij een plusstrook wordt ruimte gevonden in het smaller maken van de bestaande stroken. Aan de linkerkant van de rijbaan kan daardoor een extra strook worden gerealiseerd. Als de extra capaciteit niet nodig is wordt de strook afgesloten. Voordeel is dat de vluchtstrook gehandhaafd blijft. Een eventueel nadeel voor robuustheid is dat de extra capaciteit wordt opgevuld met extra vraag en daarmee in feite het systeem dus niet robuuster wordt. Een en ander zal op netwerkniveau bekeken moeten worden.

5.5.2 Contra indicatie

- Bij het inzetten van de maatregel hoort een maatregel om de snelheid van het verkeer om laag te brengen. Eventueel uitgebreid met een goede handhaving, bijvoorbeeld in de vorm van trajectcontrole. De mate van versmalling van de rijstroken bepaalt (onder andere) de noodzakelijke verlaging van de snelheid.
- De meeste bottlenecks bevinden zich bij aansluitingen en knopen. Extra capaciteit aanbieden heeft alleen zin als ook stroomafwaarts van deze plekken de capaciteit voldoende is of ook verhoogd wordt.

5.5.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 12

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten (voetnoot 8, blz Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.)
Flexibele Rijbaanindeling	Extra capaciteit	ca. 30% meer capaciteit bij 2x2 - > 2x3	€ 1.000.000,- /km
Gebruik vluchtstrook (rijbaansignalering ook boven vluchtstrook)	Extra capaciteit	ca. 40% meer capaciteit bij 2x2, echter geen vluchtstrook direct bruikbaar bij incidenten	€ 770.000,- /km
Plusstroken	Extra capaciteit	ca. 30% meer capaciteit bij 2x2 - > 2x3, maar behoud van vluchtstrook, dus snellere inzet hulpdiensten bij incidenten.	€ 1.675.000,- /km

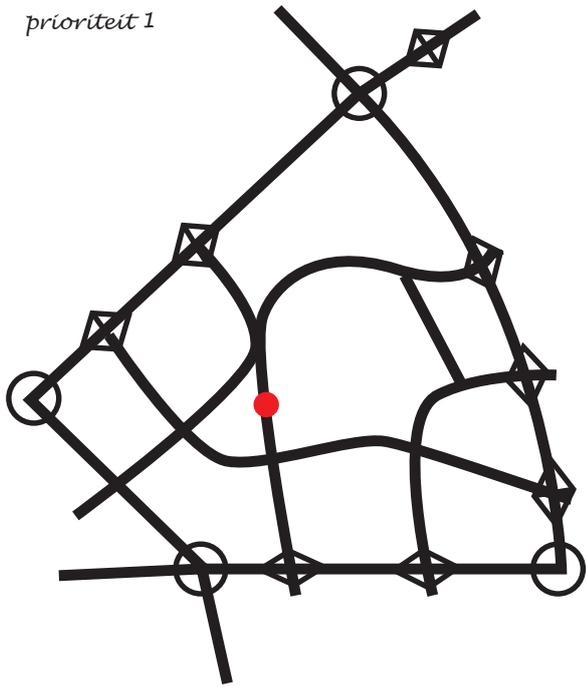
5.5.4 Verstoringen

Tabel 13

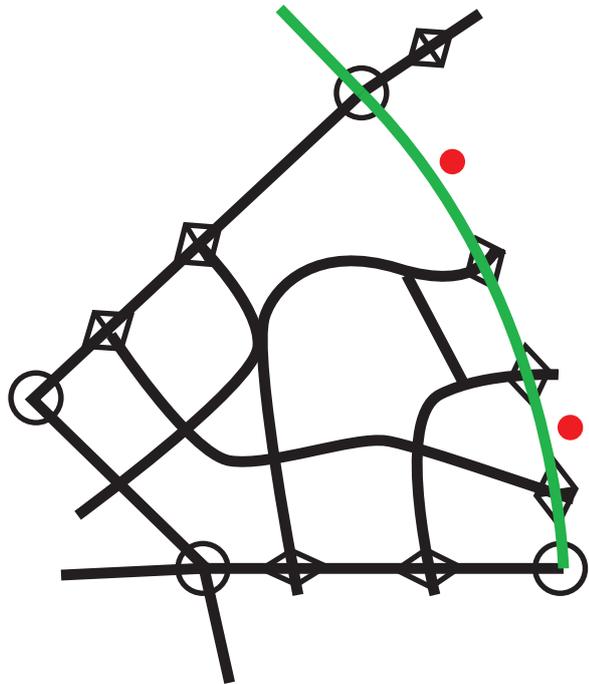
	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar	Spitsdrukte	Werk in uitvoering Vakantieverkeer Feestdagen
Niet voorspelbaar	Pechgeval Kleine ongevallen Regen	Calamiteiten Werk in uitvoering (noodmaatregel) Extreme weersomstandigheden

Uitbreiden Incident Management

- = 
- = prioriteit 1



Nieuwe situatie



5.6 Uitbouwen Incident Management

5.6.1 Beschrijving maatregel

Incident Management houdt onder andere in dat bij een ongeval direct een berger op pad gestuurd wordt waardoor de weg eerder vrijgemaakt kan worden. Een aantal mogelijke aanvullingen op Incident Management zijn:

- Meer bergingsvoertuigen op verschillende locaties waardoor nog sneller een berger ter plekke is. De locaties waarop een berger stand-by is kunnen worden afgestemd op belangrijke schakels in het netwerk of netwerkelementen met een hoge prioriteit. Deze maatregel is weergegeven in de schets. Bij een incident op wegvak met de hoge prioriteit (prioriteit 1) kan de berger snel ter plekke zijn.
- Combinatie van hulpdiensten in één voertuig waardoor eenvoudige ongevallen door één mobiele organisatie zeer snel afgehandeld kunnen worden.
- Incident management ook inzetten op het OVN. Zowel bij omleidingroutes over het OVN, als bij terugslag op het hoofdwegennet door een ongeval op het OVN is dit zinvol.
- Instructies/voorlichting voor weggebruikers. Bij ongevallen met uitsluitend materiële schade zouden weggebruikers, indien dat veilig kan, zo snel mogelijk de rijbaan vrij moeten maken.

Incident Management op het OVN is gerealiseerd door de provincie Zuid Holland. In diverse regio's wordt gewerkt aan het invoeren van Incident Management op het onderliggende wegennet. De andere genoemde maatregelen kennen nog geen toepassing.

5.6.2 Contra indicatie

De maatregel is in beginsel overal inzetbaar. Wel zal de concrete vorm op details kunnen verschillen van situatie tot situatie.

5.6.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 14

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Incident Management verruimen	Afname duur van verstoring	Afname van wachttijden. Tijd tot weg vrij is zou met 5 minuten verminderd moeten kunnen worden ¹⁰ .	De kosten van maatregelen zijn sterk afhankelijk van de gekozen optie. De kosten van een bergingsvoertuig stand-by bedragen circa € 100.000,- / jaar.

5.6.4 Verstoringen

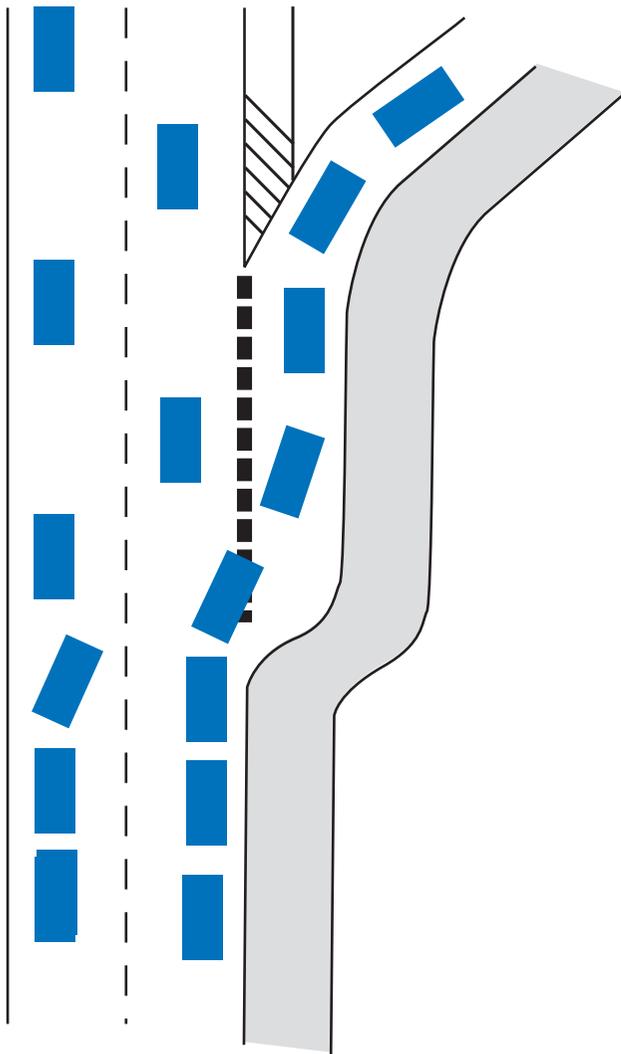
Tabel 15

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar		
Niet voorspelbaar	Pechgeval Kleine ongevallen	Calamiteiten

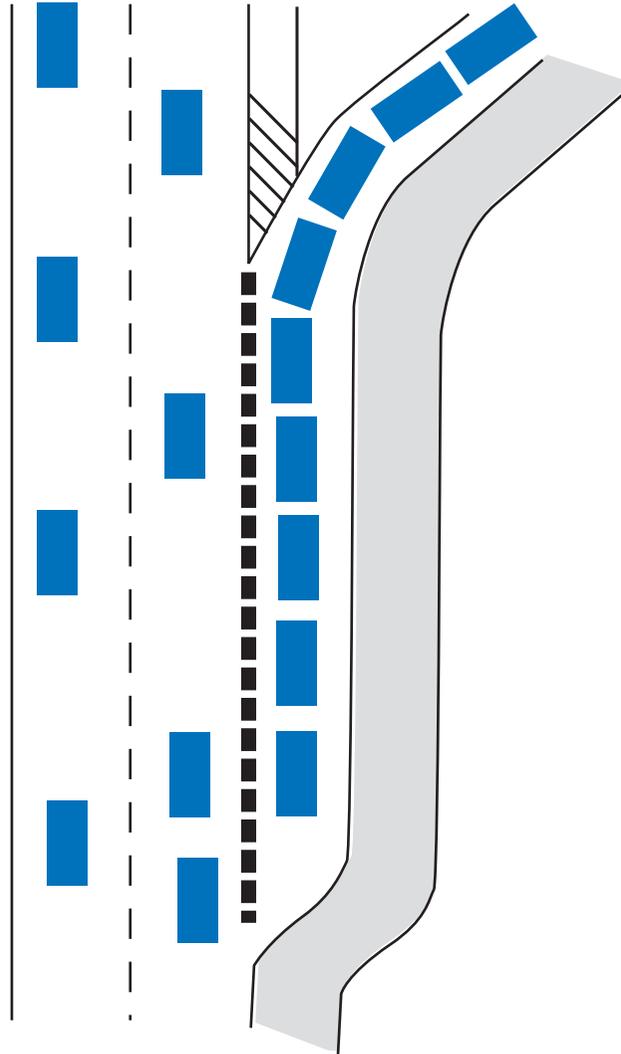
¹⁰ Bij een aantal van 22.000 ongevallen met uitsluitend materiële schade kan hier dus veel winst worden geboekt.

Verlengde uitvoegstrook

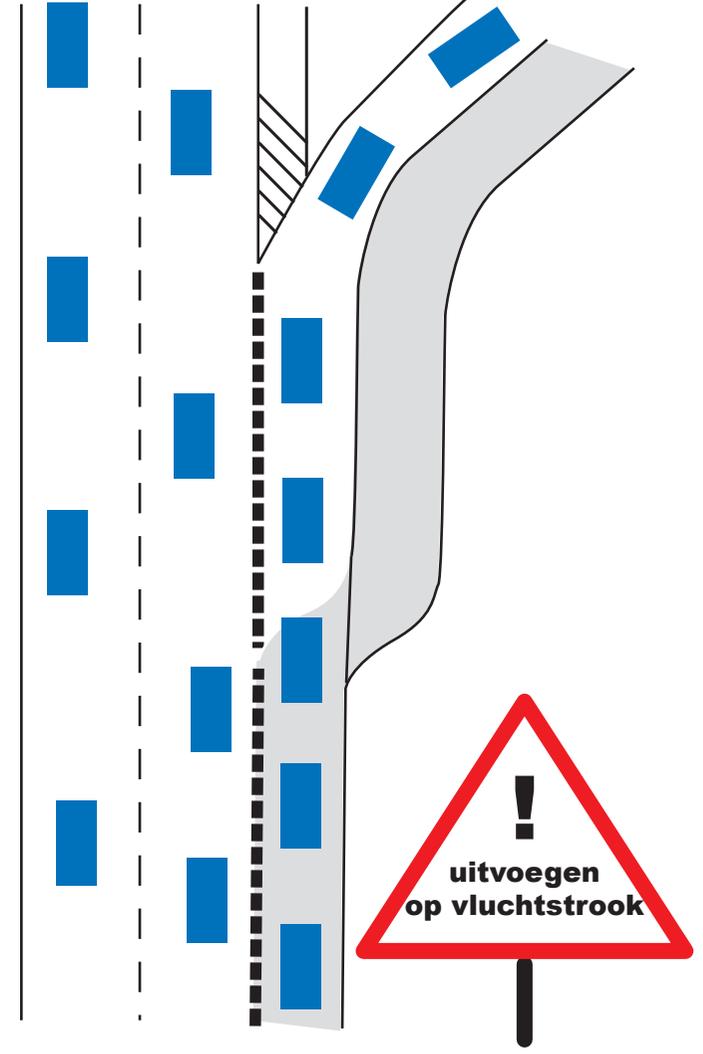
oude situatie



nieuwe situatie 1



nieuwe situatie 2



5.7 Verlengen uitvoegstrook

5.7.1 Beschrijving maatregel

Als nabij een afrit het verkeersaanbod op het OWN groter wordt dan de capaciteit dan kan het voorkomen dat de wachtrij terugslaat tot op de hoofdrijbaan. Hierdoor kan een rijstrook niet meer gebruikt worden en ontstaat niet alleen een zeer onrustig verkeersbeeld maar bovenal een onveilige situatie. Feitelijk fungeert de afrit in deze situatie als buffer voor een benedenstreams knelpunt op het OWN en is die buffer te klein. De buffer kan op drie manieren worden vergroot:

- Herontwerpen van de afrit op een zodanige wijze dat los van de hoofdrijbaan meer buffercapaciteit op de afrit ontstaat. Dit kan zowel in de lengte van de afrit (eerder van de hoofdrijbaan af) als in de breedte (twee opstelstroken in plaats van één opstelstrook voor een VRI benedenstreams). De variant met bufferruimte in de lengte is in de schets weergegeven als "nieuwe situatie 1".
- Een gedeelte van de vluchtstrook opofferen om de uitvoegstrook te verlengen. Deze maatregel is met name geschikt voor niet regelmatige verstoringen. Ook deze variant is in de schets weergegeven als "nieuwe situatie 2".
- In stedelijke omgevingen met veel op- en afritten kan de vluchtstrook tussen een oprit en een afrit worden opgeofferd zodat een lang weefvak ontstaat

5.7.2 Contra indicatie

- ❑ Er moet ruimte zijn om de afrit te herontwerpen of een vluchtstrook die breed genoeg is om om te bouwen tot uitvoegstrook.
- ❑ De maatregel werkt alleen in die situaties waarin het verkeersaanbod op de afrit tijdelijk te hoog is. In situaties waarin het verkeersaanbod permanent te hoog is, zal de capaciteit van de bottleneck benedenstreams op het OWN moeten worden vergroot.

5.7.3 Kosten en effecten maatregel

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten (voetnoot 8, blz Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.)
Verlengen uitvoegstrook	Afname kans op of ernst van verstoring	Verstoring wordt weggenomen.	€ 100.000,- bij opofferen vluchtstrook (variant nieuw 1) € 1.000.000,- tot € 1.500.000,- bij herontwerp afrit. (variant nieuw 2)

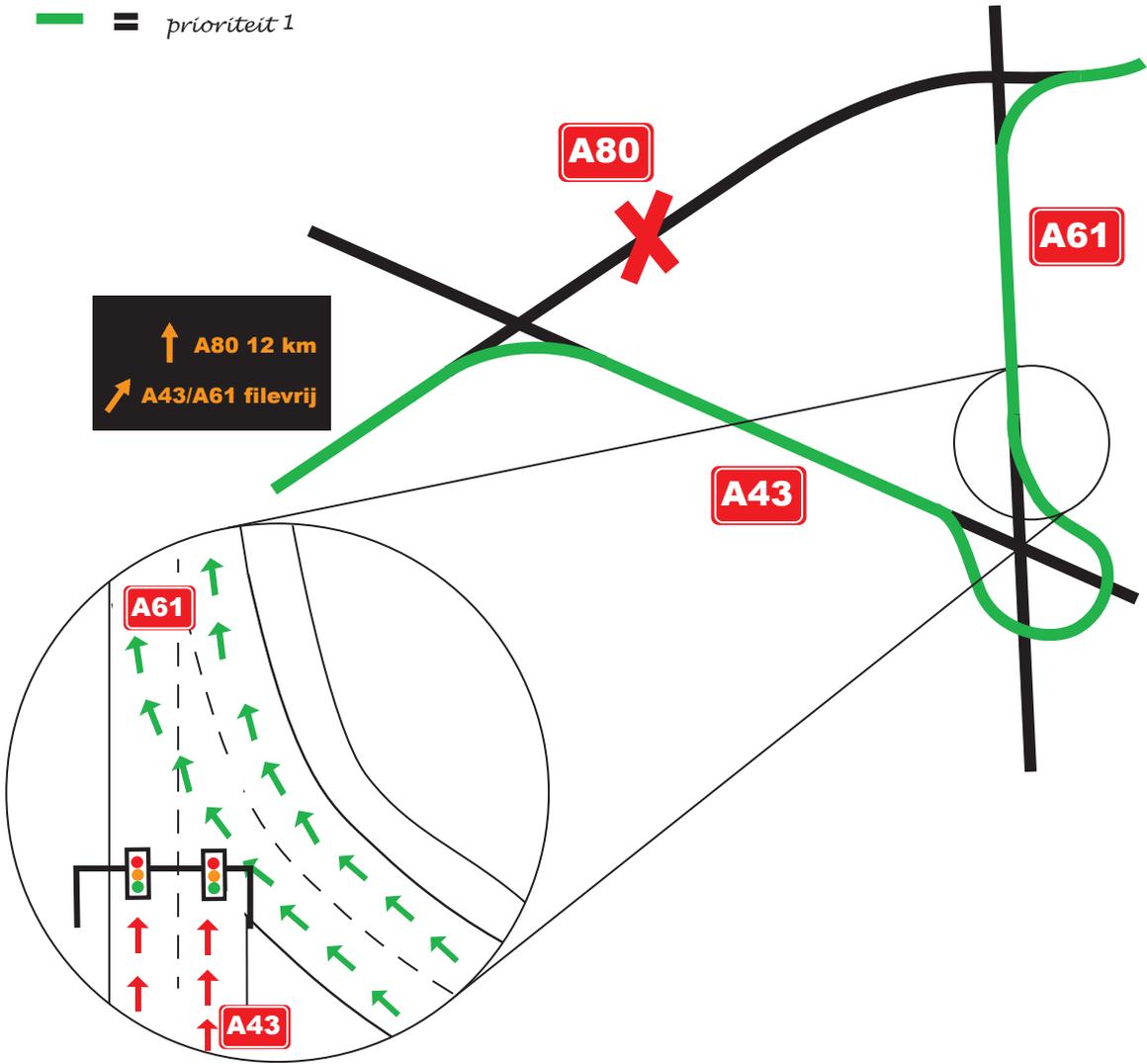
5.7.4 Verstoringen

Tabel 16

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar	Spitsdrukte Brugopening	Werk in uitvoering Vakantieverkeer Feestdagen
Niet voorspelbaar		Werk in uitvoering (noodmaatregel) Extreme weersomstandigheden

Drips en rijbaandosering

— = prioriteit 1



5.8 DRIP's en rijbaandosering

5.8.1 Beschrijving maatregel

Bij een blokkade van één of meerdere rijstroken is het omleiden van verkeer vaak de enige mogelijkheid om het netwerk te laten blijven functioneren. Het verkeer kan met DRIP's worden geïnformeerd over de omleiding.

Omleiden betekent dat het verkeersaanbod op andere wegvakken toeneemt. Zeker in drukke periodes zal dit leiden tot een verkeersaanbod dat hoger is dan de capaciteit¹¹. Om de capaciteit op de bottleneck optimaal te benutten en blokkades op ongewenste plekken te voorkomen kan rijbaandosering worden ingezet. De rijbaan fungeert dan als buffer en met een doseerinstallatie wordt het verkeersaanbod geregeld.

Deze maatregel is vooral bedoeld om bij incidenten een totaal functieverlies op meerdere wegvakken te voorkomen en prioriteit te geven aan de hoofdstroom. Door de wachtrijen weg te houden bij knopen en aansluitingen wordt onnodig functieverlies voorkomen.

5.8.2 Contra indicatie

De maatregel kan ingezet worden als er een alternatieve route is waar restcapaciteit te verwachten is op het moment dat de verstoring optreedt.

5.8.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 17

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten (voetnoot 8, blz. Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.)
DRIP's	Afname verkeersaanbod	Afname verkeersaanbod, afhankelijk van reistijd omleiding en bestemmingen.	€ 390.000,- /DRIP
Rijbaandosering	Afname kans op verstoring en afname van de ernst van een verstoring op netwerkniveau.	Verkleinen verkeersaanbod op stromen met hogere prioriteit. Effect hangt af van doseerregeling.	€ 500.000,-

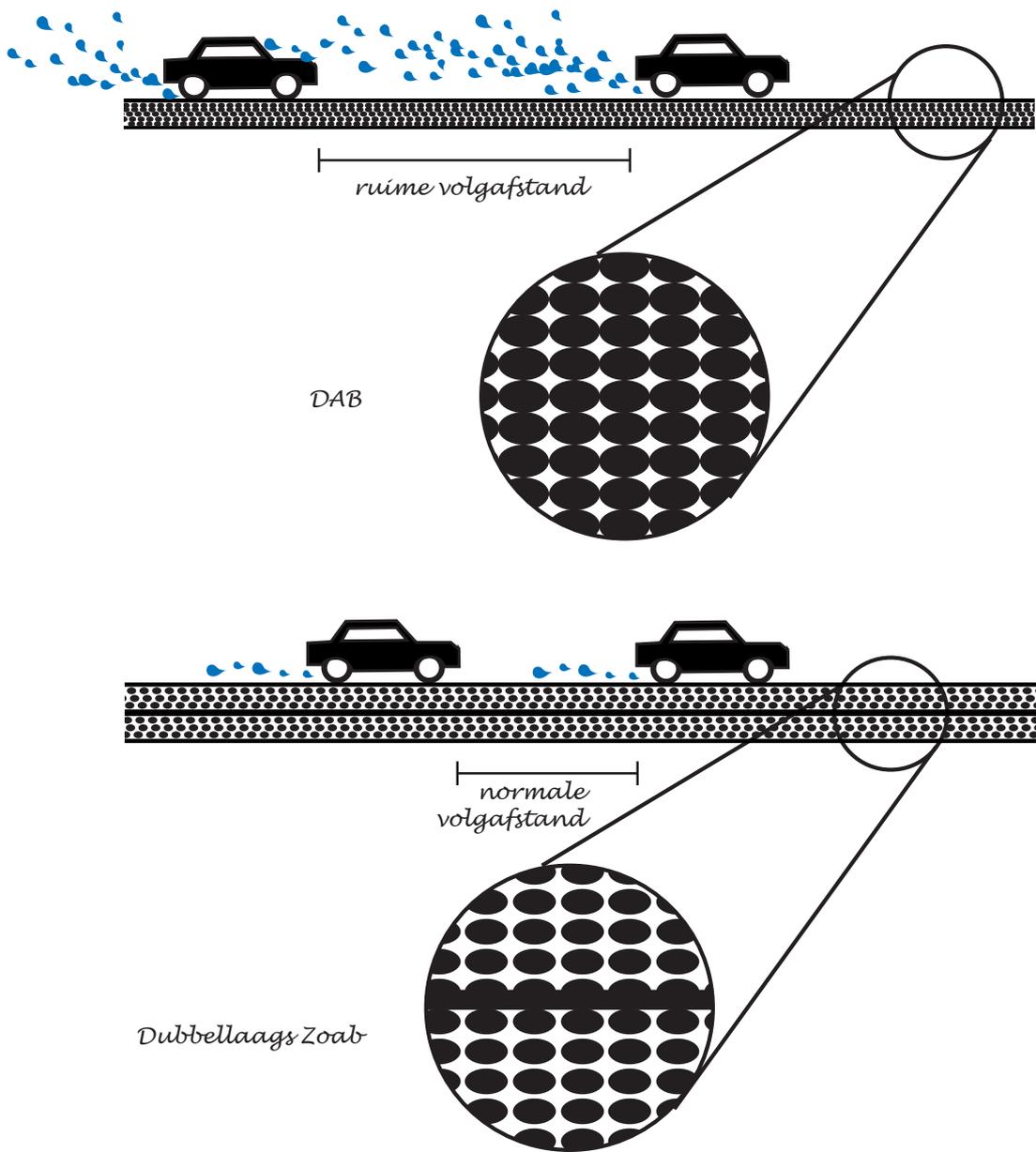
5.8.4 Verstoringen

Tabel 18

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar	Spitsdrukte Brugopening	Werk in uitvoering Vakantieverkeer Feestdagen
Niet voorspelbaar	Pechgeval Kleine ongevallen Regen	Calamiteiten Werk in uitvoering (noodmaatregel) Extreme weersomstandigheden

¹¹ Bij deze maatregel wordt uitgegaan van omleiden over het HWN. Leefbaarheid en veiligheidsaspecten zullen daar doorgaans geen beperking vormen bij het omleiden, waar dit op het OWN vaak wel het geval is.

Dubbellaags ZOAB



5.9 ZOAB

5.9.1 Beschrijving maatregel

Neerslag leidt tot een lagere capaciteit. Voertuigen hebben hinder van het opspattende water van hun voorligger en hebben een langere remweg. Hierdoor neemt de volgafstand toe en wordt de capaciteit kleiner. Bovendien leidt neerslag, vermoedelijk door dezelfde oorzaken, tot meer ongevallen (Kraay en Van de Hee, 2004). ZOAB watert beter af dan DAB waardoor water minder opspat en de remweg korter is.

5.9.2 Contra indicatie

- ZOAB is bedoeld om de geluidsbelasting te reduceren. De betere afwatering is een positief bijeffect.
- ZOAB kan slecht tegen vrachtverkeer met een (te) zware belading. Het inzetten van ZOAB op wegen met veel vrachtverkeer zal het aantal onderhoudsmomenten doen toenemen. Dit probleem kan deels worden beperkt door handhaving, bijvoorbeeld met het Weigh In Motion systeem.

5.5.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 19

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Verhardingskeuze voor ZOAB	Afname ernst van de verstoring en duur van de verstoring	Schatting 2 à 3% minder capaciteitsverlies bij regen en ca. 5% minder verlies bij zware regen. Wegdek tevens sneller droog	De kosten van ZOAB liggen op jaarbasis 50% tot 60% hoger dan van DAB. ¹²

5.9.4 Verstoringen

Tabel 20

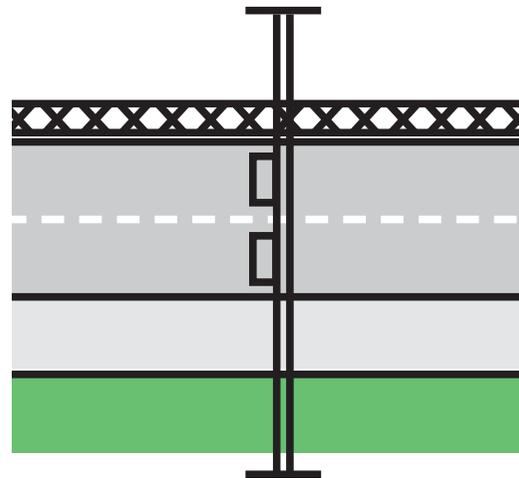
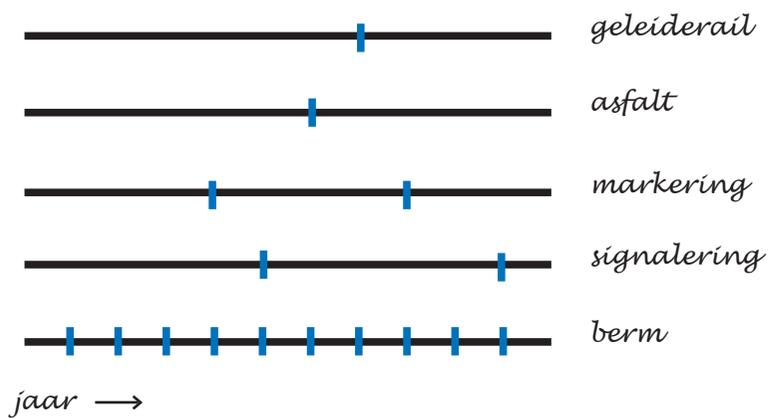
	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar		
Niet voorspelbaar	Regen	Extreme weersomstandigheden

¹² Bron: Kosten baten analyse ZOAB van CPB. Zie literatuurlijst.

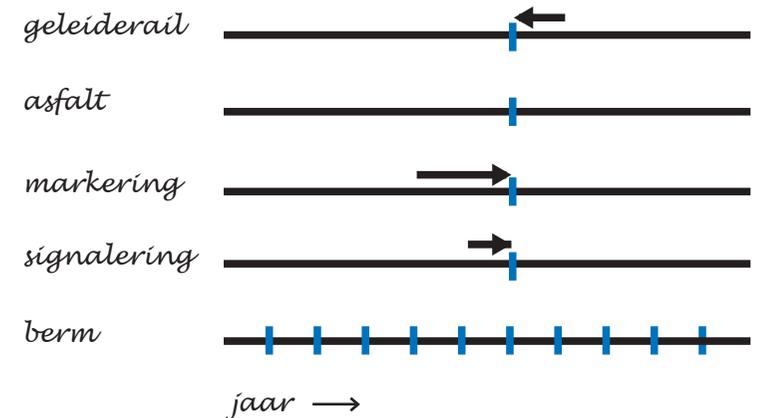
afstemmen levensduur infra en meubilair

| = onderhoudsmomenten

levensduur en onderhoud nu



levensduur en onderhoud afgestemd



5.10 Afstemmen levensduur onderdelen infrastructuur

5.10.1 Beschrijving maatregel

Weginfrastructuur is opgebouwd uit vele elementen die allen een zekere periode hebben waarna onderhoud of vervanging moet plaatsvinden. In beginsel zal voor ieder element datgene worden gekozen met de laagste kosten gedurende de levenscyclus. Bij die keuze horen voor ieder element bepaalde optimale onderhoudsmomenten. Vanuit de gedachte over robuustheid, is het echter het beste om het aantal onderhoudsmomenten aan de infrastructuur zo klein mogelijk te houden. Dit kan niet alleen door elementen met een lange levensduur te kiezen maar ook door de levensduur van elementen op elkaar af te stemmen. In de schets is te zien wat daarmee bedoeld wordt. Als er onderhoud gepleegd wordt, dan aan zoveel mogelijk elementen tegelijk. De elementen worden zo gekozen dat de tijdsintervallen voor onderhoud mooi op elkaar passen, waardoor de hinder voor het verkeer wordt beperkt.

5.10.2 Contra indicatie

- ❑ In beginsel kan de maatregel overal worden ingezet. Wanneer eenmaal voor bepaalde onderdelen is gekozen, dat wil zeggen in iedere bestaande situatie, dan zullen de mogelijkheden tot wijziging erg klein zijn. De maatregel moet dus vooral worden gezien als aandachtspunt bij het ontwerp van infrastructuur en onderhoudsschema.
- ❑ De maatregel kan alleen worden ingezet in situaties waarin de levensduur van onderdelen goed voorspelbaar is. Voor experimentele onderdelen van infrastructuur zal het moeilijk zijn de onderhoudsmomenten in te schatten.

5.10.3 Kosten en effecten maatregel

Tabel 21

	Effect kwalitatief	Effect kwantitatief	Kosten
Afstemmen levensduur onderdelen	Afname kans op verstoring	De capaciteitsreductie door WIU is weergegeven in bijlage 3. Het aantal keer dat een WIU voorkomen kan worden, zal sterk verschillen van situatie tot situatie. Mogelijkerwijs is het onderhoud zo omvangrijk dat afsluiten, omleiden en al het onderhoud doen in een korte periode het beste alternatief is.	De instandhouding van het HWN kost circa € 450.000.000,- per jaar waarvan € 200.000.000,- voor het asfalt. Afstemmen van de levensduur zal leiden tot een suboptimalisatie in de onderhoudsmomenten van de overige elementen waardoor de kosten hiervoor naar schatting met 5% zullen toenemen. De kosten komen daarmee op € 12.500.000,- / jaar. (voetnoot 9, blz. 24)

5.10.4 Verstoringen

Tabel 22

	Regelmatig	Niet regelmatig
Voorspelbaar		Werk in uitvoering
Niet voorspelbaar		

5.11 Overzicht van de voorbeelden van maatregelen

In de voorgaande paragrafen zijn een aantal voorbeelden van robuustheidverhogende maatregelen gegeven. Deze en andere voorbeelden zijn samengebracht in Tabel 23. De maatregelen die in het rood zijn weergegeven zijn in één van de voorgaande paragrafen aan bod gekomen.

Per maatregel zijn de volgende zaken opgenomen:

- Het effect van de maatregel in kwantitatieve zin. Voor zover bekend is hier informatie weergegeven over het effect van de maatregel. Hoeveel neemt de kans op een verstoring af? Hoe groot is de capaciteittoename?
- De kosten van een maatregel. Voor zover bekend is voor iedere maatregel een indicatie van de kosten gegeven. De bedragen moeten worden gezien als een globale aanduiding van de kosten. In specifieke situaties zullen de kosten sterk afwijken omdat bijvoorbeeld een fundering moet worden aangepast of een rijbaan profiel moet worden verbreed terwijl dit niet in de kostenindicatie is meegenomen. De meeste kosten zijn afkomstig van twee bronnen.
 1. Bron (1): Expertisecentrum Beheer en Onderhoud DWW.
 2. Bron (2): Effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen (Arcadis en Goudappel Coffeng, 2002).

Hiernaar is in de tabel verwezen met de aanduiding bron (1) en bron (2).

Daar waar van een andere bron gebruik is gemaakt, is dit in de tabel aangegeven.

- Het effect van de maatregel in kwalitatieve zin. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 4 gemaakte indeling in: kans op verstoring, ernst van de verstoring, duur van de verstoring, toename van de capaciteit en afname verkeersaanbod.

Tabel 23 Voorbeelden van maatregelen								
	Maatregel	Effect	Kosten	afname kans op verstoring	afname ernst van verstoring	afname duur van verstoring	extra capaciteit	afname verkeersaanbod
rijstrook:	ZOAB of dubbellaags ZOAB. Zie pagina 33 voor beschrijving en schets.	Schatting 2 à 3% minder capaciteitsverlies bij regen en ca. 5% minder verlies bij zware regen. Wegdek tevens sneller droog	De kosten van ZOAB liggen op jaarbasis 50% tot 60% hoger dan van DAB. Bron: Kosten baten analyse ZOAB van CPB. Zie literatuurlijst.		X	X		
	Verharde zijberm, met eventueel flexibele geleiderail in zijberm. Zie pagina 22 voor beschrijving en schets.	Schatting extra nood-capaciteit van ca. 500 vtg/uur	€ 17.500,- / km. Exclusief geleiderail en aanvullende fundering. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Wegverwarming	Afname files door gladheid, ijzel en sneeuwval. Na neerslag wegdek eerder weer vrij.	Technische uitvoering nog onduidelijk	X		X		
	Andere strooivormen	Afname files door efficiëntere reactie bij gladheid. Na neerslag wegdek eerder weer vrij	Technische uitvoering nog onduidelijk		X	X		
	Flexibele Rijbaanindeling. Zie pagina 26 voor beschrijving en schets.	ca. 30% meer capaciteit bij 2x2 -> 2x3	€ 1.000.000,- / km. Bron: (2) pagina 115) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
rijbaan:	Gebruik vluchtstrook (rijbaansignalering ook boven vluchtstrook). Zie pagina 26 voor beschrijving.	ca. 40% meer capaciteit bij 2x2, echter geen vluchtstrook direct bruikbaar bij incidenten	€ 770.000,- / km. Bron: (2) pagina 96) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Plusstroken. Zie pagina 26 voor beschrijving.	ca. 30% meer capaciteit bij 2x2 -> 2x3, maar behoud van vluchtstrook, dus snellere inzet hulpdiensten bij incidenten	€ 1.675.000 / km. Bron: (2) pagina 103) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Snelheidsmaatregelen (homogenere verkeersafwikkeling).	schatting ca. 5% hogere capaciteit. Door homogene snelheid minder kans op ongevallen en minder verstoringen bij passeren ongeval	€ 35.000 / km Bron: (2) pagina 160) zie toelichting tabel op pagina 35 .	X	X		X	
	Doorsteken naar onderliggend wegennet. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	Cap. winst afhankelijk van capaciteit OWN	De kosten voor een noodoprit bedragen € 120.000,- Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Enrichtingsverkeer op HWN, verkeer in tegenovergestelde richting via OWN.	bij 2x2 weg circa 4650 pae/uur extra in drukke richting. Wel sterke afname capaciteit in tegenovergestelde richting.	Aantal organisatorische maatregelen en politie inzet. Kosten afhankelijk beschikbare van organisatorische capaciteit.				X	

	Maatregel	Effect	Kosten	afname kans op verstoring	afname ernst van verstoring	afname duur van verstoring	extra capaciteit	afname verkeersaanbod
Wegvak:	Flexibele middengeleider.	ca. 40% extra capaciteit bij 2x2 naar 2x3. Wel minder capaciteit op tegengestelde rijbaan.	€ 100.000,- / km investeringskosten en € 500,- / km voor ieder gebruik. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Toeritdosering.	reductie verkeersaanbod, afhankelijk van de regelstrategie	€ 230.000,- tot € 700.000,- Bron: (2 pagina 148) zie toelichting tabel op pagina 35.					X
	Verlengen uitvoegstrook. Zie pagina 31 voor beschrijving en schets.	Verstoring wordt weggenomen. Als de verstoring ernstig en langdurig is zal er alsnog terugslag naar de hoofdrijbaan optreden. In dat geval wordt de duur van de verstoring beperkt.	€ 100.000,- bij opofferen vluchtstrook. € 1.000.000,- tot € 1.500.000,- bij herontwerpen afrit. Bron: (2 pagina 228) zie toelichting tabel op pagina 35.	X		X		
	Wisselstroken.	ca. 1200 vtg extra per uur, te gebruiken voor de drukste richting	€ 2.000.000,- / km Bron: (2 pagina 110) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Pechhavens (bij smalle of geen vluchtstrook).	minder oponthoud door voertuigen op de vluchtstrook. Bij een incident kan de weggebruiker de rijbaan zelf snel vrijmaken door het voertuig naar een pechhaven te verplaatsen. Volledige capaciteit van de rijstroken wordt benut. Bovendien wordt de kans op ongevallen kleiner.	€ 95.000,- / km. Geschat op basis van kosten "gebruik vluchtstrook voor doelgroep". Bron: (2 pagina 65) zie toelichting tabel op pagina 35.	X		X		
	Downgraden om hogere capaciteit te krijgen.	Snelheid tot ca. 80 km/h leidt tot optimale benutting van de capaciteit. Bij die snelheid mogelijkheid om extra strook te creëren. Bovendien wordt de kans op ongevallen kleiner.	€ 1.200.000,- / km. Geschat op basis van kosten herindeling dwarsprofiel. Bron: (2 pagina 90) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Volledig flexibele inrichting wegvak.	Snelheid tot ca. 80 km/h leidt tot optimale benutting van de capaciteit. Bij die snelheid mogelijkheid om extra strook te creëren.	technische uitvoering nog onduidelijk				X	
	Conflicten met andere infrastructuur bestrijden door aanleggen kunstwerken of beperken van aantal brugopeningen.	Kans op verstoring wordt naar 0 gebracht.	Kosten aquaduct > € 3.500.000,- Kosten ongelijkvloerse kruising met spoorlijn > € 3.000.000,- Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.	X				
	Trajectcontrole (voor homogenere verkeersafwikkeling).	Snelheid tot ca. 80 km/h leidt tot optimale benutting van de capaciteit. Bovendien wordt de kans op ongevallen kleiner.	€ 185.000,- / km (inclusief dynamische markering). Bron: (2 pagina 161 zie toelichting tabel op pagina 35.	X			X	

	Maatregel	Effect	Kosten	afname kans op verstoring	afname ernst van verstoring	afname duur van verstoring	extra capaciteit	afname verkeersaanbod
Weg:	Incident Management verruimen (sneller weg/baan/strook vrij maken door berger stand-by of berger en politiefunctie in zelfde voertuig, of verplichting/instructies aan weggebruiker om weg vrij te maken bij UMS). Zie pagina 29 voor beschrijving en schets.	Afname van wachttijden. Tijd tot weg vrij is zou met 5 minuten verminderd moeten kunnen worden.	Sterk afhankelijk van de omvang van het gebied en het aantal incidenten. Kosten centrale berger stand-by op jaarbasis € 100.000,-			X		
	Extra rijstroken aanleggen (verhoogd of als bypass).	grote toename capaciteit, afhankelijk van aantal stroken.	Extra rijstroken los van bestaande profiel € 4.500.000,- tot € 9.000.000,- / km. Bron: (2 pagina 80) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Realiseren buffers.	Verkleinen verkeersaanbod op stromen met hogere prioriteit. Preventief gebruiken van een buffer verkleint de kans op file en de filezwaarte. Effect hangt af van doseerregeling.	€ 500.000,- / km. Bron: (2 pagina 121) zie toelichting tabel op pagina 35.	X	X			X
	Overkappen van weg (m.n. tegen regen).	Kans op capaciteitsverlies door regen of andere weersomstandigheden wordt bijna tot 0 teruggebracht.	Informatie bij bouwdienst RWS Utrecht.	X				
	Verhoogd aan te leggen banen als dak (beschutting) gebruiken.	alternatief voor hierboven. Effect afhankelijk van mate van overkapping	Informatie bij bouwdienst RWS Utrecht.	X	X			
	Ontvlechten doorgaand en regionaal verkeer.	Kans op volledige blokkade voorkomen door 2x(2x2) i.p.v. 2x4. Bij blokkade blijft alternatief open.	Plaatsen barrier € 100.000,- / km. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.		X			

	Maatregel	Effect	Kosten	afname kans op verstoring	afname ernst van verstoring	afname duur van verstoring	extra capaciteit	afname verkeersaanbod
Netwerk:	DRIP's en omleiden via HWN. Zie pagina 32 voor beschrijving en schets.	Afname verkeersaanbod, afhankelijk van reistijd omleiding en bestemmingen.	€ 390.000,- / DRIP Bron: (2 pagina 189) zie toelichting tabel op pagina 35.					X
	Rijbaandosering. Wegvakken als buffer inrichten om route met hogere prioriteit beter te kunnen laten afwikkelen. Zie pagina 32 voor beschrijving en schets.	Verkleinen verkeersaanbod op stromen met hogere prioriteit. Effect hangt af van doseerregeling.	€ 500.000,- / km. Bron: (2 pagina 121) zie toelichting tabel op pagina 35.					X
	Omleiden via OWN. Daartoe omleidingroutes bewegwijzeren en dynamische bewegwijzering op HWN. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	Afname verkeersaanbod op HWN, afhankelijk van reistijd omleiding en capaciteit van het OWN.	Kosten flexibele bewegwijzering € 450.000,- / locatie. Bron: (2 pagina 195) zie toelichting tabel op pagina 35.					X
	IM uitbreiden op alle (aansluitende) wegen met een belangrijke stroomfunctie.	Afname van wachttijden. Tijd tot weg vrij is zou met 5 tot 10 minuten verminderd moeten kunnen worden.	Sterk afhankelijk van de omvang van het gebied en het aantal incidenten.		X			
	Tijdelijke regeling voor VRI's op OWN-route. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	Kortere reistijd op alternatieve route, afhankelijk van lengte en intensiteit.	€ 100.000,- Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Lokaal vergroten capaciteit OWN. Zie pagina 23 voor beschrijving en schets.	Van 1 naar 2 stroken op bottleneck vergroot capaciteit met 1930 pae/uur	Kosten extra strook OWN bedragen € 500.000,- tot € 1.000.000,- / km. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.				X	
	Verkeersinformatie (radio, in-car).	Afname verkeersaanbod, afhankelijk van reistijd omleiding en bestemmingen.	kosten maatregelen zeer sterk situatieafhankelijk					X
	Afstemmen levensduur systeemonderdelen. Zie pagina 34 voor beschrijving en schets.	Afname kans op verstoringen door WIU. Verstoringen zullen ook korter van duur zijn bij meer parallel plannen van WIU.	€ 1.500.000,- / jaar voor het HWN. Zie pagina 34 voor specificatie. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.	X		X		
	Wegwerkzaamheden plannen in 'rustige' periode.	Afname kans op verstoringen door WIU	kosten maatregelen zeer sterk situatieafhankelijk		X			
	Veel routekeuzes in netwerk.	Vergroten gebruik andere routes. Bij een incident is de capaciteitsreductie kleiner dan bij enkele routes met een hoge capaciteit.	kosten maatregel zeer sterk situatieafhankelijk		X		X	
	Prijsmaatregelen (meer aanbod = hogere prijs).	Afname verkeersaanbod	technische uitvoering nog onduidelijk					X
	Ontvlechten weefvak. Zie pagina 25 voor beschrijving en schets.	Afhankelijk van volume van wevende stromen. Een weefvak vermindert de capaciteit van de rechterrijstrook van de hoofdrijbaan met waarden tot 50%.	De op pagina 25 weergegeven variant € 600.000,- uitgaande van een voorziening voor incidenteel gebruik. Bron: (1) zie toelichting tabel op pagina 35.	X	X		X	

	Maatregel	Effect	Kosten	afname kans op verstoring	afname ernst van verstoring	afname duur van verstoring	extra capaciteit	afname verkeersaanbod
<u>Organisatorische maatregel</u>	Waarschuwing voor drukte.	Afname verkeersaanbod	De kosten van organisatorische maatregelen hangen sterk af van de aanwezige faciliteiten en organisatorische capaciteit.					X
	Wijzen op alternatief vervoer.	Afname verkeersaanbod						X
	Inrichten verdeelpunten, op strategische knopen van weg, water en rail, zodat andere vervoerwijzen gekozen kunnen worden.	Afname verkeersaanbod						X
	Weeralarm ook bij minder ernstige weersomstandigheden die de capaciteit nadelig beïnvloeden.	Afname verkeersaanbod						X
	Geen techniek en onderhoud in middenberm.	Afname verkeersaanbod, afstemmen op beschikbare capaciteit.		X				X
	Parkeertarieven of eventuele andere vormen van beprijzing flexibel inzetten.	Afname aantal WIU-acties die leiden tot verkeershinder.		X				
	Tijdelijke verboden (bijvoorbeeld niet parkeren in gebied x met koninginnedag).	Afname verkeersaanbod						X

6. Literatuur

- Adviesdienst verkeer en vervoer. (2002) Kansen en bedreigingen van een pilot met flexibele rijbaanindeling. Rotterdam, Adviesdienst verkeer en vervoer.
- ARCADIS, Goudappel Coffeng (2002) effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen. Rotterdam, Adviesdienst verkeer en vervoer.
- Bell, M.G.H. and Cassir, Editors. (2000) Reliability of Transport Networks, Research Studies Press, Baldock, Hertfordshire, England
- Bell, M.G.H. e.a. (2001) The Network Reliability of Transport, International Symposium on Transportation Network Reliability, Kyoto 2001
- Berghout, E.A. , van de Broeke, A.M. , Immers, L.H. (2003) Architectuur Regionale Netwerk Ontwikkeling. TNO Inro rapport 2003-57. Delft, TNO.
- Bovy, P. Delsing, P. Immers, B. van Rheenen, P. van Zuylen, H. (2004) Syllabus cursus Robuustheid en betrouwbaarheid. Delft, PAO.
- DHV Milieu en Infrastructuur BV. (2003) Handreiking benuttingmaatregelen knooppunten. Bouwdienst Rijkswaterstaat.
- Geuze, M.J. e.a. (1998) De invloed van het weer op de verkeersafwikkeling. Meteo Consult.
- Immers, B. , Snelder, M. , Wilmink, I. (2004) De begrippen betrouwbaarheid en robuustheid nader verklaard. Bijdrage aan het colloquium vervoersplanologisch speurwerk 2004. Zeist.
- Kraay, J. en v.d. Hee, I. (2004) Weer en verkeer.
- Lam, W.H.K. (1999) Editorial Network Reliability and Transport Modelling, Special Edition Journal of Advanced Transportation, vol. 33 no. 2.
- Van der Loop, H. (2004) Betrouwbaarheid van reistijden. Rotterdam, Adviesdienst verkeer en vervoer.
- Schuurman, H. (2002) Capaciteitswaarden Infrastructuur autosnelwegen. Rotterdam, Adviesdienst verkeer en vervoer.
- Visser, J. en Molenkamp, L. (2004) Vulnerability quick scan of a national road network. Rotterdam, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.
- Kosten baten analyse ZOAB van CPB.
<http://www.cpb.nl/nl/general/org/program/mi/data/reistijdbatenZOAB.xls>
- Toespraak van de minister van Verkeer en Waterstaat, Karla Peijs, bij het in ontvangst nemen van de brochure 'Deltanet, naar een samenhangend wegennet voor de Randstad'. http://www.minvenw.nl/cend/dco/nieuws/cgi-bin/vwn_p.pl?arch_srcID=2181
- Verslag Belangengroepenoverleg OTB Randweg Eindhoven
<http://www.minvenw.nl/rws/dnb/projecten/randwegeindhoven/dlds/verslagbelangenoverleg06112001.doc>

Bijlage 1 Totstandkoming definitie robuustheid

Nederlandse vakliteratuur

De term robuustheid wordt geregeld gebruikt in de Nederlandse vakliteratuur. De laatste jaren zelfs steeds vaker. Zo komt de term robuustheid naar voren in notities over de Nederlandse verkeerssituatie. Daarin wordt veelal geconstateerd dat ons wegennet niet robuust genoeg is. Er worden diverse voorbeelden genoemd van omstandigheden die er al snel toe leiden dat de infrastructuur niet in staat is om haar taak te vervullen, namelijk het afwikkelen van verkeer. Het systeem is gevoelig voor verstoringen en bezwijkt (te) snel.

Gedeelte uit de toespraak van de Minister van Verkeer en Waterstaat, Karla Peijs, bij het in ontvangst nemen van de brochure 'Deltanet, naar een samenhangend wegennet voor de Randstad', op donderdag 11 maart 2004.

Dames en heren,

*Toen het een week of twee geleden sneeuwde, stond Nederland weer eens compleet stil. Dat is niet alleen ergerniswekkend, het kost ook handenvol geld en is dus heel slecht voor onze economie. Die dag bleek eens temeer hoe **gevoelig** ons verkeersnet intussen is geworden **voor verstoringen**. En als alleen sneeuw tot verkeersproblemen zou leiden, dan viel het nog wel mee. Maar ook elke aanrijding of ander incident leidt meteen tot opstoppingen, en daar hebben we natuurlijk veel vaker mee te maken.*

Ik wil daar wat aan doen. Daarom heb ik vorig jaar met Prinsjesdag een begroting gepresenteerd die erop gericht is om Nederland op korte termijn weer in de beweging te krijgen. U kent het recept waarschijnlijk nog wel. In het kort komt het hierop neer:

*een grote inhaalslag in het onderhoud: een toekomstinvestering in de **betrouwbaarheid** van het systeem,*

méér spitsstroken en andere slimme maatregelen om de files korter te maken, en nieuwe infrastructuur op de belangrijkste knelpunten, zoals de A4 Midden Delfland. Daar heb ik extra geld voor beschikbaar gesteld zodat de schop wat mij betreft nog deze kabinetsperiode de grond in kan.

.....

*Waar reizigers en bedrijven volgens mij vooral behoefte aan hebben, is een betrouwbare reistijd. Mensen vinden het vaak niet eens zo heel erg om in de file te staan, maar ze worden gek van de onvoorspelbaarheid van het systeem. Bovendien kost het bedrijven veel geld als ze niet goed kunnen plannen. Natuurlijk moeten de reistijden wel acceptabel zijn, zoals de heer Bruins net ook al terecht opmerkte. Met andere woorden: we moeten misschien wel accepteren dat er files staan, maar ze mogen niet te lang worden. Ik wil daar het mijne aan doen door de structurele files aan te pakken en de **robuustheid** van het netwerk te versterken. In de Nota Mobiliteit zal ik concreet aangeven wat de knelpunten zijn op het hoofdwegennet, en welke kwaliteit ik waar wil realiseren. Daarmee zijn de kaders voor de hoofdinfrastructuur gegeven. Vervolgens bent u aan zet om die kaders regionaal verder uit te werken.*

Niet alleen op landelijk niveau wordt over robuustheid gesproken. Ook bij regionale projecten wordt deze term gebruikt.

Gedeelte uit verslag Belangengroepenoverleg OTB Randweg Eindhoven:

*Langs zowel de hoofdrijbaan als parallelrijbanen is ruimte gereserveerd voor een derde rijstrook. M.u.v. zuidtangent waar reeds in het MMA van de trajectnota een derde rijstrook aanwezig was. Om deze derde rijstrook te kunnen aanleggen is altijd afzonderlijk Tracewetprocedure noodzakelijk. Vanwege het feit dat de dubbele bomenrij in de tussenbermen is weggelaten is ondanks de toevoeging van de **robuustheid** per saldo minder ruimte noodzakelijk.*

In de toespraak van de Minister wordt robuustheid in feite op dezelfde wijze gebruikt als in de daarvoor genoemde artikelen. Het product, in dit geval ons verkeers- en vervoerssysteem moet tegen een stootje kunnen. De Minister wil er aan werken dat het systeem ook bij de diverse soorten verstoringen blijft functioneren.

Uit het hierboven staande artikel kunnen we afleiden dat de term robuustheid ook wordt gebruikt om aan te geven dat een plan robuust is met het oog op de toekomst. Mocht er in de toekomst een extra rijstrook nodig zijn, dan is daar nu al rekening mee gehouden. Het plan hoeft dan niet geheel opnieuw uitgewerkt te worden. Het plan is zogenaamd 'toekomstbestendig'.

TNO heeft een rapport opgesteld voor AVV, genaamd 'Architectuur Regionale Netwerk Ontwikkeling'. Ook hierin komt de term robuustheid aan de orde (pag. 13 en 14).

Robuustheid

De keuze voor een stelselmatige opbouw van het netwerk, waarbij elk stelsel een zekere mate van samenhang vertoont, leidt tot de volgende netwerkkarakteristieken:

- *Wegen uit het ene stelsel kunnen fungeren als terugvaloptie voor wegen uit het andere stelsel, bijv. bij een ongeval of een tijdelijke afsluiting als gevolg van werkzaamheden;*
- *De verkeersknooppunten worden minder zwaar belast*
- *Het netwerk als geheel biedt meer mogelijkheden voor toepassing van dynamisch netwerk- en verkeersmanagement..*

*Bovenstaande kenmerken (complementariteit tussen HWN en regionale netwerk) vergroten de **robuustheid** van het netwerk, in die zin dat het netwerk beter in staat is tijdelijke verstoringen in de verkeersafwikkeling op te vangen. Voorwaarde is wel dat men via de terugvaloptie (het andere stelsel) over een zekere restcapaciteit beschikt die ten tijde van capaciteitsbeperkingen op andere stelsel kan worden ingezet (met gebruikmaking van verkeersbeheersingssystemen). Door het onderscheiden van stelsels (met bijbehorende gebruikers) wordt echter ook een zekere mate van inefficiëntie geïntroduceerd; er is sprake van verschillende systemen met hun eigen onevenwichtigheden. De onevenwichtigheden in één systeem kunnen als gevolg van het ontvlechten moeilijker in een ander systeem worden opgevangen. Dit probleem zou kunnen worden ondervangen door systemen zoveel mogelijk parallel te ontvlechten en de mogelijkheid in te bouwen om capaciteit over te hevelen van het ene stelsel naar het andere stelsel, bijvoorbeeld door een dynamische flexibele wegafscheiding. Anderzijds is een bepaalde mate van restcapaciteit (redundantie) gewenst om een zekere mate van **robuustheid** van het netwerk te waarborgen.*

Duidelijk is dat het hier met name gaat over de robuustheid van het netwerk van wegen, waarbij andere wegen over restcapaciteit moeten beschikken.

Een volgend document waar het begrip robuustheid veelvuldig aan de orde komt is de syllabus van de cursus Robuustheid en betrouwbaarheid van weginfrastructuur (PAO, Delft, februari 2004). Hieronder zijn tekstdelen uit de presentaties van Prof. Dr. Henk van Zuylen (TU Delft), Petra Delsing (RWS-AVV), Peter van Rheenen (EVO), Ben Immers (TNO Inro) en Piet Bovy (TU Delft) weergegeven.

Henk van Zuylen geeft aan dat de robuustheid van een vervoersysteem ook wel elasticiteit of veerkracht wordt genoemd. Het gaat daarbij om de mate waarin een vervoerssysteem betrouwbaar blijft wanneer onverwachte voorvallen optreden.

Belangrijk is hierin de term onverwachte voorvallen. Dit blijkt met name uit de voorbeelden die Van Zuylen noemt van incidenten die ervoor zorgden dat het wegvervoer over lange tijd en over een groot gebied ernstige congestieproblemen kreeg:

- *Het jaarlijkse Pinksterweekend.*
- *De bommelding voor de tunnels onder het Noordzeekanaal vlak na 11 september 2001.*
- *Gekantelde vrachtwagen op de A50 en de A16.*
- *Een brandend viaduct op de A16.*
- *Een brandenden LPG tankwagen op de A2 bij Eindhoven.*
- *Dijkbreuk bij 's-Hertogenbosch.*
- *Stevige sneeuwval op 29 januari 2004-06-24 Boze boeren die in 2001 met tractoren de weg opgingen.*

In zijn inleiding geeft Van Zuylen enkele mogelijke definities van robuustheid:

- *Toename van de reistijd na een incident;*
- *Toename filelengte en –duur na een incident;*
- *Afname van het aantal voltooide ritten per uur na een incident.*

Petra Delsing geeft in de PAO syllabus de volgende definitie van robuustheid.

Robuustheid is de mate van functiebehoud bij verstoringen.

Als functie geeft zij op dat het (hoofd)wegennet drager is van:

- *Internationaal verkeer (o.a. mainports)*
- *Nationaal (interregionaal) verkeer*
- *Regionaal verkeer*
- *Lokaal verkeer*

Zij geeft tevens een 4-delning van mogelijke verstoringen:

	<i>Alledaags</i>	<i>Uitzonderlijk</i>
<i>Verwacht</i>	<i>Spitsen</i>	<i>Onderhoud</i>
	<i>Brugopeningen</i>	<i>Vakantie-uittocht</i>
<i>Onverwacht</i>	<i>Ongevallen</i>	<i>Calamiteiten</i>
	<i>Regen, mist</i>	<i>Extreem weer</i>

In haar bijdrage maakt Delsing een duidelijk onderscheid tussen de alledaagse en te verwachten verstoringen (spitsen en brugopeningen en de andere Onverwachte en uitzonderlijke verstoringen.

Als kenmerken van een robuust systeem noemt Delsing:

- *Verstorings-ongevoelige onderdelen.*
 - √ *Beproefd*
 - √ *Onderhoudsarm*
 - √ *Korte hersteltijd*
- *Onderdelen nemen elkaars functie over.*
 - √ *Verknoping*
 - √ *Restcapaciteit*
 - √ *Organisatie*
 - √ *Flexibiliteit*
 - √ *Alternatieven op diverse niveaus*
- *Terugvaloptie, met behoud van primaire functie.*

Peter van Rheenen gaat in op de betrouwbaarheid van logistiek. Hij geeft de volgende definitie van robuustheid.

Robuustheid is te definiëren als de mate waarin infrastructuur in staat is het verkeer te blijven verwerken wanneer de capaciteit van een deel van die infrastructuur voor een tijd niet gebruikt kan worden. Met andere woorden, als er en aanrijding plaatsvindt op en snelweg, kan het overige verkeer toch doorstromen of alternatieve routes gebruiken zonder dat de reistijd naar de bestemming daaronder lijdt.

Verder zegt Van Rheenen dat de kwaliteit van een dienst of product vooral wordt bewezen wanneer bijzondere omstandigheden zich voordoen zonder dat de bruikbaarheid er door achteruit gaat. Voor de weginfrastructuur betekent dit dat ook wanneer extreme omstandigheden optreden, er toch vervoer mogelijk blijft.

Van Rheenen concludeert dat de trend om de wegcapaciteit volledig te benutten, strijdig is met de beginselen van een robuust systeem.

In de definitie van Van Rheenen valt op, dat hij er bij robuustheid vanuit gaat dat het verkeer verwerkt kan blijven, 'zonder dat de **reistijd** naar de bestemming daaronder lijdt'. Ook spreekt hij over extreme omstandigheden waaronder vervoer mogelijk moet zijn.

Ben Immers betreft de rol van het onderliggende wegennet als het gaat om de robuustheid van het verkeerssysteem. Dit komt overeen met het eerder genoemde document Architectuur Regionale Netwerk Ontwikkeling.

*"Onder **robuustheid** verstaan we het vermogen van een systeem om de functie waarvoor het ontworpen is te blijven vervullen, ook in situaties die sterk afwijken van de reguliere gebruikersomstandigheden. De **robuustheid** van een systeem kan worden vergroot door een zekere reservecapaciteit in het systeem aan te brengen. Deze reservecapaciteit wordt veelal aangeduid met de term **redundantie**. De mate van **redundantie** bepaalt in hoeverre het systeem is gedimensioneerd voor afwijkende gebruiksomstandigheden. Deze reservecapaciteit kan op verschillende manieren in het systeem worden ingebouwd.*

*In zijn algemeenheid zal een systeem in staat zijn de beoogde functie te blijven vervullen indien vraag en aanbod goed op elkaar zijn/ blijven afgestemd. Deze benadering stelt ons in staat de **redundantie** en daarmee de **robuustheid** op verschillende wijze te implementeren, zoals:*

- *Overdimensionering van het aanbod (de capaciteit van een weg of netwerk) zodanig dat altijd aan de vraag wordt voldaan;*

- *Introductie van flexibiliteit in het aanbod, flexibiliteit in de vraag of flexibiliteit in aanbod en flexibiliteit in vraag; door vraag en/of aanbod te kunnen variëren kan flexibel een afstemming worden gerealiseerd tussen vraag en aanbod.*
Voorts kan redundantie op verschillende manieren in een netwerk worden ingebouwd:
- *Op strategisch niveau: locatie en concentratie van activiteiten; afstemming wonen, werken, winkelen onderling, netwerkstructuur, vormgeving knooppunten, afstemming activiteitenpatroon en netwerkstructuur. Op dit niveau is het voor de robuustheid van het transportsysteem van belang dat vermeden wordt dat men (gedurende een korte periode) met sterk geconcentreerde verkeersstromen wordt geconfronteerd. Dit fenomeen wordt veelal veroorzaakt door de inplanting van omvangrijke monofunctionele activiteiten (wonen gescheiden van werken en de pendelstromen die daardoor worden opgeroepen);*
- *Op tactisch niveau: multimodale verknoping van netwerken en inrichting van multimodale vervoersdiensten waardoor netwerkonderdelen en vervoerwijzen als terugvaloptie van elkaar kunnen fungeren;*
- *Op operationeel niveau: afstemming vraag en aanbod op het verkeersnetwerk; reservecapaciteit in het netwerk, flexibilisering van de beschikbare capaciteit middels ITS en DVM-maatregelen, zelflerende eigenschappen, zelforganisatie.*

Ook Piet Bovy geeft in de PAO-syllabus een eigen definitie van robuustheid.

Een systeem (bv. een netwerk of een dienstregeling) is robuust als relatief kleine verstoringen van het systeem de werking van het systeem nauwelijks nadelig beïnvloeden. Verstoringen zijn: het weer, fluctuaties in de vraag, incidenten, etc. Het systeem herstelt zich snel weer tot de normale prestatie. Betrouwbaarheid heeft te maken met verachtingen die aanbieders of gebruikers van een systeem (bv OV netwerk) hebben over de geleverde service/prestatie (bv beschikbaarheid, reistijd, tijdstippen, comfort) door het systeem. Het OV is onbetrouwbaar omdat de reis langer duurde dan verwacht, omdat de trein later aankwam dan verwacht. Slechte voorspelbaarheid van output is onder meer gekoppeld aan de onbetrouwbaarheid van een systeem. Er bestaat dan bij de aanbieders en gebruikers onzekerheid over de te verwachten prestaties van het systeem. Dat betekent dat zij dan bij hun acties (bv reisgedrag, investeedrag, ed) risico's moeten nemen; er is een kans dat het resultaat van hun actie ongewenst is, maar ook een kans dat het resultaat van de actie juist gunstiger is dan gehoopt. Robuustheid slaat dus op het functioneren van een gegeven systeem, betrouwbaarheid daarentegen op de kwaliteit van de services geleverd door een systeem.

Als we deze interpretaties vergelijken, dan valt op dat Van Zuylen en Bovy bij robuustheid over verschillende soorten verstoringen praten. Van Zuylen noemt enkele voorvallen die we als zeer bijzondere incidenten kunnen beschouwen. Van Rheenen en Bovy spreken bij robuustheid over de invloed van relatief kleine verstoringen. Daarbij legt Bovy een duidelijke link met wat de gebruiker kan verwachten. Zware sneeuwval bijvoorbeeld zal tot grote problemen leiden en iedereen zou moeten snappen dat RWS daar, uit preventief oogpunt, niets tegen kan doen. Uit de opmerkingen van Bovy mag je afleiden dat, als het gaat om robuustheid in zijn ogen het systeem niet tegen dergelijke bijzondere verstoringen bestand hoeft te zijn.

In de Nederlandse literatuur zijn geen voorbeelden gevonden waarin over de robuustheid op het niveau van stroken, banen, wegvakken, of wegen wordt

gesproken. Onder het product dat de toets der robuustheid moet kunnen doorstaan wordt door de meeste auteurs het stelsel van wegen beschouwd. Het netwerk van wegen met een belangrijke stroomfunctie, dus het hoofdwegenet, een groot gedeelte van de provinciale wegen en enkele belangrijke stedelijke wegen.

Terugvalopties op andere wegen in het netwerk worden het meest genoemd.

Buitenlandse literatuur

Wat vinden we in de buitenlandse literatuur? In de Engelstalige literatuur komt de term 'reliability of transport networks' veelvuldig voor. In de meeste publicaties lijkt het vooral om de betrouwbaarheid van netwerken te gaan en maatregelen die – op netwerkniveau – kunnen worden getroffen om de betrouwbaarheid voor weggebruikers te vergroten. Naast de term 'Reliability' (= betrouwbaarheid) wordt ook vaak de term 'Probability' (= waarschijnlijkheid) gebruikt.

The reliability of a transportation network can be defined as the probability of one or more of its links either functioning or failing to function.

Oftewel; De betrouwbaarheid van een netwerk kan worden omschreven als de waarschijnlijkheid dat een of meer elementen van het netwerk functioneren of niet functioneren.

Reliability of transport networks, M.G.H. Bell, 2000

High profile traffic accidents have highlighted the susceptibility of transport networks to severe dislocation from time to time. This is more than just an inconvenience, as the emergency services depend on the residual transport network to ferry in help and ferry out the wounded. Spurred on by the catastrophic effects on the transport network of the Kobe earthquake, 17 January 1995, Yasunori Iida of Kyoto University, Japan, brought together a small group of international experts to work on the topic of network reliability. The objective of the work is to provide the tools necessary for designing more reliable transport networks. As part of the work, an international seminar was convened in July 1999. This book contains the edited contributions to the seminar.

The issue addressed in the book is not the reliability of individual network components, like bridges or tunnels, which is of course an interesting topic in its own right, but rather the reliability of the network as a whole when parts of it are not performing well. The transport networks of large conurbations are constantly subjected to disruptions due to accidents, road or rail works, adverse weather, building works, demonstrations, terrorist incidents, etc. The book deals with crucial issues relating to the measurement of reliability, traveller decision-making under uncertainty, the provision of information to travellers, and the design of transport networks.

Ook dit document richt zich op het niveau van netwerken en niet op de individuele componenten. De betrouwbaarheid van het gehele netwerk wordt in ogenschouw genomen op het moment dat onderdelen niet goed functioneren.

The Network Reliability of Transport, International Symposium on Transportation Network Reliability, Kyoto 2001

This book is an outcome of the First International Symposium on Transport Network Reliability (INSTR), held at Kyoto in 2001, and consists of 24 selected papers. It covers various aspects of transport network reliability, such as definitions and methodological developments for reliability indices, behavioural analysis under uncertainty, evaluation methods for the disaster resistance of transport networks, and simulation/observation of travel time reliability.

Network Reliability and Transport Modelling, Special Edition Journal of Advanced Transportation, vol. 33 no. 2 summer 1999

With increasing demands for better and reliable service due to improvements in the quality of life, many systems (such as the communication networks and drainage systems) have incorporated "reliability analysis" as an integral part in their planning, design and operation. However, very little attention has been given to the reliability analysis of road networks. On the other hand, Intelligent Transport System (ITS) has developed rapidly in recent years. Impetus was received from the investigation of the effects of ITS on two types of road congestion; namely, recurrent and non-recurrent congestion. The former is referred to as the predictable traffic conditions caused by an excess of demand over supply, following a defined pattern, e.g. peak period traffic and seasonal variations. The latter includes non-recurrent congestion situations resulting from a temporary reduction in the capacity of a length of road due to accidents, bad weather, construction works or other short-term disruptions to traffic flow. The introduction of ITS and the concept of "reliability analysis" has generated an urgent need for better understanding of road network reliability under recurrent and non-recurrent congestion scenarios.

In the International Workshop on Network Reliability and Transport Modelling, held in Hong Kong in December 1998, experts from Australia, Canada, Hong Kong, Japan and UK have presented papers on network reliability and transport modelling. Among them, a number of papers are focused on the subject of road network reliability which is of particular interest to practicing engineers and researchers involved in transport network design and analysis. These papers are worthy of further elaboration and expansion. This Special Issue is devoted to the subject of network reliability and to provide a broader platform for dissemination of the research findings by these authors. In total, eight papers are included in this issue and they are presented as follows.

In the first paper, Iida provides a comprehensive review of the basic concepts of road network reliability. Future directions of network reliability are also discussed on various aspects for practical use.

*In the second paper, Bell presents a game theoretical approach for assessing the **robustness** of transport networks. A hypothetical game is envisaged between utility maximising network users on the one hand and a utility minimising "evil entity" on the other. It is shown that the mixed strategy Nash equilibrium for this game offers a useful measure of network reliability, as it is the utility that would prevail if network users were extremely pessimistic.*

The third paper of this issue is on evaluation of network reliability using a logit-based stochastic user equilibrium (SUE) approach. Asakura proposes an evaluation process for measuring the performance reliability of a road network with some closed or partially degraded links. A multi-class SUE model is used to assess the effects of providing travel information in a network with two groups of road users: informed and non-informed drivers. It is found that providing information generally increases network performance reliability in terms of the probability of connectivity of an origin-destination (O-D) pair or the probability that the travel time between an O-D pair is within an acceptable limit.

In the fourth paper, Lam and Xu use a probit-based SUE approach to develop a traffic flow simulator (TFS) for assessing the road network reliability in terms of travel time reliability. A more attractive approach of the TFS is to estimate link flows and to update the O-D matrix in one stage on the basis of prior O-D demand and partial traffic count data. Moreover, it can also estimate link and path travel times together with their variance and co-variance.

In the fifth paper, Chen et al introduce the capacity related reliability for transportation networks with random link capacity due to disturbances such as accident and bad weather. A Monte Carlo simulation procedure is used to estimate the capacity related reliability which is defined as the probability that the road network can accommodate a certain level of traffic demand, and is built on the concept of network reserve capacity.

In the sixth paper, Wong and Yang present an iterative scheme for a combined signal optimisation and assignment problem in a road network. The signal settings are optimised by means of a group-based technique while a path-based assignment algorithm is used to solve the traffic assignment problem. For the evaluation of network performance by optimising the signal settings, a performance index of the road network is used and considered as the total travel time in vehicle-hours/hour. In order to examine the convergence of the proposed approach and to test the reliability of the performance index, a random offset method is employed in which the iterative scheme is applied to a number of starting points each with a distinct set of initial signal offsets at intersections. It is found that the iterative scheme is always able to produce good results even with different starting points. Moreover, the probability distribution of the optimised performance index can also be obtained for the whole study network.

Taylor contributes the last two papers to dense network modelling with two main themes. The first one discusses the changing nature of traffic management technology and the underlying objectives behind traffic management practice, while the second one is concerned with the use of measures of network reliability in models particularly as an element of the evaluation of alternative network configurations.

A better understanding of the network reliability will enable us to design more economical and efficient road networks and to ensure the reliability of these road networks under re-current and non-recurrent congestion scenarios. In conclusion, the editor hopes this issue will bring the subject of network reliability to the attention of the researchers. I hope it that it will lead to the advancement of modelling techniques and solution algorithms, as well as lead to practical applications of network reliability concepts.

Ook in de buitenlandse literatuur wordt vooral over de robuustheid van netwerken gesproken. De elementen waaruit het netwerk is opgebouwd komen niet aan de orde. Robuustheid lijkt alleen te kunnen bestaan als je op netwerkniveau kunt beschikken over restcapaciteit. Vooral de mogelijke middelen om daar dan efficiënt gebruik van te kunnen maken, worden modelmatig in beeld gebracht.

Tevens wordt in de buitenlandse literatuur een sterke relatie gelegd tussen robuustheid en betrouwbaarheid. Als een systeem robuust is, dan wordt de kans dat het zijn functie niet kan vervullen klein verondersteld en is het systeem dus betrouwbaar. Je kunt gevoeglijk aannemen dat het systeem bij gebruik goed zal functioneren. Het vertrouwen bij de klant in het product zal groter worden.

Betrouwbaarheid hangt dus sterk samen met hetgeen je van tevoren hebt beloofd of mag verwachten. Als je als wegbeheerder vaststelt dat er in de spits files zijn die leiden tot een extra reistijd van X minuten, dan zal de klant dit systeem betrouwbaar vinden als de vertraging niet groter uitvalt. De spreiding rondom die vertraging mag niet te groot zijn.

Zolang deze extra reistijd niet toeneemt zal de gebruiker het systeem als robuust ervaren. Wanneer echter buiten de spits sprake is van extra reistijd door een verstoring, dan neemt de betrouwbaarheid dus af en wordt het systeem als minder robuust beschouwd.

Analyse van de voorlopige definitie

In het projectvoorstel van Traffic Test is de volgende voorlopige definitie voor robuustheid opgenomen:

"Robuustheid is de ongevoeligheid van een strook, baan, wegvak, weg of netwerk voor verstoring van de functie door gebeurtenissen."

In de volgende paragrafen zullen we de diverse elementen waaruit de definitie is opgebouwd analyseren en op basis van de uitkomsten de definitie aanpassen. Daarbij zal uiteraard een link worden gelegd met de informatie die uit de literatuurstudie is opgedaan.

Op basis daarvan kan worden beoordeeld in hoeverre de definitie aangepast of aangevuld moet worden. Ongeacht de uiteindelijke definitie van robuustheid spelen de volgende termen een belangrijke rol:

De mate van verstoring

Door diverse gebeurtenissen kan de functie van de infrastructuur geheel of gedeeltelijk worden verstoord. Zo zal een ongeval resulteren in een blokkade van één of meer rijstroken. De functie van deze rijstrook of rijstroken wordt voor 100% verstoord. Regen daarentegen zal de functie van de gehele weg of wegvak, slechts gedeeltelijk beïnvloeden, met bijvoorbeeld 5% (lichte regen) tot 20% (bij een zware regenbui). Gladheid kan de functie met misschien wel 50 of 80% doen afnemen.

De onderdelen van de infrastructuur

Rijkswaterstaat maakt onderscheid naar de verschillende onderdelen waaruit de infrastructuur is opgebouwd:

- Rijstrook
- Rijbaan
- Wegvak
- Weg
- Netwerk

De literatuurstudie leert dat er eigenlijk alleen op netwerk niveau over robuustheid wordt geschreven. Toch geven praktijkvoorbeelden duidelijk aan dat ook op het niveau van rijbaan, wegvak en weg er mogelijkheden liggen om de beschikbare restcapaciteit bij verstoringen te kunnen benutten.

De verschillende verstoringen

Daarnaast heeft Rijkswaterstaat de verschillende verstoringen in 4 groepen ingedeeld:

- Regelmatige en voorspelbare verstoringen, zoals dagelijkse files in het woon-werk-verkeer.
- Regelmatige en onvoorspelbare verstoringen, zoals pechgevallen, kleine ongevallen, hoge vrachtauto's bij tunnels (hoogte meldingen), regen (weersomstandigheden).
- Onregelmatige en voorspelbare verstoringen, zoals werk-in-uitvoering en de files in het vakantieverkeer en rondom feestdagen.
- Onregelmatige en niet voorspelbare verstoringen, zoals calamiteiten en extreme weersomstandigheden als sneeuwstorm, ijzel en dergelijke.

In definitie van robuustheid wordt gesproken over de functie van het systeem. Een belangrijke vraag is hoe we de functie van ons wegennet definiëren. In eerste instantie kunnen we kort zijn over de functie. De infrastructuur is aangelegd om het verkeer af te wikkelen.

De volgende vraag die gesteld kan worden is, op welke kwaliteitsniveau de afwikkeling moet plaatsvinden. Oftewel, wat verwachten we van ons verkeerssysteem als het gaat om de kwaliteit van afwikkelen (de rijsnelheid, of de reissnelheid). Van der Loop (van der Loop, 2004) gaat in op de betrouwbaarheid van de reistijd. Vertragingen zijn acceptabel zolang ze voor de gebruiker maar te voorzien zijn, hoewel natuurlijk ook voorzienbare vertragingen niet eindeloos mogen blijven oplopen. Niet zozeer het reistijdverlies maar de spreiding in reistijden rond de geschatte reistijd moet worden aangepakt. Als een van de oorzaken van een onbetrouwbare reistijd noemt van der Loop de kwetsbaarheid van het netwerk. We zouden ook van robuustheid kunnen spreken.

Ook Immers (Immers, Snelder, Wilink, 2004) koppelt de begrippen robuustheid en betrouwbaarheid. Ook Immers beschouwt robuustheid daarin als een producenteterm. De aanbieder van het systeem wil zijn systeem zo inrichten dat het verkeer wordt afgewikkeld ondanks verstoringen.

Betrouwbaarheid daarentegen is veel meer een consumentenbegrip. De gebruiker wil er op kunnen vertrouwen dat hij op een vooraf ingeschat tijdstip aan kan komen op de plek van de bestemming.

De functie van het systeem heeft derhalve een sterke relatie met de manier waarop de wegbeheerder en de gebruiker tegen het gebruik aankijken. Wat verstaat de wegbeheerder onder de functie en wat denkt de gebruiker.

- Functie vanuit de wegbeheerder. Afwikkelen van verkeer op een veilige wijze met een bepaalde normsnelheid. Op netwerkniveau zal de wegbeheerder kijken naar de netwerkprestatie met indicatoren als voertuigverliesuren, gemiddelde reistijd van een aantal routes
- Functie vanuit de gebruiker. Afwikkelen van verkeer op een veilige wijze en met een snelheid die overeenkomt met de op die plaats en die tijd verwachte snelheid. Hierbij wordt in de spits rekening gehouden met extra

reistijd, doordat er op sommige plaatsen door congestievorming langzamer wordt gereden. De weggebruiker houdt echter weinig tot geen rekening met extra reistijd door bijvoorbeeld regenval, die tot langere files leidt.

De gebruiker wijdt de dagelijkse structurele file dus niet aan het niet robuust zijn van het verkeerssysteem, maar aan het niet beschikken over voldoende capaciteit om het te verwachte verkeersaanbod te kunnen verwerken. Zolang dit tot inschatbare reistijdverliezen leidt zal hij het systeem niet als onbetrouwbaar beoordelen. We kunnen hier een verbinding maken met de indeling van verstoringen uit de vorige paragraaf. Daarin is immers gesproken over de voorspelbaarheid en regelmaat van verstoringen. De gebruiker zal rekening houden met de regelmatige en voorspelbare verstoringen. Reistijdverliezen veroorzaakt door die regelmatige en voorspelbare verstoringen zullen door de gebruiker niet als onbetrouwbaarheid worden gezien.

Concluderend kan gesteld worden dat er functieverlies optreedt wanneer de gebruiker te maken heeft met een onbetrouwbare reistijd. Voor de praktijk betekent dit dat reistijdverliezen in de spits acceptabel zijn zolang ze voorspelbaar zijn (dit betekent vooral een niet te grote spreiding). Onverwachte reistijdverliezen buiten de spitsperioden zijn voor de weggebruiker niet acceptabel. Deze constatering geven de wegbeheerder een aanknopingspunt om te bepalen wanneer er sprake is van functieverlies.

De tijdsperiode

De robuustheid van infrastructuur kan in de tijd variëren. Zo kan een weg buiten de spits en in de weekenden prima voldoen, terwijl op werkdagen in de spitsperioden de geringste verstoring tot functieverlies leidt.

In zijn algemeenheid kun je stellen dat een systeem alleen robuust is als het altijd bestand is tegen verstoringen. En dus moet infrastructuur ook in de spits tegen een stootje kunnen. Daartegenover staat dat het beleidsuitgangspunt is dat Nederland haar infrastructuur niet wil en kan dimensioneren op een niveau waar slecht 2 à 4 uur per dag vraag naar is.

Een deel van de dagelijkse files moeten we dus accepteren, oftewel het systeem hoeft niet zo robuust te zijn, dat die pieken in intensiteit opgevangen kunnen worden (de regelmatige en voorspelbare verstoringen). Tegen alle andere verstoringen zou het systeem wel (beter) bestand moeten zijn.

Deze constatering heeft een directe relatie met hetgeen in de vorige paragraaf is beschreven.

Herziene definitie

Op basis van de analyse van bovenstaande paragrafen en een uitgebreide discussie in de werkgroep is de volgende werkdefinitie voor dit onderzoek opgesteld:

Robuustheid is gedefinieerd als de ongevoeligheid voor verstoringen op rijstrook, rijbaan, wegvak, weg of netwerkniveau, inclusief de inrichting en uitrusting ervan, zodat de functie behouden blijft. De functie is beleidsafhankelijk en kan variëren, bijvoorbeeld de mate van betrouwbaarheid en kan mogelijk ook differentiëren naar doelgroepen. In bredere context omvat de robuustheid alle elementen van netwerkmanagement, dus inclusief bijvoorbeeld Incidentmanagement en informatievoorziening.

Bijlage 2 Filecijfers

Door AVV worden de volgende 8 oorzaken gehanteerd, met de volgende codering:

Tabel 24 Codering 8 fileoorzaken (Bron: AVV).

Code	omschrijving oorzaak
0	Kijkfile
1	Wegwerkzaamheden overdag (07.00 - 19.00)
2	Wegwerkzaamheden 's nachts (19.00 - 07.00)
3	Ongeval
4	Intensiteit/capaciteit (knelpunt buiten de spits)
5	Ochtendknelpunt (06.00 - 10.00)
6	Avondknelpunt (16.00 - 19.00)
7	Overige oorzaken (weer, evenementen, vakantie)

In Tabel 2 zijn de filegegevens van 2001 t/m 2003 weergegeven per oorzaak. Zowel de absolute aantallen als de percentages zijn vermeld. De laatste kolom bevat de procentuele verdeling over de drie jaren.

Tabel 25 Aantallen en percentages files naar oorzaak (Bron: AVV)¹³.

code	omschrijving oorzaak	2001		2002		2003		TOTAAL
		Abs.	Perc.	Abs.	Perc.	Abs.	Perc.	Perc.
0	Kijkfile	287	0,8	269	0,8	315	0,9	0,9
1	Wegwerkzaamheden overdag (07.00 - 19.00)	1112	3,2	775	2,4	951	2,8	2,8
2	Wegwerkzaamheden 's nachts (19.00 - 07.00)	777	2,2	975	3,0	797	2,3	2,5
3	Ongeval	4150	11,9	4318	13,1	4267	12,5	12,5
4	Intensiteit/capaciteit (knelpunt buiten de spits)	4392	12,6	4316	13,1	4250	12,4	12,7
5	Ochtendknelpunt (06.00 - 10.00)	11253	32,4	10306	31,3	11357	33,2	32,3
6	Avondknelpunt (16.00 - 19.00)	12257	35,2	11506	35,0	11819	34,5	34,9
7	Overige oorzaken (weer, evenementen, vakantie)	557	1,6	436	1,3	469	1,4	1,4
	Totaal	34785	100	32901	100	34225	100	100

In totaal is er sprake van $34785 + 32901 + 34225 = 101911$ filemeldingen. Uit Tabel 2 kunnen we afleiden dat 2/3 (67,2%) van alle files wordt veroorzaakt door de dagelijkse knelpunten in de ochtend- en avondsspits. Ongevallen dragen voor 12,5% bij aan het totaal aantal files. De invloed van wegwerkzaamheden lijkt beperkt (2,8% overdag en 2,5% 's nachts). Opvallend is dat 12,7% van alle files buiten de, in de databestanden gehanteerde spitsuren wordt veroorzaakt door structurele capaciteitsproblemen.

¹³ Een file wordt toegekend aan de dominante oorzaak. Dus als er in de ochtendsspits na 5 kwartier file een ongeval gebeurt en er daarna nog 3 kwartier file staat, dan krijgt de file van 8 kwartier als oorzaak 'ochtendknelpunt'. Vindt het ongeval na 3 kwartier plaats en staat er daarna nog 5 kwartier file, dan wordt de oorzaak veranderd in 'ongeval'. Bron: AVV.

Slechts 1,4% van alle files heeft als kenmerk 'overige oorzaken'. Hieronder vallen de weersomstandigheden, evenementen en vakantieverkeer.

Tabel 26 geeft inzicht in de zwaarte van de files. De filezwaarte is het aantal kilometer file minuten. Een file van 2 kilometer die 3 uur duurt levert een filezwaarte op van $2 \text{ km} \times 180 \text{ min} = 360$. Ook hier zijn naar oorzaak de percentages weergegeven per jaar en van het totaal.

Tabel 26 Zwaarte en percentage files naar oorzaak (Bron: AVV).

code	omschrijving oorzaak	2001		2002		2003		TOTAAL
		Abs.	Perc.	Abs.	Perc.	Abs.	Perc.	Perc.
0	Kijkfile	81764	0,8	62185	0,7	69345	0,7	0,8
1	Wegwerkzaamheden overdag (07.00 - 19.00)	485956	5,0	326510	3,7	457737	4,9	4,6
2	Wegwerkzaamheden 's nachts (19.00 - 07.00)	133733	1,4	175364	2,0	132179	1,4	1,6
3	Ongeval	1277750	13,2	1340528	15,2	1305330	14,1	14,1
4	Intensiteit/capaciteit (knelpunt buiten de spits)	964282	9,9	965820	10,9	926767	10,0	10,3
5	ochtendknelpunt (06.00 - 10.00)	2897550	29,8	2476901	28,0	2775246	29,9	29,3
6	avondknelpunt (16.00 - 19.00)	3590061	37,0	3309660	37,5	3431850	37,0	37,1
7	overige oorzaken (weer, evenementen, vakantie)	282007	2,9	179095	2,0	181491	2,0	2,3
	Totaal	9713103	100	8836063	100,0	9279945	100	100,0

De totale zwaarte van alle files over deze drie jaren bedraagt $9713103 + 8836063 + 9279945 = 27829111$

Uit bovenstaande tabellen kunnen we afleiden dat het grootste deel van het aantal files (67,2%) en de filezwaarte (66,4%) wordt veroorzaakt door de dagelijkse ochtend- en avondknelpunten.

Dit mag als voor de hand liggend worden verondersteld.

Wat opvallend is in de percentages, betreft het aandeel van het aantal files veroorzaakt door wegwerkzaamheden en overige oorzaken in relatie tot de zwaarte van deze files.

Het percentage files dat door 'wegwerkzaamheden overdag' worden veroorzaakt, namelijk 2,8% draagt voor 4,6% bij aan de filezwaarte.

'Wegwerkzaamheden die 's nachts' worden uitgevoerd dragen voor een vergelijkbaar percentage bij aan het aantal files (2,5%) maar hun invloed op de filezwaarte is veel minder groot, namelijk 1,6%.

Verder valt op dat de files die door 'overige gebeurtenissen' worden veroorzaakt (vakantieverkeer, weersomstandigheden, evenementen, etc), 'slechts' voor 1,4 % bijdragen aan het aantal files, maar voor 2,3% bijdragen aan de filezwaarte. De categorie 'overige' is uitgesplitst in Bijlage 1.

Tabel 27 Gemiddelde filezwaarte en standaarddeviatie naar oorzaak (Bron: AVV).

code	omschrijving oorzaak	2001		2002		2003	
		Gem.	Stdev	Gem.	Stdev	Gem.	Stdev
0	Kijkfile	285	419	231	325	220	301
1	wegwerkzaamheden overdag (07.00 - 19.00)	437	677	421	644	481	742
2	wegwerkzaamheden 's nachts (19.00 - 07.00)	172	217	180	216	166	196
3	Ongeval	308	421	310	428	306	420
4	Intensiteit/capaciteit (knelpunt buiten de spits)	220	435	224	481	218	476
5	ochtendknelpunt (06.00 - 10.00)	257	391	240	351	244	327
6	avondknelpunt (16.00 - 19.00)	293	387	288	382	290	370
7	Overige oorzaken (weer, evenementen, vakantie)	506	791	411	709	387	609

Naast het verschil in percentages dat de verschillende fileoorzaken bijdragen aan het aantal files enerzijds en de filezwaarte anderzijds, kan ook de gemiddelde filezwaarte inzicht geven in de impact van een fileoorzaak op de verkeershinder. Uit Tabel 27 blijkt dat zowel 'wegwerkzaamheden overdag' als files door 'overige oorzaken' niet alleen een relatief hoog gemiddelde kennen, maar zeker ook een grote standaarddeviatie.

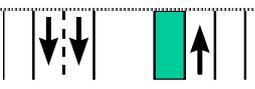
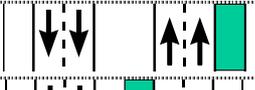
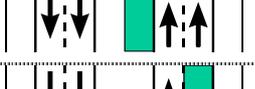
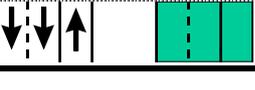
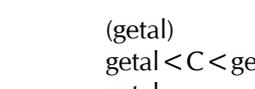
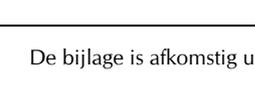
De hoge standaarddeviatie geeft aan dat er sprake is van grote uitschieters in de filezwaarte.

De gedachte over robuustheid en daaraan gekoppeld de betrouwbaarheid, leiden tot de constatering dat deze 2 categorieën en dan met name de grote uitschieters een negatieve invloed hebben op de betrouwbaarheid van het systeem. Voor deze uitschieters is het systeem te weinig robuust.

Tot op heden zijn geen gegevens gevonden die iets zeggen over de impact van een verstoring op de verkeersafwikkeling in de zin van mate van capaciteitsverlies. Wel is de filezwaarte bekend, (tijdsduur en lengte), maar het aantal rijstroken dat tijdelijk geheel of gedeeltelijk geblokkeerd is geweest is niet geregistreerd. Navraag bij het Traffic Information Centrum leert dat dit bij de filevermeldingen wel in de mondelinge toevoeging op de radio wordt vermeld, maar dat deze data verder niet wordt vastgelegd.

Als door een ongeval er één en tijdens de ongevalafhandeling misschien zelfs twee rijstroken zijn geblokkeerd, dan zou het zinvol zijn deze tijdstippen te hebben en te relateren aan de fileomvang.

Bijlage 3 Capaciteitswaarden bij werk in uitvoering ¹⁴

Strookconfiguratie	Soort afzetting	Capaciteit [vtg/h/rijbaan]
	rijdende afzetting	(1.500)
	afzetting vluchtstrook	(3.330)
	afzetting middenberm	(3.400)
	afzetting rechtterijstrook	1.400
	afzetting linkerijstrook	1.500
	afzetting 1 rijstrook op 3-stroken rijbaan	2.870
	afzetting 2 rijstroken op 3-stroken rijbaan	1.350
	afzetting linkerijstrook met gebruik vluchtstrook en breedtebeperking	2.700
	afzetting vluchtstrook met rijstrookverlegging en breedtebeperking	2.700 < C < 3.33
	afzetting 2 rijstroken met gebruik vluchtstrook	1.100 < C < 1.50
	langdurige afzetting van 2 rijstroken op 3-strooks rijbaan met gebruik vluchtstrook	2.400 < C < 3.33
	3-1 systeem	
	rijrichting A (zonder strooksplitsing)	2.850 < C < 3.33
	rijrichting B (met strooksplitsing)	0
	4-0 systeem	
	smal profiel (links 2.30 m, rechts 2.80 m)	2.850
	gemiddeld profiel (links 2.50, rechts 3,00 m)	3.000
	ruim profiel (links 3.00 m, rechts 3.25 m)	3.600
	4-2 systeem	> 4.000
	2-0 systeem	< 1.300
	3-0 systeem	< 1.300

(getal)

getal < C < getal

getal

:indicatief (geen praktijkwaarden, waarde geschat)

:resp. ondergrens en bovengrens capaciteit

:capaciteit bij 15 tot 20% vrachtverkeer, middelzware tot

zware werkzaamheden (m.u.v. rijdende afzetting) en

rijbaanbreedte van 12,5m (2-strooksrijbaan met vluchtstrook)

Bijlage 4 Noten bij maatregelen per verstoring

1. ZOAB heeft een hogere waterafvoer. Daardoor minder capaciteitsreductie bij neerslag. Nadeel is dat er meer WIU is.
2. De verharde zijberm biedt de mogelijkheid met lage snelheid het verkeer langs een blokkade te leiden. Bovendien hoeven voertuigen met pech niet op de vluchtstrook te staan. De capaciteitsreductie door de blokkade of het pechgeval wordt hierdoor kleiner.
3. Wegverwarming kan gladheid door vorst voorkomen. Daardoor bij extreem weer hogere snelheden mogelijk en minder capaciteitsreductie.
4. Het strooiproces verder optimaliseren helpt tegen gladheid. Verkeer kan hogere snelheden halen bij extreme weersomstandigheden waardoor de capaciteitsreductie minder groot is.
5. Bij een intensiteit dichtbij de capaciteitswaarde wordt een hogere capaciteit verkregen bij meer maar smallere stroken. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade of brugopening maakt het aantal stroken geen verschil.
6. Door het aanbieden van een extra strook wordt een capaciteitstoename gerealiseerd. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade en brugopening maakt het aantal stroken geen verschil. Aangezien er geen vluchtstrook meer is zal een pechgeval wat anders op de vluchtstrook staat een grotere capaciteitsreductie tot gevolg hebben.
7. Door het aanbieden van een extra strook wordt een capaciteitstoename gerealiseerd. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade en brugopening maakt het aantal stroken geen verschil.
8. Een homogener verkeersaanbod maakt een hogere intensiteit mogelijk. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade en brugopening maakt het aantal stroken geen verschil. Aangezien er geen vluchtstrook meer is zal een pechgeval wat anders op de vluchtstrook staat een grotere capaciteitsreductie tot gevolg hebben.
9. Doorsteken naar het OVN maakt gebruik van restcapaciteit op een andere route. Dit zal alleen op onregelmatige basis gewenst zijn. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en is daarom in alle situaties toepasbaar.
10. Bij een verstoring wordt de richting met de grootste intensiteit over het hoofdwegennet afgewikkeld en de tegenovergestelde richting via het OVN. De maatregel grijpt niet aan op een verstoring en is daarom in beginsel op alle situaties toepasbaar. De maatregel moet wel voorbereid worden en kan dus niet in niet-voorspelbare situaties worden gebruikt. Gebruik van het OVN is alleen op onregelmatige basis gewenst.
11. Een flexibele middengeleider benut restcapaciteit van de ene richting om in de ander richting extra capaciteit aan te bieden. De maatregel grijpt niet aan op een verstoring en werkt dus in beginsel voor alle verstoringen. De maatregel werkt gezien de voorbereidingstijd niet voor onvoorspelbare situaties en bij een brugopening.
12. Toeritdosering laat het afwikkelingsniveau op een wegvak in stand ten koste van wachtrijen op de toerit. Daardoor treedt er op de hoofdrijbaan geen functieverlies op. Toeritdosering werkt alleen als er nog enige capaciteit is op de hoofdrijbaan. Bij een brugopening of volledig blokkade werkt het dus niet. Een andere voorwaarde is dat het invoegpunt de bottleneck is. Bij een verstoring die leidt tot een capaciteitsreductie (ver) benedenstrooms werkt toeritdosering dus niet.
13. Het verlengen van een uitvoegstrook heeft zin wanneer een bottleneck op het OVN terugslaat op het HWN. Het hangt er dus vanaf bij welke verstoringen die bottleneck optreedt of kan optreden. Bij ernstige verstoringen zal de maatregel niet werken omdat de buffer dan snel volloopt waarna het probleem opnieuw optreedt.
14. Door het aanbieden van een extra strook wordt een capaciteitstoename gerealiseerd. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een brugopening maakt het aantal stroken geen verschil. Een wisselstrook is

- afgescheiden van de andere stroken. Een situatie waarin werkelijk alle stroken zijn geblokkeerd is dus erg onwaarschijnlijk.
15. Pechhavens grijpen aan op de verstoring. De maatregel probeert een blokkade van een rijstrook te voorkomen. In z'n algemeenheid zal dit alleen bij kleine pechgevallen en ongevallen werken.
 16. Door het aanbieden van een extra strook wordt een capaciteitstoename gerealiseerd. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade en brugopening maakt het aantal stroken geen verschil.
 17. Uitgangspunt is een strook asfalt die vrij en dynamisch kan worden ingedeeld. Hierdoor kan bij iedere verstoring een zo groot mogelijk aantal rijstroken om de verstoring heen worden gelegd. De maatregel grijpt dus zowel op de verstoring als direct op de (extra) capaciteit aan. Werkt niet in het geval van een brugopening.
 18. Grijpt aan op de verstoring brugopening.
 19. Een homogener verkeersaanbod maakt een hogere intensiteit mogelijk. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt daarom in vrijwel alle situaties. Alleen bij een volledige blokkade en brugopening maakt het aantal stroken geen verschil. Aangezien er geen vluchtstrook meer is zal een pechgeval wat anders op de vluchtstrook staat een grotere capaciteitsreductie tot gevolg hebben.
 20. Grijpt aan op de verstoring (ongeval) met het doel de verstoring zo kort mogelijk te laten duren.
 21. Extra stroken genereren meer capaciteit. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en werkt dus voor alle verstoringen. Omdat de stroken los van de huidige weg worden aangelegd is volledig blokkade van alle stroken niet aannemelijk.
 22. Zie 13 over toeritdosering.
 23. Een maatregel die aangrijpt op de verstoring regen en extreme weersomstandigheden.
 24. Een maatregel die aangrijpt op de verstoring regen en extreme weersomstandigheden.
 25. Als er functieverlies optreedt dan heft slechts één stroom daar last van. Op netwerkniveau is er dus sprake van minder ernstig functieverlies. De maatregel grijpt niet aan op een verstoring en werkt dus voor ieder verstoring.
 26. De maatregel grijpt aan op een afname van de intensiteit. De maatregel is onafhankelijk van welke verstoring er optreedt.
 27. De maatregel grijpt aan op een afname van de intensiteit op de route met de hoogste prioriteit. De maatregel is onafhankelijk van welke verstoring er optreedt.
 28. Omleiden via het OVN maakt gebruik van restcapaciteit op een andere route. Dit zal alleen op onregelmatige basis gewenst zijn. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en is daarom in alle situaties toepasbaar.
 29. Grijpt aan op de verstoring (ongeval) met het doel de verstoring zo kort mogelijk te laten duren.
 30. Omleiden via het OVN maakt gebruik van restcapaciteit op een andere route. Dit zal alleen op onregelmatige basis gewenst zijn. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en is daarom in alle situaties toepasbaar.
 31. Omleiden via het OVN maakt gebruik van restcapaciteit op een andere route. Dit zal alleen op onregelmatige basis gewenst zijn. De maatregel grijpt niet aan op de verstoring en is daarom in alle situaties toepasbaar.
 32. Via verkeersinformatie kan de intensiteit op knelpuntlocaties worden beperkt. De maatregel grijpt niet aan op een verstoring. De maatregel werkt voor alle verstoringen.
 33. Grijpt aan op de verstoring WIU.
 34. Grijpt aan op de verstoring WIU.
 35. Grijpt aan op de intensiteit. Als er voldoende restcapaciteit is op andere routes kan daarnaar uitgeweken worden. De maatregel zal in beginsel alleen werken in situaties waarin er restcapaciteit op HWN wegen is. Dat is in principe niet bij spitssituaties waarin regen, extreem weer of een open brug net de extra belasting zijn waardoor functieverlies optreedt.
 36. Beprijzen zorgt voor een lagere vraag en daarmee lagere intensiteit. De maatregel kan alleen worden ingezet als de verstoring voorspelbaar is en de gebruiker gewaarschuwd kan worden voor het (hogere) tarief.

37. Het ontvlechten van een weefvak waarbij zowel de oude lus als nieuwe verbindingsweg beschikbaar blijven is sterk robuustheid verhogend en kan voor alle verstoringen worden ingezet. Zowel om de capaciteit van het knooppunt (al dan niet tijdelijk) te vergroten als om een alternatief te hebben bij blokkade van lus of nieuwe verbindingsweg.
38. Door de gebruiker te informeren kan de vraag en daarmee de intensiteit worden verlaagd. Dit werkt alleen bij voorspelbare verstoringen.
39. Door de gebruiker te informeren kan de vraag en daarmee de intensiteit worden verlaagd. Dit werkt alleen bij voorspelbare verstoringen.
40. Als een gebruiker op de hoogte is van aanstaand functieverlies zal hij een andere modaliteit willen kiezen. Daardoor wordt de intensiteit lager en blijft het functieverlies binnen de perken. Dit effect is sterker als er goede verdeelpunten zijn. De maatregel werkt alleen bij voorspelbare verstoringen.
41. Door de gebruiker te informeren kan de vraag en daarmee de intensiteit worden verlaagd. Dit werkt alleen bij voorspelbare verstoringen.
42. Grijpt aan op de verstoring WIU.
43. Beprijzen zorgt voor een lagere vraag en daarmee lagere intensiteit. De maatregel kan alleen worden ingezet als de verstoring voorspelbaar is en de gebruiker gewaarschuwd kan worden voor het (hogere) tarief. Het zal ongewenst zijn dagelijks andere tarieven te hanteren. Een verhoging van het tarief bij een te verwachten verstoring kan daarom hooguit incidenteel (onregelmatig).
44. Door gebruik van de auto tijdelijk te verbieden of vrijwel onmogelijk voor bepaalde verplaatsingen kan de intensiteit worden vermindert. Werkt alleen voor verstoringen die onregelmatig voorkomen en voorspelbaar zijn.