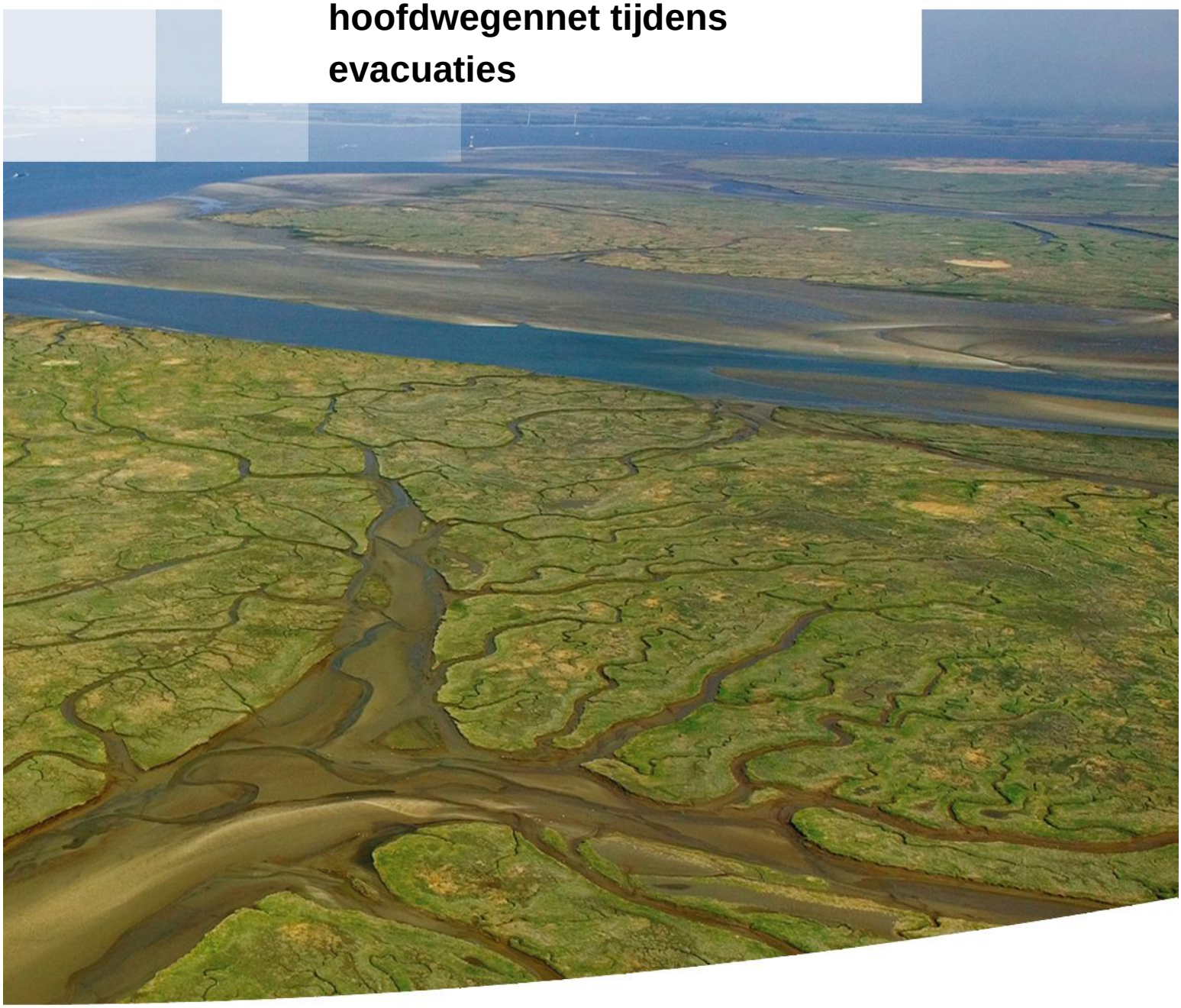
Deltares

Enabling Delta Life

Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van hoofdwegennet tijdens evacuaties



Deltares

Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van hoofdwegennet tijdens evacuaties

Robuustheid van speciale objecten

Thomas Bles
André Hendriks
Dirk Pereboom
Wim Post

1209380-005

© Deltares, 2014, B

Deltares

Titel
Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van hoofdwegennet tijdens evacuaties

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1209380-005	1209380-005-VEB-0001-gbh	59

Trefwoorden
Overstromen, dreigingsfase, acute fase, herstelfase, beschikbaarheid, kunstwerken in de weg

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	aug. 2014	Ing. W.J. Post		Ir. T.J. Bles		Ing. A.T. Aantjes	
		A. Hendriks		Ir. D. Pereboom			
	dec. 2014	Ir. D. Pereboom		Ir. T.J. Bles		Ing. A.T. Aantjes	
		Ing. W.J. Post					
		A. Hendriks					

Status
definitief

Samenvatting

In dit rapport is de kwetsbaarheid van speciale objecten in het Nederlandse hoofdwegennet bij overstromen vastgesteld. In onderstaande tabel is dit samengevat weergegeven voor de acute fase en herstelfase. In de dreigingsfase speelt alleen uitval van de energievoorziening een rol die er voor kan zorgen dat tunnels en andere verdiepte liggingen waar geen noodstroomvoorziening aanwezig is onder water kunnen komen te staan.

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik (gegeven falen)**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
Tunnel onder waterkering, opgenomen binnen kanteldijken	Bij falen of overstromen van kanteldijken loopt de tunnel vol	Klein	Herstel tunneltechnische installaties en constructie kan weken tot maanden duren. Een zinktunnel is waarschijnlijk onherstelbaar beschadigd.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder, een tot drie dagen na stroomuitval (bij werkend nood aggregaat)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Opdrijven toeritten, met name folieconstructies zijn kwetsbaar	Steeds reëler, naarmate de overstroming hogere waterstanden bereikt en langer duurt.		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel	Na herstel stroomvoorzienin g weer direct bruikbaar	Weg is bruikbaar
Landtunnel / tunnel zonder kanteldijken	Als omliggende gebied overstroomt	Groot	Relatief snel weer in gebruik te nemen na droogvallen. Herstel van TTI's kan weken tot maanden vergen.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder (bij landtunnels alleen als tunnel verdiept is aangelegd)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel	Na herstel stroomvoorzienin g weer direct bruikbaar	Weg is onbruikbaar

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik (gegeven falen)
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
Aquaduct	Overstromen van de weg	Groot, als het omliggende gebied overstroomt, overstroomt ook het aquaduct	Na leegpompen is de weg weer beschikbaar	Weg is onbruikbaar
	Tussensteunpunten beschadigd	matig	Reparatie tussensteunpunt, kan weken of maanden duren	Weg is onbruikbaar vanaf moment overstromen
	Landhoofden beschadigd	klein	Reparatie landhoofden, kan weken of maanden duren	Weg is onbruikbaar
	Vloer (bodem van het watergedeelte) van aquaduct is beschadigd	klein	Herbouw aquaduct, kan jaren duren	Weg is onbruikbaar
	Erosie van taludaansluiting van aquaduct met rijksweg door langsstromend water	Groot, als EPS constructie aanwezig is	De constructie moet hersteld worden, maar is niet noodzakelijk om direct te doen	Weg is bruikbaar
Kruisende tunnels en onderdoorgangen	Erosie taluds bij overgang constructie naar wegtalud leidt tot uitval van 1 rijstrook	Reëel bij onderdoorgangen waar de overgang van hard naar zacht in het talud van de weg zit. Bij een tunnel is deze overgang verder van de weg gelegen en zal de weg niet snel schade oplopen	Herstel taluds	Weg is bruikbaar, mogelijk valt 1 rijstrook uit
	Erosie van tussensteunpunten of ruimte tussen betonnen elementen leidt tot verzakkingen van de hoofdweg	matig	herstel tunnel of tijdelijk dichtstorten van de tunnel om doorgaand verkeer op hoofdweg weer mogelijk te maken	Weg is onbruikbaar, maar maatregelen eenvoudig te treffen

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik (gegeven falen)
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
Kruisende tunnels en onderdoorgangen	Volstromen van kruisende tunnel of onderdoorgang (leidt niet tot schade aan de hoofdweg)	groot	Leegpompen	Weg bruikbaar
Bruggen over rivieren en kanalen met scheepvaart	Falen brugpijlers door aanvaringen objecten	klein	Herstel van gehele brug	Weg is onbruikbaar
	Falen brugdek door drijvende objecten tegen brugdek	afhankelijk van brughoogte	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Horizontale stuwdruk door ophoping van materiaal voor brug leidt tot falen brug	Klein, afhankelijk van doorstroom-breedte	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Onderspoeling/erosie fundering pijlers en steunpunten waardoor toerit verzakt en fundering uiteindelijk ook kan falen	klein bij bruggen over rivieren, reëel bij bruggen over kanalen Kleine kans op falen fundering en bezwijken brug	Bij kleine ontgronding niet direct maatregelen nodig tijdens herstelfase. Bij grote ontgrondingen aanvullen grond bij toeritten en in geval van instabiliteit van de brug moet constructief herstel plaatsvinden	Weg kan gaten bevatten, instabiel zijn of geheel onbruikbaar
	Niet kunnen sluiten openstaande brug door falen energievoorziening	Klein (bruggen staan niet open, want geen scheepvaart)	Herstel energievoorzieni ng	Weg is onbruikbaar

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik (gegeven falen)
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
Bruggen over kleine watergangen zonder scheepvaart	Onderspoeling/erosie steunpunten waardoor weg verzakt en uiteindelijk de fundering kan falen	reëel voor verzakking weg klein voor falen van de brug	Bij kleine ontgronding niet direct maatregelen nodig tijdens herstelfase. Bij grote ontgrondingen aanvullen grond achter steunpunt en in geval van instabiliteit van de brug moet constructief herstel plaatsvinden	Weg kan gaten bevatten, instabiel zijn of geheel onbruikbaar
	Falen brugpijlers/steunpunten door aanvaringen objecten	matig	Herstel van gehele brug	Weg is onbruikbaar
Bruggen over kleine watergangen zonder scheepvaart	Falen brugdek en/of objecten op de weg door drijvende objecten tegen brugdek	reëel, brughoogte doorgaans beperkt	constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Blokkade waterafvoer leidt tot achterloopsheid en falen constructie	matig	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar
EPS en schuimbeton in de rijksweg	opdrijven en wegdrijven van de weg	Groot, treedt net zo snel op als dat het water stijgt	Herstel weg	Weg is onbruikbaar
	Falen van kabels en leidingen door grote spanningen als EPS opdrijft	Groot, als kabels en leidingen aanwezig zijn	Opnieuw aanleggen	Weg is bruikbaar, mogelijk minder veilig
duikers	Achter- en onderloopsheid waardoor een de weg kan wegspoelen	reëel	Herstel weglichaam	Weg kan snel onbruikbaar worden
	Blokkade buis (geheel of gedeeltelijk)	reëel	Blokkade weg nemen	Weg is bruikbaar
	Erosie en ontgronding waardoor talud kan afschuiven	reëel	Herstel bodem-bescherming	Weg is (deels) bruikbaar

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik (gegeven falen)
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
duikers	Losschieten verbinding tussen de elementen waardoor erosie plaatsvindt en gaten kunnen vallen in de weg	Reëel bij oude duikers	Weg herstellen met duiker	Weg beschadigd en onbruikbaar
		Matig bij nieuwe duikers		Weg beschadigd maar wel bruikbaar
paalmatras	Achter- en onderloopsheid door spleet tussen grond en paalmatras	reëel	onbekend	onbekend
	Afname boogwerking door hoge waterstanden	onbekend	onbekend	Weg zal deels verzakken

Inhoud

Samenvatting i - v

1 Inleiding 1
1.1 Onderwerp van de studie 1
1.2 Achtergrond 3
1.3 Doelstelling 3
1.4 Uitgevoerde werkzaamheden 4
1.5 Leeswijzer 4

2 Beschrijving Nederlands hoofdwegennet 7
2.1 Algemene informatie 7
2.1.1 Ouderdom van de wegen 7
2.1.2 Omvang Rijkswegennet binnen bedreigde gebieden 7
2.2 Typen kunstwerken en objecten 8
2.3 Geografische spreiding en aantallen van kunstwerken/objecten 8

3 Faalmechanismen kunstwerken 9
3.1 Tunnels 9
3.1.1 Constructietypen tunnels 9
3.1.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 11
3.1.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 14
3.1.4 Snelheid van falen 14
3.1.5 Maatregelen 15
3.1.6 Kaart 15
3.1.7 Samenvatting 15
3.1.8 Aanbeveling 16
3.2 Aquaducten 17
3.2.1 Constructietypen aquaducten 17
3.2.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 18
3.2.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 18
3.2.4 Snelheid van falen 19
3.2.5 Maatregelen 19
3.2.6 Kaart 19
3.2.7 Samenvatting 19
3.3 Kruisende tunnels en onderdoorgangen 20
3.3.1 Constructietypen kruisende tunnels en onderdoorgangen 20
3.3.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker (van het bovenliggende hoofdwegennet) 21
3.3.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 21
3.3.4 Snelheid van falen 21
3.3.5 Maatregelen 22
3.3.6 Kaart 22
3.3.7 Samenvatting 22
3.3.8 Aanbevelingen 23
3.4 Bruggen 23
3.4.1 Constructietypen bruggen 23
3.4.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 24

3.4.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 25
3.4.4 Snelheid van falen 25
3.4.5 Maatregelen 25
3.4.6 Kaart 26
3.4.7 Samenvatting 26
3.4.8 Aanbevelingen 27
3.5 EPS constructies 27
3.5.1 Constructietypen 27
3.5.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 30
3.5.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 31
3.5.4 Snelheid van falen 31
3.5.5 Maatregelen 31
3.5.6 Kaart 32
3.5.7 Samenvatting 32
3.5.8 Aanbevelingen 32
3.6 Schuimbeton constructies 32
3.6.1 Constructietypen 32
3.6.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 34
3.6.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 34
3.6.4 Snelheid van falen 35
3.6.5 Maatregelen 35
3.6.6 Kaart 35
3.6.7 Samenvatting 35
3.6.8 Aanbevelingen 35
3.7 Duikers 36
3.7.1 Constructietypen Duikers 36
3.7.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 36
3.7.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 39
3.7.4 Snelheid van falen 39
3.7.5 Maatregelen 39
3.7.6 Kaart 40
3.7.7 Samenvatting 40
3.7.8 Aanbevelingen 40
3.8 Paalmatrassystemen 41
3.8.1 Constructietypen 41
3.8.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker 41
3.8.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt 42
3.8.4 Snelheid van falen 42
3.8.5 Kaart 42
3.8.6 Samenvatting 42
3.8.7 Aanbevelingen 42

4 Bevindingen over het functioneren van speciale objecten voor en tijdens overstromingen 43
4.1 Inleiding, leeswijzer dit hoofdstuk 43
4.2 Selectie van speciale objecten 43
4.3 Vraagstelling 44
4.4 Vraag 1 en 2 44
4.4.1 Tunnels en Aquaducten 44
4.4.2 Het gebied bij de A15 oostelijk van knooppunt Deil 45
4.4.3 Landtunnels 45

4.5 Vraag 3, 4 en 5 45
4.5.1 Tunnels en Aquaducten 45
4.5.2 Het gebied bij de A15 oostelijk van knooppunt Deil 47
4.5.3 Algemeen, contact met de veiligheidsregio's 47
4.5.4 Landtunnels 49
4.5.5 Diefdijk 49
4.6 Vraag 6 50

5 Conclusies en aanbevelingen 51
5.1 Conclusies 51
5.1.1 Conclusies beschikbaarheid 51
5.1.2 Conclusies met betrekking tot communicatie 54
5.2 Aanbevelingen 55

Literatuur 55

Appendices

A Tunnels A-1

B Aquaducten B-1

C Kruisende tunnels en onderdoorgangen C-1

D Bruggen D-1

E EPS-constructies E-1

F Schuimbeton constructies F-1

G Duikers G-1

H Paalmatrassystemen H-1

I Verklarende woordenlijst I-1

J Scenario's in calamiteitenbestrijdingsplan 1

1 Inleiding

1.1 Onderwerp van de studie

In de hier gerapporteerde studie is de kwetsbaarheid voor overstroming van speciale objecten (tunnels, aquaducten, verdiepte liggingen, lichtgewicht constructies (EPS of “piepschuim” en schuimbeton), kruisende tunnels, bruggen, duikers en paalmatrassystemen) in het Hoofdwegennet (HWN) onderzocht.

In de eerdere Blue Spots studie [Deltares, 2012] en vervolgstudies zijn tot nu toe op de landsdekkende schaal van Nederland vooral de wegen / weggedeelten qua kwetsbaarheid en risico’s geanalyseerd. De aanwezigheid van genoemde speciale objecten is daarbij wel genoemd, maar kwetsbaarheid bij overstroming is niet verder beschouwd. In deze studie wordt op dat laatste, de kwetsbaarheid van speciale objecten, ingegaan. Op die manier wordt beter inzicht verkregen in de robuustheid van evacuatieroutes en trajecten voor hulpverlening. Deze routes kunnen uitvallen doordat de weg overstroomt, maar ook doordat kunstwerken in en onder de weg beschadigd raken als gevolg van de overstroming. In feite hoeft de weg maar op 1 locatie te zijn beschadigd, om een geheel traject onbeschikbaar te maken voor evacuatie en hulpverlening.

Het onderzoek is opgezet en uitgevoerd voor Rijkswaterstaat WVL, in samenwerking en overleg met de projectgroep MEGO (module evacuatie grote overstromingen). De opdracht is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving, i.h.k.v. KPP 2014 [Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2014].

De robuustheid van de speciale objecten in de weginfrastructuur wordt vastgesteld op basis van de volgende indeling in fasen [MEGO, 2014]:

1. Dreigingsfase: Dit is de periode tussen een waarschuwing voor een dreigend hoogwater en het moment van de dijkdoorbraak. Deze periode kan enkele dagen beslaan maar ook vrijwel nihil zijn afhankelijk van de oorzaak van de dreiging en hoe keringen falen.
2. Acute fase: Dit is de periode na de dijkdoorbraak totdat de mensen het overstroomd gebied hebben verlaten.
3. Herstelfase: Dit is de periode na de acute fase waarin het gebied wordt hersteld. Afhankelijk van het gebied kan het weken tot maanden (tot een jaar) duren voor het watervrij is, hierna zal de veiligheid geborgd moeten worden en zal een gebied schoongemaakt en technisch hersteld moeten worden. Dat proces kan vele jaren duren waarbij het de vraag is of het geheel zal terugkeren in de oorspronkelijke staat.

Afhankelijk van de mate waarin de informatie, o.a. verzameld bij en met hulp van diensten van Rijkswaterstaat, daarbij uitsluitsel kon geven, is tevens gekeken naar de invloed van keten-effecten bij het beheer en de bediening van speciale objecten. Gedacht moet worden aan situaties waarbij de elektriciteitsvoorziening uitvalt of wordt uitgeschakeld, of het bedieningspersoneel om veiligheidsredenen niet meer aanwezig kan zijn.

Eenvoudiger objecten zoals kruisende fietstunneltjes en duikertjes waren tot nu toe niet meegenomen in de meer op een landsdekkend beeld gerichte Blue Spots studie en vervolgstudies. Voor deze eenvoudige constructies is de kwetsbaarheid bij overstroming nu wel onderzocht. Waar mogelijk is gekozen voor een eenvoudige generieke benadering van faalmechanismen zoals b.v. erosie, stabiliteitsverlies of opdrijfgevaar. Daaruit ontstaat een

beeld van de gevolgen, wat in dit geval vooral is vertaald naar de bedreiging voor de functionaliteit, vooral de beschikbaarheid, van de weg.

Afperkingen van de studie

De vraag kan zijn of de rijkswegen als waterkering/dijk gebruikt kunnen worden.
Onder het begrip 'compartimentering' (voor overstromingssituaties) is dit zowel voor wegen als ook voor spoorwegen aan de orde geweest. In het algemeen zijn (spoor)weglichamen, vaak bestaande uit zand, niet gebouwd als waterkering:

- De 'ondoorlatendheid' of waterremmende functie is onvoldoende.
- Vergeleken met 'gewone' dijken zijn het stabiliteitsvraagstuk van het (spoor)weglichaam bij eenzijdige waterbelasting en de doorstroming van het (spoor)weglichaam met water niet uitgebreid geanalyseerd.

Het voorgaande, in combinatie met de vele onderdoorgangen, maakt dat compartimentering d.m.v. (spoor)weglichamen, doorgaans minder scoort op haalbaarheid en realiteitsgehalte.
In de projectgroep MEGO is compartimentering wel genoemd als een van de mogelijke maatregelen in termen van verhoging van evacuatiefractie of reductie van schade, die naast elkaar kunnen worden afgewogen. In de voorliggende studie wordt op compartimentering door rijkswegen niet ingegaan.

In overstromingsberekeningen wordt wel rekening gehouden met wegen als obstakels voor de ontwikkeling / uitbreiding van het overstromende gebied tijdens de overstroming.
Anderzijds is het zo dat door tal van duikers en kruisende tunnels en onderdoorgangen het water 'toch' snel de andere kant van het (spoor)weglichaam kan bereiken en het water daar bijna even snel stijgt als aan de 'bovenstroomse' zijde van het (spoor)weglichaam. In de berekeningen worden ter plaatse van het (spoor)weglichaam vaak 'beter doorlatende' stukken aangebracht om het effect van die duikers en onderdoorgangen globaal mee te nemen.
Het stromings- en erosiegevaar bij de duikers en onderdoorgangen wordt in de voorliggende studie, zoals boven al is aangegeven, wel behandeld, onafhankelijk van de vraag of het (spoor)weglichaam als waterkering (bedoeld of onbedoeld) optreedt. Immers, voor de beoordeling van de beschikbaarheid van wegen (ook spoorwegen) tijdens en na overstroming is het gewenst te weten of de weg of spoorweg er überhaupt nog is en of deze direct of later en tot in welke mate, eventueel na herstel (en welke mate van herstel is dan nodig?), inzetbaar is.

Viaducten van hoger gelegen secundaire wegen over rijkswegen zijn in de huidige studie niet verder bestudeerd. Zo'n viaduct over een rijksweg kan een probleem gaan vormen als de lengte van de hooggelegen weg bijzonder lang is (van waterkering naar waterkering), zodat deze als waterkering gaat functioneren. Dan is er bij wijze van spreken nog één viaduct dat de opening vormt naar het 'benedenstroomse' gebied. In de viaduct opening zouden grote(re) stroomsnelheden verwacht kunnen worden, met mogelijk ook daar erosie.
Overigens wordt deze geschetste situatie (lange hoger gelegen secundaire wegen, d.m.v. een viaduct over de rijksweg) in Nederland niet herkend. Het is voorstelbaar dat dit optreedt waar een oude waterkering, nu in gebruik alleen secundaire weg, via een viaduct de rijksweg kruist. Echter, het effect van de mede-aanwezigheid van duikers en andere onderdoorgangen in dat lange tracé maakt dat voor het optreden van mogelijke erosie ook bepaald moet worden hoe ernstig de situatie van waterstandverschil onderdoor het viaduct kan worden. Immers, omdat het water aan de benedenstroomse zijde ook stijgt door b.v. overloop of omloop of doorloop (door andere duikers, onderdoorgangen, etc.) is het de vraag of het waterstandverschil onderdoor het viaduct is wel zo reëel is.

Bij de situatie dat de lengte van de hooggelegen secundaire weg kort is (alleen het viaduct en de wederzijdse op- en afritten) zal door omloop of doorloop (door andere duikers etc.) ook de waterstand aan de 'benedenstroomse' zijde vrijwel gelijk met die aan de 'bovenstroomse' zijde oplopen. Het erosiegevaar bij stroming door de opening van het viaduct is dan gering.

Viaducten van rijkswegen over secundaire wegen (of over rijkswegen) worden als onderdoorgangen beschouwd.

1.2 Achtergrond

De studie is een vervolg op studies die in gang zijn gezet met het onderzoek 'Investigation of the blue spots in the Netherlands National Highway Network' [Deltares, 2012]. Dit onderzoek is in 2011 / 2012 in opdracht van Rijkswaterstaat uitgevoerd.
In deze zogenoemde 'Blue spots' studie is de kwetsbaarheid van de Nederlandse rijkswegen voor overstroming onderzocht, uitgedrukt in de kans op (of waarschijnlijkheid van) optreden van overstromingsgebeurtenissen. De rapporten van daarop voortbouwende recentere studies vormen het uitgangspunt voor de hier gerapporteerde studie:

- Risico's van overstroming voor het functioneren van het hoofdwegennet, [Deltares, 2013].
- Functie van het hoofdwegennet tijdens overstromen (bij evacuatie, redding en in de nafase), [Deltares, 2014a].

In [Deltares, 2013] is de kwetsbaarheid van de Nederlandse rijkswegen uit de 'Blue spots' studie vertaald tot een semi-kwantitatieve waardering van de risico's van die locaties op het Nederlandse Hoofdwegennet (HWN) die gevoelig zijn voor overstroming.

In [Deltares, 2014a] is de relatie gelegd met de evacuatieplannen van een aantal veiligheidsregio's. De (preventieve) evacuaties gaan in het algemeen voor het waterfront uit, d.w.z. dat in principe alleen de 'droge' evacuatie wordt begeleid onder leiding van de politie en hulpverleners (i.v.m. veiligheid van hulpverleners). Op het moment dat er water in de omgeving / op de weg staat ontstaat een nieuwe situatie, de zgn. 'redding' begint dan, met andere uitvoerende partijen, b.v. brandweer, reddingsbrigades en (afhankelijk van mobilisatietijd) eventueel ook militaire inzet.

In [Deltares, 2014a] is onderzocht in hoeverre hoofdwegen die een rol spelen in evacuatieplannen na het optreden van de calamiteit langer voor evacuatie beschikbaar blijven. Winstpunten zijn dat er later besloten kan worden tot evacuatie en dat er langer kan worden geëvacueerd. Dit betreft de tijd vanaf overstromen tot het water naast de weg staat. In deze studie is verondersteld dat, als deze 'aankomsttijd' langer is dan een halve dag, de weg ook nog de eerste uren na het optreden van de calamiteit beschikbaar is.
Bijvoorbeeld voor de veiligheidsregio 9 (Utrecht) blijven voor evacuatie belangrijke hoofdwegen zoals de A27 en de A1 gedurende langere tijd na de calamiteit beschikbaar. Voor een andere veiligheidsregio, bijvoorbeeld 15 (Haaglanden) blijven wegen of weggedeelten slechts beperkt beschikbaar en soms is dit ook van relatief korte duur.

1.3 Doelstelling

Doel van het onderzoek is om te bepalen of de kwetsbaarheid voor overstroming van speciale objecten in het hoofdwegennet de beschikbaarheid van het hoofdwegennet nadelig beïnvloedt tijdens dreigingsfase, acute fase en / of herstelfase. Hiermee wordt inzicht verkregen in de robuustheid van evacuatieroutes, wat als input geldt voor de Module Evacuatie Grote Overstromingen.

Er is niet gekeken naar de gevolgen van specifieke overstromingsscenario's (dreigingsscenario's, breslocaties, bresbreedtes, enzovoort). In plaats daarvan is een algemene studie uitgevoerd. Die geeft een landsdekkend beeld van alle locaties van de objecten in het wegennet, plus een analyse van de wijze waarop de objecten in zijn algemeenheid kwetsbaar zijn voor overstromen. Deze kwetsbaarheid is vertaald in de gevolgen daarvan voor het verkeer op de weg. Deze analyses zijn voor enkele typen objecten getoetst door middel van gesprekken met beheerders en ontwerpers van deze objecten.

1.4 Uitgevoerde werkzaamheden

De uitgevoerde werkzaamheden hebben betrekking gehad op het volgende:

1. Inventarisatie van de speciale objecten (tunnels, aquaducten, verdiepte liggingen, lichtgewicht constructies (EPS of "piepschuim" en schuimbeton), kruisende tunnels, bruggen, duikers en paalmatrassystemen) in relatie tot de overstromingsdreiging. Daarbij is voortgebouwd op de Blue Spots inventarisatie waarin potentieel bedreigde objecten zijn benoemd en is gebruik gemaakt van GIS bestanden.
2. Van deze speciale objecten is een generieke faalanalyse opgesteld. Hierbij is overstroming van het speciale objecten uitgangspunt en is steeds een vertaalslag gemaakt naar de bruikbaarheid voor de weggebruiker. In samenwerking met vooral Rijkswaterstaat en nog enkele veiligheidsregio's, is onderzocht of keteneffecten (uitval van een type vitale infra zorgt voor uitval van andere vitale infra) voor gekozen objecten aanwezig kunnen zijn. Buiten beschouwing gebleven zijn effecten van klimaatverandering zoals grondwaterstandstijgingen of hogere neerslagintensiteit, die ook invloed kunnen hebben op het functioneren van de objecten.
3. Geprobeerd is om de algemene faalanalyse te valideren en completeren door een lokale analyse. Binnen de scope van het project met een beperkte tijdsduur was het niet mogelijk om heel veel van dergelijke case studies uit te voeren. Daarom is een prioriteringsslag uitgevoerd. Een geprioriteerde lijst van de speciale objecten is opgesteld op basis van de geïdentificeerde faalmechanismen. Op basis hiervan is een keuze gemaakt hoe, hoeveel en welke case studies per type speciaal object uitgevoerd moesten worden. Zo was het mogelijk om, binnen de beperkingen in tijdsduur van het onderzoek, tot een onderbouwde uitspraak te komen per type speciaal object over de robuustheid voorafgaand, tijdens en na overstroming.
4. In samenspraak met Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving is een eerste inventarisatie van de beheerders van de objecten uitgevoerd. Vervolgens zijn beheerders van gekozen speciale objecten benaderd m.b.t. ontwerp en as built gegevens en is tevens een inventarisatie gemaakt van (huidige) operationele gegevens en afspraken m.b.t. overstromingssituaties. Hiermee is eveneens onderzocht in hoeverre de verwachtingen uit de generieke analyses van toepassing waren op detailniveau.
5. Vastgesteld is welke voorzieningen mogelijk zijn, die de beschikbaarheid voorafgaand aan en tijdens de overstroming kunnen verbeteren, in het geval van niet bestaande of niet afdoende voorzieningen.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat een algemene beschrijving van het Nederlandse hoofdwegennet, plus de constructies die daarin voorkomen.
In hoofdstuk 3 worden per type speciaal object beschreven hoe een overstroming hier invloed op kan hebben. Voor elk speciaal object wordt dezelfde opbouw gehanteerd. Eerst wordt besproken hoe de constructies er uit (kunnen) zien en vervolgens worden de faalmechanismen plus de gevolgen voor iedere overstromingsfase beschreven. Daarna wordt ingegaan op de snelheid van falen en maatregelen die eventueel getroffen kunnen worden.

Op een kaart wordt per type speciaal object een overzicht gegeven van de situering in het hoofdwegennet. Een samenvattende tabel geeft per type speciaal object een afsluitend overzicht.
Hoofdstuk 4 beschrijft de bevindingen over het functioneren van objecten voor tijdens en na overstromen, waarbij ook gekeken wordt naar communicatie en keteneffecten. In hoofdstuk 5 staan conclusies en aanbevelingen.

2 Beschrijving Nederlands hoofdwegennet

2.1 Algemene informatie

De volgende beschrijving van het nationale rijkswegenplan is afkomstig uit het Basisonderhoudsniveau 2011, tegenwoordig het Referentieniveau basisonderhoud dat het kader geeft voor het beheer en onderhoud van het hoofdwegennet [RBO 2011]. Deze informatie bronnen geven een goede algemene beschrijving van het Nederlands Hoofdwegennet.

Het hoofdwegennet vormt de verbinding tussen ongeveer 40 economische en bestuurlijke centra in Nederland. Dit is een grofmazig netwerk en bestaat uit doorgaande wegen, ringwegen rondom steden en provinciale wegen. Ongeveer 2,2 procent van alle verharde wegen in Nederland behoort tot het hoofdwegennet. Een groot deel van het hoofdwegennet zijn snelwegen: 2150 kilometer snelweg bestaat uit twee rijbanen met elk twee rijstroken en 250 kilometer bestaat uit meer dan twee rijbanen en/of twee rijstroken per rijbaan. Van de niet-autosnelwegen in het hoofdwegennet heeft bijna 670 kilometer één rijbaan en ongeveer 250 kilometer twee rijbanen.

2.1.1 Ouderdom van de wegen

Het overgrote deel van de snelwegen in Nederland zijn aangelegd in de periode tussen eind zestiger jaren en het begin van de tachtiger jaren van de vorige eeuw. Niettemin zijn, in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw evenals recent, aanzienlijke investeringen gedaan in het hoofdwegennet. Echter de nadruk verschoof richting verbreding en verbetering van de bestaande wegen.
De verouderde structuur heeft directe gevolgen voor de controle en onderhoud van het hoofdnetwerk. Dit leidt vooral tot pieken in groot onderhoud (reconstructie werken) en bij vernieuwing van verhardingen.

2.1.2 Omvang Rijkswegennet binnen bedreigde gebieden

Van de Rijkswegen liggende volgende wegen geheel of gedeeltelijk in bedreigde gebieden:

Planwegen:	A1, A2/N2 , N3 , A4 , A5 , A6 , A7/N7 , A8/N8 , A9/N9 , A10 , N11 , A12, A13 , N14 ,A15/N15 ,A16, A18/N18 ,A20 , A22 ,A27 , A28 , A29, A30 , A31/N31 , N33 , A35/N35, A38 , A44/N44, A50/N50 , N57 , A58/N58 , A59/N59 , N61, A73 , A77.
Planvervangende wegen:	200 (A200/N200) , 205 , (N205) , 708 (N208), 783 (zijtak A73), 835 (N35), 915

Het complete Nederlandse Rijkswegennet omvat de volgende wegen:

Planwegen:	A1, A2/N2 , N3 , A4 , A5 , A6 , A7/N7 , A8/N8 , A9/N9 , A10 , N11 , A12, A13 , N14 ,A15/N15 ,A16 , A17 , A18/N18 ,A20 , A22 ,A27 , A28 , A29, A30 , A31/N31 , A32/N32 , N33 , A35/N35 , N36 , A37 , A38 , A44/N44, N48 , A50/N50 , N57 , A58/N58 , A59/N59 , N61 , A65/N65 , A67 , A73 , A74 , A76 , A77 , A79 , N99
Planvervangende wegen:	200 (A200/N200) , 205 , (N205) , 708 (N208) , N259 , 783 (zijtak A73), 834 (N34) , 835 (N35) , 838 (N50) , 915

Uit bovenstaande opsommingen is duidelijk te zien dat bijna alle rijkswegen geheel of gedeeltelijk in met overstroming bedreigde gebieden liggen. Van sommige oostelijk gelegen

rijkswegen valt alleen de aansluiting op een andere rijksweg binnen het bedreigde gebied of die delen van de weg die nabij de rivieren lopen.

2.2 Typen kunstwerken en objecten

Het onderzoek omvat een beoordeling van de elementen die in, onder of naast de Rijkswegen kunnen voorkomen. In het onderzoek wordt effecten besproken die een rol spelen bij een mogelijke overstroming of snelle waterstijging in de directe omgeving van de Rijksweg.

In dit onderzoek worden de volgende kunstwerken/objecten besproken:
1. Tunnels
2. Aquaducten
3. Kruisende tunnels en onderdoorgangen
4. Bruggen
5. EPS constructies
6. Schuimbeton
7. Duikers
8. Paalmatrassystemen

2.3 Geografische spreiding en aantallen van kunstwerken/objecten

In de bijlagen A tot en met G zijn is alle speciale objecten op kaart aangegeven waar deze aanwezig zijn. Om een indruk te krijgen zijn in onderstaande tabel de hoeveelheden weergegeven. Duidelijk is dat het zinvol is om te kijken naar de kwetsbaarheid voor overstromen van speciale objecten, aangezien veel objecten in bedreigd gebied liggen.

Speciaal object	Aantal objecten	Waarvan in door overstromen bedreigd gebied
Tunnels	22	19
Aquaducten	12	8
Kruisende tunnels en onderdoorgangen	1032	526
Bruggen	821	555
EPS constructies	30	24
Schuimbeton	10	8
Duikers	4108	1946
Paalmatrassystemen	11	11

3 Faalmechanismen kunstwerken

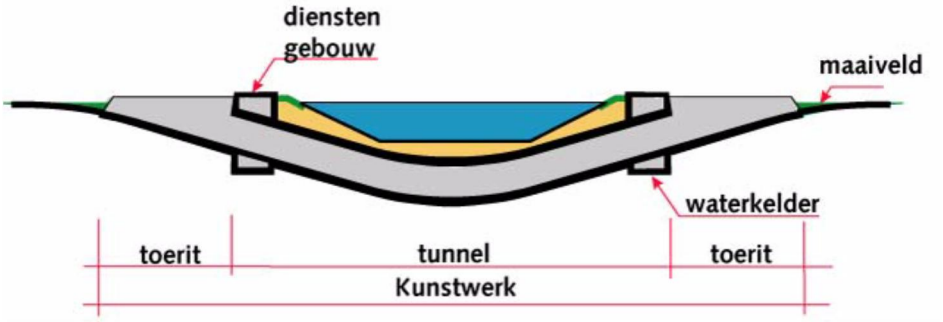
3.1 Tunnels

Onder tunnels in dit hoofdstuk worden alle tunnels verstaan waar het hoofdwegennet zelf door de tunnel gaat. Dit hoofdstuk is opgesteld met gebruikmaking van gegevens uit Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp [SATO, 2005] als bron voor de ontwerpdetails van de tunnels.

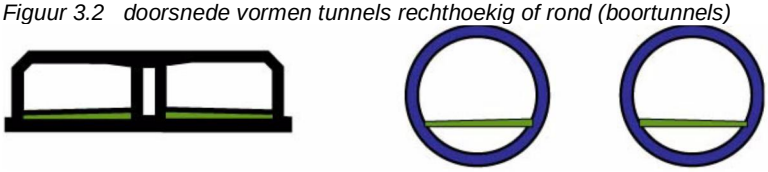
3.1.1 Constructietypen tunnels

Tunnels zijn ondergrondse passages onder een waterweg of infrastructuur die hiermee gekruist worden (Figuur 3.1). Tunnels zijn lange, gesloten, rechthoekig of ronde kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg (Figuur 3.2).

Figuur 3.1 Principe schets langsdoorsnede tunnel.



Figuur 3.2 doorsnede vormen tunnels rechthoekig of rond (boortunnels)



De aanlegmethoden voor tunnels zijn:

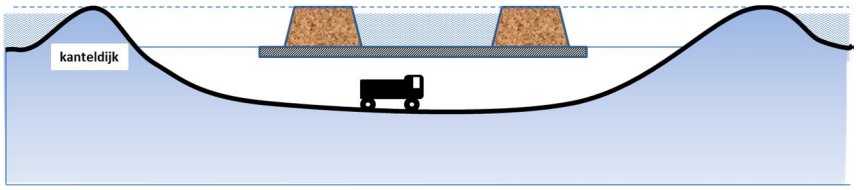
- In situ binnen een bouwkuip (meestal de toeritten).
- Zinktunnels (elementen worden elders gebouwd en later ingevaren, afgezonken en aan elkaar verbonden).
- Een combinatie van beide bovenstaande methoden.
- Een boormethode (voorbeeld Westerscheldetunnel).

In zijn algemeenheid zijn er in het licht van onderhavige studie twee typen tunnels te onderscheiden. Dit zijn tunnels die primaire waterkeringen kruisen (en daardoor ook onder water doorgaan) en andere tunnels. Deze kunnen op of onder maaiveld liggen en kunnen ook watergangen kruisen. In bijlage A is een overzicht gegeven van alle tunnels in het hoofdwegennet van Nederland.

3.1.1.1 Tunnels die een primaire waterkering kruisen

Tunnels die een primaire waterkering kruisen liggen allemaal binnen een kanteldijk en zijn zo beschermd tegen overstromingen. Deze kanteldijk vormt namelijk een geheel met de hoofdwaterkeringen van de rivier, zeearm of kanaal (Figuur 3.3). De weg naar de tunnel wordt over de kanteldijk heen geleid, de tunnel in.

Figuur 3.3 doorsnede tunnel met kanteldijken in de rijrichting



3.1.1.2 *Tunnels die watergangen kruisen, maar geen primaire kering*

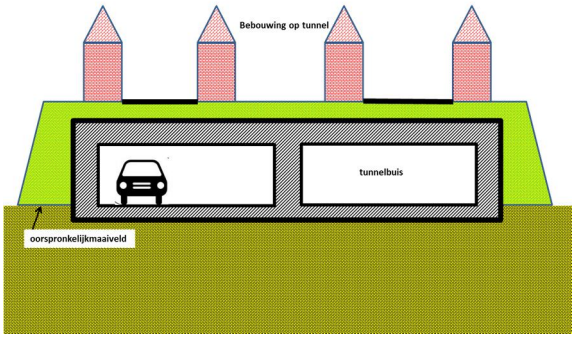
Deze tunnels zijn gelijk aan de tunnels die een primaire kering kruisen, met dit verschil dat hier geen kanteldijken aanwezig zijn. Deze tunnels hebben geen voorzieningen om tijdens calamiteiten water te keren en zullen vollopen als een overstroming plaatsvindt.

3.1.1.3 *Landtunnels*

Naast tunnels die waterwegen kruisen zijn er ook landtunnels. Dit type tunnel wordt aangetroffen op plaatsen waar geluidsoverlast op de omgeving een rol speelt, of waar een kwetsbaar gebied wordt doorkruist. Dit type tunnel is opgenomen in een verdiepte ligging van een weg of wordt op het maaiveld aangelegd en daarna opgenomen in een grondconstructie. Landtunnels hebben geen voorzieningen om tijdens calamiteiten water te keren en zullen vollopen als een overstroming plaatsvindt (zie paragraaf 4.4.3, op basis van informatiebronnen voor de Leidsche Rijn verkeerstunnel, de Sijtwende tunnel en de nog te bouwen Gaasperdammertunnel in de A9).

Landtunnels zijn er in diverse uitvoeringen waarbij er landtunnels zijn die op het maaiveld zijn aangelegd, waar bovenop een bebouwing of groen is aangebracht tot tunnels die volledig beneden maaiveld liggen onder een kruisende weg of aquaduct. In Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede landtunnel met bebouwing Figuur 3.5 is een principeschets van de dwarsdoorsnede van een landtunnel op het maaiveld gegeven. Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede landtunnel met bebouwing Figuur 3.5 geeft een realisatie hiervan in de vorm van de Sijtwende parktunnel te Leidschendam-Voorburg).

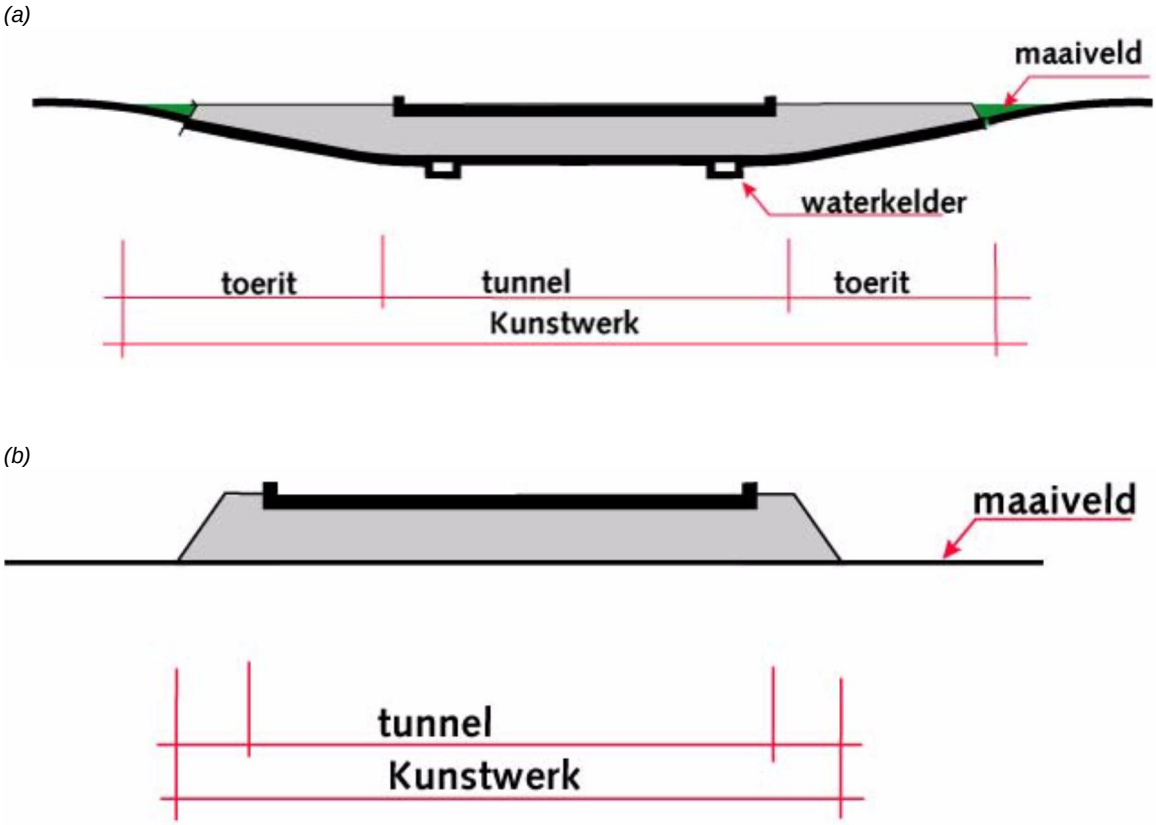
Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede landtunnel met bebouwing



Figuur 3.5 Landtunnel Sijtwendetunnel (parktunnel)

Bron foto: Rapport Overkluizing A28 te Amersfoort, Integratie van een snelweg in de omgeving, Eindrapport afstudeeronderzoek, S.L. Huneker (BSc)

Figuur 3.6 Langsdoorsnede door landtunnels, (a) Een tunnel onder maaiveld, (b) Een tunnel boven maaiveld



Bron: [SATO, 2005] deel 1

3.1.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

3.1.2.1 Tunnels die een primaire waterkering kruisen

Deze tunnels kunnen op drie manieren onder water komen te staan:

- Volstromen met water vanuit het overstroomde gebied.
- Volstromen door falen van de constructie.
- Volstromen met regen- en of lekwater.
- Verminderde veiligheid of functioneren door uitval van de energievoorziening.

Deze mechanismen worden nu achtereenvolgens beschreven.

<u>Volstromen met water vanuit het overstroomde gebied</u>

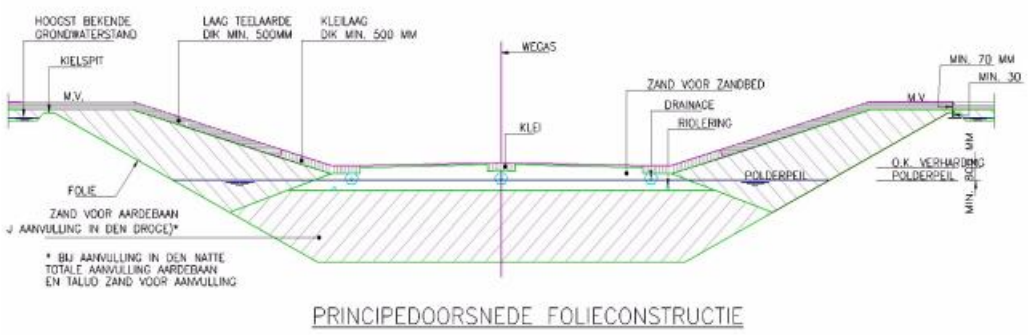
Tunnels die een primaire waterkering kruisen liggen allemaal binnen een kanteldijk en zijn zo beschermd tegen overstromingen. De kanteldijk heeft dezelfde hoogte als de waterkering waarop hij is aangesloten en moet voldoen aan dezelfde veiligheidseisen die aan de waterkering worden gesteld. Als de kanteldijk bezwijkt kan de tunnel onder water lopen. Deze kans wordt als klein ingeschat.

Volstromen door falen van de constructie
Een tunnel bestaat zoals gezegd uit de tunnel zelf en de toeritten naar de tunnel toe. Deze constructies zouden kunnen bezwijken door de hogere waterdrukken die worden uitgeoefend tijdens situaties van hoogwater.

Een tunnel kan een geboorde tunnel zijn of opgebouwd zijn uit afgezonken tunnelelementen of gebouwd zijn op locatie in diepe bouwputten. Een combinatie van beide laatste opties is ook mogelijk.

De toeritten van een tunnel kunnen aangelegd zijn in een folieconstructie (evenwichtsconstructie) die waterdicht wordt aangesloten op de tunnel. (Figuur 3.7) Een andere constructievorm is die met een open bak / toerit vanaf de tunnelmond oplopend naar het maaiveld, doorgaans bestaande uit afzonderlijke bouwelementen.

Figuur 3.7 Principedoorsnede folieconstructie



bron: SATO deel 5.6, RWS

Deze constructies worden belast door grond en grondwater. Door een overstroming kan de grondwaterstand stijgen, waardoor ook de belasting toeneemt. Dit kan snel of langzaam gebeuren, afhankelijk van de doorlatendheid van de grondlagen waarin de tunnel is gelegen. Hoe langer de overstroming duurt, hoe hoger de grondwaterstand zal worden in de grondlagen.
Zowel het folie als de open elementen moeten zwaar genoeg (belast) zijn om de opwaartse en zijwaartse druk van het grondwater te weerstaan en opdrijven te voorkomen.

- Bij een folie constructie wordt er voldoende gewicht aangebracht in de vorm van zand op de folie om de opwaartse druk van het grondwater te weerstaan. Dit houdt in dat deze folies erg diep moeten worden aangelegd.
- De open elementen (waterdicht op elkaar aangesloten) moeten zelf voldoende zwaar zijn uitgevoerd om weerstand te bieden aan de opwaartse druk van het grondwater. Meestal wordt echter een paalfundering gebruikt (b.v. bestaande uit gewapend betonnen palen of ankers) die in staat is om de opwaartse druk van het grondwater op te nemen. Deze op trek belaste palen worden trekpalen genoemd (zie verklarende woordenlijst).

De constructie is berekend op een ontwerp waterstand die uitgaat van een hoogst mogelijke grondwaterstand, waarbij in recente constructies ook rekening wordt gehouden met toekomstige grondwaterstand stijgingen, als gevolg van wijzigingen in de waterhuishouding [SATO, 2005]. In [SATO, 2005] wordt echter niet specifiek vermeld dat bij het ontwerpen van tunnels rekening moet worden gehouden met een overstroming en de gevolgen van

wijzigende (grond)waterstanden tijdens en na de overstroming. Het is dus onduidelijk of de constructies sterk genoeg zijn om deze hogere grondwaterstanden te weerstaan.
De tunnels zelf zijn hierop wel berekend, omdat uitgegaan is van het maatgevend hoogwater op de primaire watergang. Bij de toeritten is echter zeer waarschijnlijk geen rekening gehouden met hogere grondwaterstanden door een overstroming. De toeritten liggen immers op het land dat normaal gesproken niet onder water staat. Bij de Vlaketunnel werd in 2010 duidelijk dat het faalmechanisme in ieder geval reëel is (de constructie van de toerit faalde door een combinatie van corrosie in het staal en hoger dan verwachtte grondwaterstanden).
Als een lekkage zich voordoet stroomt er door zettingen mogelijk niet alleen water in de tunnelbak of toerit, maar met het water kan zand meegevoerd worden dat als vlijlaag onder de toerit en tunnel is aangebracht. Door het uitspoelen van deze vlijlaag kunnen in de tunnel of de openbak scheuren ontstaan of elementen (tunnel of toerit) scheef wegzakken.

Bovenstaande mechanismen kunnen zich alleen voordoen als de tunnel en toeritten nog droog zijn. Zodra deze vol staat met water wordt tegendruk geboden aan het grondwater en treden de beschreven mechanismen niet op.

<u>Volstromen met regen- en/of lekwater</u>
In een tunnel zijn bassins opgenomen om het regen- en lekwater op te vangen (waterkelders). Met behulp van pompen wordt dit water afgevoerd. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de protocollen die bij calamiteiten worden aangehouden. Hieruit is geconcludeerd dat er in principe een noodstroomvoorziening aanwezig is die na stroomuitval gedurende 1 tot 3 dagen voor voldoende stroom kan zorgen. Daarna zal de tunnel alsnog vollopen zolang de brandstof voor de noodstroomvoorziening niet is aangevuld.

<u>Verminderde veiligheid of functioneren door uitval van de energievoorziening</u>
Door stroomuitval zullen naast de pompen ook de ventilatie en verkeersmanagement voorzieningen uitvallen. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan. De tunnel is in dat geval wel beschikbaar, maar is onveilig voor gebruik in termen van de bij ‘normale operatie’ geldende normen.

<u>Algemeen</u>
Zinktunnels worden bij onderlopen in principe afgeschreven omdat er onzekerheid is over het al dan niet goed functioneren van de funderingslaag waarop de tunnel staat [Wolsink, Gerrit, 2014]. Door ongelijke zettingen kunnen de tunnel elementen ten opzichte van elkaar zo verschoven zijn dat de afdichtingen tussen de elementen het buitenwater niet meer keren.

3.1.2.2 Tunnels die watergangen kruisen, maar geen primaire kering

Landtunnels zullen bij calamiteiten even snel onderlopen als het omringende maaiveld en daardoor onbruikbaar worden. De tunnel technische installaties zullen hierdoor ook beschadigen en onbruikbaar worden. De tunnels liggen per definitie diep, omdat ze een water kruisen, en zullen daarom snel volstromen en geheel onbeschikbaar worden voor verkeer.

Omdat de tunnels eerder onder water zullen staan dan dat het grondwaterniveau stijgt, is er geen risico op constructieve schade door toenemende waterdrukken (zoals omschreven bij tunnels die een primaire kering kruisen).

Stroomuitval kan plaatsvinden vóór daadwerkelijke overstroming. Door stroomuitval zullen naast de pompen ook de ventilatie en verkeersmanagement voorzieningen uitvallen. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan. De tunnel is in dat geval wel beschikbaar, maar is onveilig voor gebruik in termen van de bij ‘normale operatie’ geldende normen.

3.1.2.3 *Landtunnels*

Landtunnels zullen bij calamiteiten even snel onderlopen als het omringende maaiveld en daardoor onbruikbaar worden. De tunnel technische installaties zullen hierdoor ook beschadigen en onbruikbaar worden. Dit kan tot gevaarlijke situaties leiden. Ook de afzuiginstallaties werken op dat moment niet meer, waardoor de lucht zal verontreinigen.
Landtunnels zijn niet meer bruikbaar als de waterstand in de tunnel groter is dan 0,20 m voor snelverkeer en bij een waterstand van meer dan 0,80 m ook voor het hulpverkeer. Omdat een tunnel aan de zijkanten is voorzien van harde wanden zal ook bij een geringe waterstand rekening moeten worden gehouden met een stuwgolf opgeworpen door de voertuigen, waardoor het verkeer elkaar op grote afstand moet volgen om geen hinder te ondervinden van deze stuwgolf.

Stroomuitval kan plaatsvinden vóór daadwerkelijke overstroming. Door stroomuitval zullen naast eventuele pompen (bij een landtunnel met verdiepte ligging) ook de ventilatie en verkeersmanagement voorzieningen uitvallen. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan. De tunnel is in dat geval wel beschikbaar, maar is onveilig voor gebruik in termen van de bij ‘normale operatie’ geldende normen.

3.1.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase zullen tunnels volledig bruikbaar zijn, in de acute fase zullen de landtunnels en tunnels die een watergang kruisen zijnde geen primaire kering even snel onbruikbaar zijn als het omringende maaiveld en het daarin gelegen toe leidende wegennet. In de herstelfase zullen deze tunnels ook snel weer bruikbaar zijn, voorop gesteld dat ook de tunneltechnische installaties snel weer beschikbaar zijn.

In de acute fase zal de tunnel die onder een primaire waterweg doorloopt in principe bruikbaar blijven, voorop gesteld dat de kanteldijken en de constructie zelf niet bezwijken (en het water niet hoger komt te staan dan de hoogte van de kanteldijken). Hoe langer de hoogwatersituatie zich voordoet hoe groter de kans dat de constructie zal bezwijken doordat grondwaterstanden toenemen. Ook zal de tunnel dan, door regen- en lekwater, onder lopen als de brandstofvoorraad niet tijdig wordt aangevuld die noodzakelijk is om noodaggregaat en pompen in werking te houden.

Als de tunnel niet onder water is komen te staan zal deze tijdens de herstelfase (direct weer) beschikbaar zijn.

3.1.4 Snelheid van falen

In de dreigingsfase is de tunnel inzetbaar.

In de acute fase is de tunnel inzetbaar totdat de kanteldijk overstroomt of de tunnel(toeritten) bezwijken. Op het moment dat de kanteldijken overstromen is ook de hoofdweg zelf al niet meer beschikbaar voor verkeer.
Mogelijk is de energievoorziening al eerder uitgevallen. In dat geval zal de tunnel langzaam vol lopen met regen- en lekwater. Dit is een faalmechanisme dat zich geleidelijk voltrekt, maar vanaf uitval zal er tijdens regenval direct een grote plas ontstaan op het diepste punt. Er moet van worden uitgegaan dat bij falen van de energievoorziening een tunnel die in of onder maaiveld loopt direct onbruikbaar wordt voor verkeer.

In de herstelfase zal de tunnel eerst goed geventileerd moeten worden en het water uit de tunnel en regenwaterkelders gepompt moeten worden. Als een zinktunnel onder water heeft gestaan dan moet er vanuit worden gegaan dat deze is afgeschreven en niet meer gebruikt kan worden [Wolsink, Gerrit, 2014].

3.1.5 Maatregelen

Voor tunnels die binnen een kanteldijk zijn opgenomen is de energie voorziening van belang. Valt deze uit dan zal de tunnel door het ontbreken van een ventilatie gevaarlijk worden en bij het uitvallen van de pompen om de tunnel droog te houden (lekwater en neerslag) langzaam onder kunnen lopen. Het is dus van het grootste belang de energievoorziening zo snel mogelijk weer op orde te hebben. Zie ook hoofdstuk 4.

Landtunnels kunnen beschermd worden door de aanleg van een waterkering met zandzakken. De tunnel is dan onbruikbaar als vluchtroute. Er bestaat daarnaast opdrijfgevaar als de tunnel niet overstroomt, maar het omliggende gebied wel.

3.1.6 Kaart

De ligging van de tunnels is aangegeven in bijlage A.

Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.1.7 Samenvatting

Zie tabel op volgende bladzijde.

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
Tunnel onder waterkering, opgenomen binnen kanteldijken	Bij falen of overstromen van kanteldijken loopt de tunnel vol	Klein	Herstel tunneltechnische installaties en constructie kan weken tot maanden duren. Een zinktunnel is waarschijnlijk onherstelbaar beschadigd.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder, een tot drie dagen na stroomuitval (bij werkend nood aggregaat)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Opdrijven toeritten, met name folieconstructies zijn kwetsbaar	Steeds reëler, naarmate de overstroming hogere waterstanden bereikt en langer duurt.		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel	Na herstel stroomvoorziening weer direct bruikbaar	Weg is bruikbaar
Landtunnel / tunnel zonder kanteldijken	Als omliggende gebied overstroomt	Groot	Relatief snel weer in gebruik te nemen na droogvallen. Herstel van TTI's kan weken tot maanden vergen.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder (bij landtunnels alleen als tunnel verdiept is aangelegd)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel	Na herstel stroomvoorziening weer direct bruikbaar	Weg is onbruikbaar

3.1.8 Aanbeveling

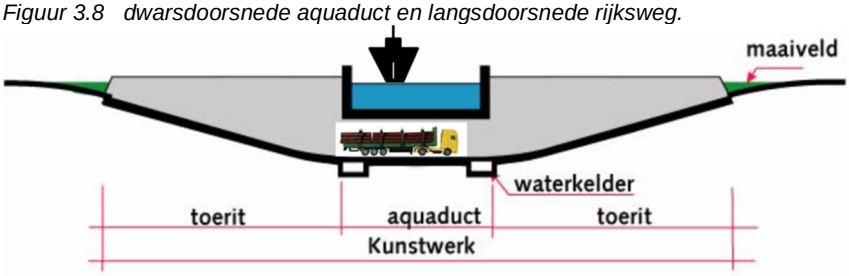
Tunnels onder primaire keringen zijn met kanteldijken beschermd tegen hoogwater. Beschreven is hoe een toenemende grondwaterstand kan leiden tot bezwijken van de constructie in de toeritten van deze tunnels omdat hier waarschijnlijk geen rekening mee is gehouden tijdens het ontwerp. Om hier zeker van te zijn moeten de ontwerpgrondwaterstanden van de toeritten van de tunnels worden opgezocht. Dan kan worden vastgesteld of deze hoog genoeg zijn gekozen, horende bij een stijgende grondwaterstand bij een hoogwatersituatie met overstroming van het gebied buiten de kanteldijk.

3.2 Aquaducten

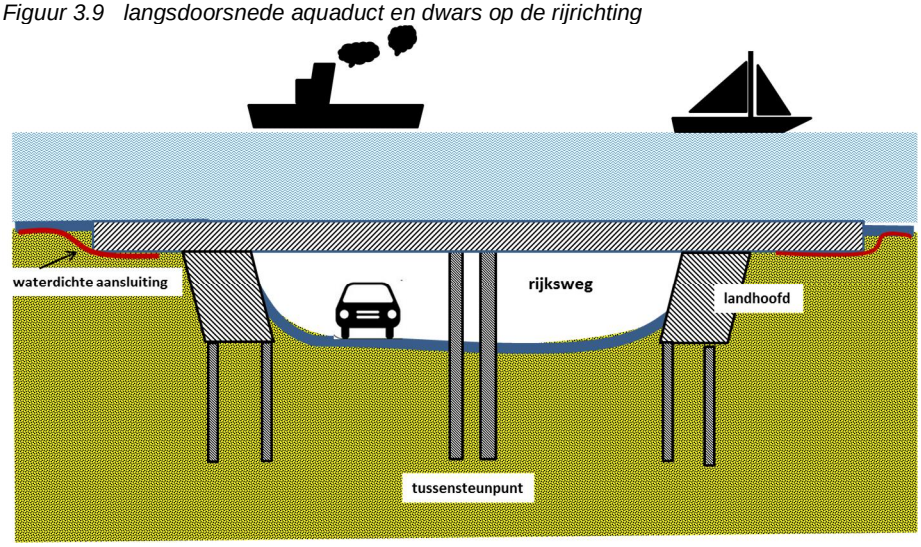
3.2.1 Constructietypen aquaducten

Een aquaduct is een kort, gesloten kunstwerk, dat water voert over een dal, een verkeersweg of een spoorweg. Een aquaduct is een brug voor water en eventueel scheepvaart (Figuur 3.8). Het aquaduct kruist een verkeersweg (Figuur 3.9). Het aquaduct bestaat uit een betonnen bak en sluit via landhoofden waterdicht aan op de doorgaande rivier of ringvaart.
Is de overspanning groot dan wordt het aquaduct voorzien van tussensteunpunten (zie Figuur 3.10, Gouwe Aquaduct). De taluds en overgangen van het aquaduct op de omgeving kunnen uitgevoerd zijn in EPS (in de taluds langs de weg, direct tegen het water aan dat wordt gekruist).

Figuur 3.8 dwarsdoorsnede aquaduct en langsdoorsnede rijksweg.



Figuur 3.9 langsdoorsnede aquaduct en dwars op de rijrichting



Net als bij de tunnel kunnen ook de toeritten van een aquaduct aangelegd zijn in een folieconstructie of met een open bak / toerit. Zowel het folie als de open elementen moeten zwaar genoeg (belast) zijn om de opwaartse druk van het grondwater te weerstaan om opdrijven te voorkomen. De open elementen kunnen ook verbonden zijn met bijvoorbeeld op trek belaste palen (trekpalen, zie verklarende woordenlijst).

Figuur 3.10 Gouwe Aquaduct in verlengde RW4

(bron Wikipedia © CC BY-SA 3.0)

3.2.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

Bij een aquaduct kunnen de volgende faalmechanismen worden onderscheiden:

- Bij een aquaduct is geen kanteldijk aanwezig waardoor de weg net zo snel overstroomt als het omliggende gebied. Hierdoor zal een aquaduct ook niet opdrijven en zal de constructie ook niet bezwijken door grote waterdrukken aan de onder- en zijkant van het aquaduct. De situatie dat ter plaatse van het aquaduct deze grote waterdrukken optreden bij een overstroming in een (zeer) nabijgelegen gebied, terwijl het gebied direct nabij het aquaduct en het aquaduct zelf niet overstroomd zijn, wordt hier buiten beschouwing gelaten.
- Tijdens het volstromen van de onderliggende weg kunnen het tussensteunpunt en landhoofden beschadigen door drijvende objecten. De mate is afhankelijk van de duur en de stroomsnelheid van het water op de snelweg. Bezwijken van de vloer (de bodem van het watergedeelte) van het aquaduct is vervolgens mogelijk als de steunpunten nog onvoldoende steun bieden;
- Objecten kunnen klem komen te zitten onder het aquaduct. Het doorgaande verkeer is dan al gestremd, omdat de weg dan al onder water staat.
- Is EPS gebruikt in de taluds bij de overgang weg naar aquaduct dan kan, bij een stijgende grondwaterstand deze EPS constructie wegspoelen. Hierdoor komt het talud bloot te liggen en kan erosie door langsstromend water over de lager liggende snelweg plaatsvinden. Zie ook paragraaf 3.5 EPS constructies.

In alle gevallen is de weg niet meer beschikbaar voor verkeer.

3.2.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase zijn de faalmechanismen die de constructie bedreigen niet aanwezig. De waterstand binnen de watergang in het aquaduct kan dan wel tot het maximum zijn gestegen met de daarbij behorende dreigingen voor de waterkeringen langs de watergang.

In de acute fase zal de weg overstromen zodra het water van de overstroming de toerit van het aquaduct bereikt. Ook alle andere faalmechanismen treden op in de acute fase.

In de herstelfase kan, als het aquaduct geen constructieve schade heeft opgelopen, snel weer gebruik gemaakt worden van de weg. Bij constructief falen (bezwijken vloer of steunpunt) is er sprake van een calamiteit die voor de herstelfase in ieder geval zal

betekenen dat de weg gedurende langere tijd (mogelijk jaren) niet beschikbaar is. Indien de EPS-constructie, die onderdeel vormde van de taluds, is weggedreven zal dit in de herstelfase weer aangebracht moeten worden, maar dat kan ook in een latere fase in de herstelperiode. Er is dan waarschijnlijk geen constructieve schade ontstaan.

3.2.4 Snelheid van falen

Het vollopen van de ruimte onder het aquaduct gaat snel zodra het overstromingswater het maaiveld bij de toerit heeft bereikt (bij het ontbreken van kanteldijken). Voor zover toe leidende wegen nog wel beschikbaar zijn, raakt de weg onder het aquaduct vrijwel direct gestremd.

3.2.5 Maatregelen

Er zijn geen passende maatregelen om de constructie in een acute situatie te beschermen.

3.2.6 Kaart

Op de kaart opgenomen als bijlage B staan de aquaducten aangegeven die binnen het bedreigde gebied liggen. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

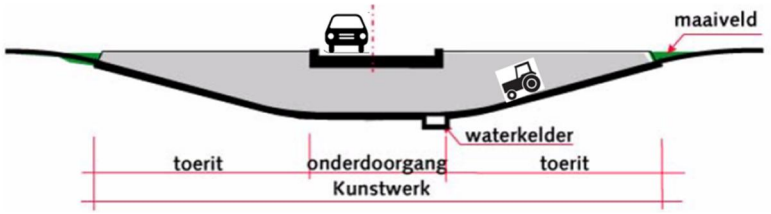
3.2.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
Aquaduct	Overstromen van de weg	Groot, als het omliggende gebied overstroomt, overstroomt ook het aquaduct	Na leegpompen is de weg weer beschikbaar	Weg is onbruikbaar
	Tussensteunpunten beschadigd	matig	Reparatie tussensteunpunt, kan weken of maanden duren	Weg is onbruikbaar vanaf moment overstromen
	Landhoofden beschadigd	klein	Reparatie landhoofden, kan weken of maanden duren	Weg is onbruikbaar
	Vloer (bodem van het watergedeelte) van aquaduct is beschadigd	klein	Herbouw aquaduct, kan jaren duren	Weg is onbruikbaar
	Erosie van taludaansluiting van aquaduct met rijksweg door langsstromend water	Groot, als EPS constructie aanwezig is	De constructie moet hersteld worden, maar is niet noodzakelijk om direct te doen	Weg is bruikbaar

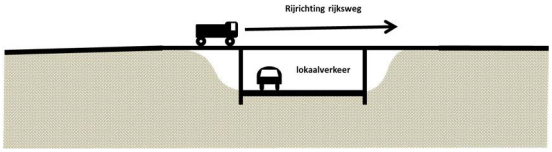
3.3 Kruisende tunnels en onderdoorgangen

Kruisende tunnels en onderdoorgangen zijn ongelijkvloerse kruisingen waar vrije doorgang van verkeer op het hoofdwegennet op het bovenste niveau wordt behouden door de hoogte van het onderste niveau gedeeltelijk of geheel te verlagen om het lokale verkeer te kruisen. Deze constructies zijn aangelegd voor bijvoorbeeld wild, vee en verkeer en voetgangers, zodat de snelweg veilig gekruist kan worden zonder het op het hoger niveau kruisend verkeer te hinderen. In een onderdoorgang of kruisende tunnel kan op een hoger niveau dan de weg, in de breedte van de constructie, ruimte voor watergangen, fiets- en voetpaden zijn opgenomen.

Figuur 3.11 dwarsdoorsnede kruisende tunnel



Figuur 3.12 langsdoorsnede kruisende tunnel



3.3.1 Constructietypen kruisende tunnels en onderdoorgangen

De rijbaan van een onderdoorgang ligt op maaiveld (Figuur 3.13). Ze hebben daarom meestal een beperkte lengte die gelijk is aan de breedte van de rijksweg. Een kruisende tunnel is ingegraven (Figuur 3.14) waardoor de constructie langer is dan de breedte van de rijksweg.

Figuur 3.13 Onderdoorgangen op maaiveld niveau onder de A12 en spoor (Maarn) en de Fietskathedraal onder A12 (Bleijswijk/Zoetermeer)

Foto's Prorail en Bergschenhoek Civiele Techniek BV

De meeste onderdoorgangen en kruisende tunnels zijn opgebouwd uit gekoppelde betonnen elementen, uit metselwerk (oudere typen, Maarn) of uit stalen gekoppelde platen (Fietskathedraal A12, Bleiswijk/Zoetermeer) (figuur 3.17 en 3.18). Er kan een fundering onder de constructies aanwezig zijn.

Figuur 3.14 ingegraven kruisende tunnel (fietstunnel Marsum)

Foto's Wikipedia

3.3.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker (van het bovenliggende hoofdwegennet)

Water zal aan een kant van de weg eerder aanwezig zijn dan aan de andere zijde van de weg. Als gevolg hiervan zal een waterstroming gaan plaatsvinden door de tunnel of onderdoorgang heen. Deze waterstroming kan de volgende gevolgen hebben:

- Erosie van de taluds door stroming en verweking, vooral bij de overgang van constructie naar de om- of aanliggende grondslag. Een onderdoorgang voert de onderliggende weg over maaiveld door de hoofdweg heen. Hierdoor vindt erosie bij het beginpunt van de constructie in het talud van de hoofdweg plaats, waardoor de weg kan gaan verzakken. Het is niet de verwachting dat hierdoor een groot deel van de weg onbruikbaar wordt. Eerder moet gedacht worden aan onbruikbaar worden van de vluchtstrook.
- Erosie van de aansluitingen tussen de constructie-elementen. Deze kunnen hierdoor scheef zakken waardoor ook de bovenliggende weg zal vervormen.
- Beschadigingen van de constructie door meevoeren van objecten in het stromende water. Het is onwaarschijnlijk dat hierdoor het verkeer op de bovenliggende hoofdrijbaan beïnvloed zal worden.

3.3.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

Alle genoemde faalmechanismen treden alleen op in de acute fase, op het moment dat er een waterstandsverschil aanwezig is tussen beide zijden van de weg. Dat is alleen het geval in het begin van de overstroming.
In de herstelfase zal ontstane schade weer relatief snel te verhelpen zijn. De verwachte schade is gering.

3.3.4 Snelheid van falen

Erosieverschijnselen, die zouden kunnen leiden tot aantasting van het weglichaam van de bovenliggende hoofdweg, zijn vooral in het begin van de overstroming te verwachten. Dan zijn de waterstandsverschillen tussen beide zijden van de hoofdweg namelijk het grootst, waardoor de grootste stroomsnelheden ontstaan, door de tunnel of onderdoorgang heen, die kunnen leiden tot erosie.
Erosie is een proces dat langzaam begint en dan steeds sneller gaat. Lastig aan dit faalmechanisme is dat het slecht zichtbaar is vanaf de hoofdrijbaan. Door de sterkte van de wegfundering en het asfalt kan de weg als het ware blijven hangen als de grond eronder al is weggespoeld. De kans bestaat daardoor dat het faalmechanisme zich heel plotseling openbaart door wegvallen van een deel van de verharding.

3.3.5 Maatregelen

Er zijn geen passende maatregelen die schade kunnen voorkomen. Natuurlijk kunnen kruisende tunnels en onderdoorgangen theoretisch zo ontworpen worden dat ze een waterstroming door de tunnel heen kunnen weerstaan. Aangenomen wordt echter dat dit kosten baten technisch niet uitkomt, omdat veel kosten gemaakt moeten worden en de baten heel klein zijn. Dat laatste komt ook door het feit dat er correctief heel eenvoudig maatregelen genomen kunnen worden om doorgaand verkeer over de hoofdrijbaan weer mogelijk te maken. De ontstane gaten in de weg moeten weer aangevuld worden met zand, waarna er al snel weer over de weg heen kan worden gereden.

3.3.6 Kaart

De tunnels en kruisende wegen die in bedreigd gebied liggen zijn aangegeven op bijlage C. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied. Er is geen specifieke informatie beschikbaar waaruit blijkt of er sprake is van een kruisende tunnel dan wel een onderdoorgang.

3.3.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
Kruisende tunnels en onderdoorgangen	Erosie taluds bij overgang constructie naar wegtalud leidt tot uitval van 1 rijstrook	Reëel bij onderdoorgang en waar de overgang van hard naar zacht in het talud van de weg zit. Bij een tunnel is deze overgang verder van de weg gelegen en zal de weg niet snel schade oplopen	Herstel taluds	Weg is bruikbaar, mogelijk valt 1 rijstrook uit
	Erosie van tussensteunpunten of ruimte tussen betonnen elementen leidt tot verzakkingen van de hoofdweg	matig	herstel tunnel of tijdelijk dichtstorten van de tunnel om doorgaand verkeer op hoofdweg weer mogelijk te maken	Weg is onbruikbaar, maar maatregelen eenvoudig te treffen
	Volstromen van kruisende tunnel of onderdoorgang (leidt niet tot schade aan de hoofdweg)	groot	Leegpompen	Weg bruikbaar

3.3.8 Aanbevelingen

In principe geldt voor alle bovenstaande faalmechanismen dat de gevolgen groter worden bij een snellere waterstroming. Een waterstroming door een tunnel heen wordt groter naarmate het waterstandsverschil tussen twee zijden van de weg groter is. Het is op dit moment echter niet bekend hoe bij elk denkbaar overstromingsscenario het waterstandsverschil zich ontwikkelt tussen de twee zijden van een weg. Om nauwkeuriger vast te kunnen stellen of de hoofdweg kwetsbaar is voor schade moet daarom worden uitgezocht:

- Welke kruisende tunnels en onderdoorgangen in een gebied liggen waar waterstandsverschillen tussen beide zijden van de hoofdweg kunnen ontstaan.
- Voor die gebieden, hoe het waterstandsverschil zich ontwikkelt tussen de twee zijden van de weg.

Daarnaast wordt aanbevolen om voor potentieel kwetsbare kruisende tunnels en onderdoorgangen vast te stellen wat de afstand is tussen de ‘harde’ (beton, staal) - constructie van de onderdoorgang of tunnel en de ‘zachte’ (grond met grasbedekking) constructie van het weglichaam. Hoe groter deze afstand van de hoofdrijbaan is, hoe kleiner de kans op schade is.

De combinatie van beide onderzoeken geeft de mogelijkheid om vast te stellen wat de daadwerkelijke schade zal zijn bij kruisende tunnels en onderdoorgangen tijdens overstromingssituaties.

3.4 Bruggen

3.4.1 Constructietypen bruggen

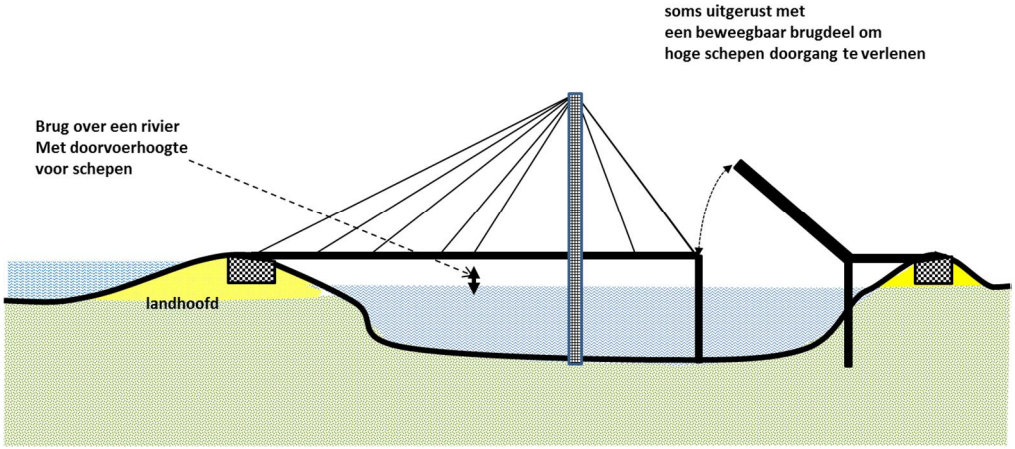
Een brug vormt een vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer tussen twee punten die gescheiden zijn door een rivier, kanaal, of andere watergang. In het hoofdwegennet komen zeer veel bruggen voor die kleine waterlopen kruisen die voor een waterschap van belang zijn en waarbij de doorvaarthoogte niet van belang is. Deze bruggen in de weg zijn nauwelijks te onderscheiden en zijn uitgevoerd als een vaste plaatbrug (Figuur 3.15).

Figuur 3.15 plaatbrug in de A12 zijaanzicht en bovenaanzicht

(locatie: enkele Wiericke ter hoogte van Waarder)

Bij rivieren en kanalen moet de brug geschikt zijn om scheepvaart mogelijk te maken. Bij een geringe doorvaarthoogte is een deel van de brug beweegbaar gemaakt om het scheepvaart verkeer doorgang te verlenen. Deze bruggen hebben meestal een wegdek dat ver boven maaiveld ligt. De op- en afritten van deze bruggen liggen verhoogd boven het maaiveld.

Figuur 3.16 schematische doorsnede grote brug



3.4.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

Voor het beschrijven van de faalmechanismen wordt onderscheid gemaakt tussen grote bruggen die over grote vaarwegen heen leiden met meestal stromend water en de kleine bruggen die watergangen aan beide zijden van een weg met elkaar verbinden.

Bij een grote brug worden de volgende faalmechanismen onderscheiden:

- Bedreiging van de brugpijlers door drijvende voorwerpen (schepen, losgeraakte elementen van woningen, infrastructuur, etc.). Bij falen van een brugpijler is de weg niet meer beschikbaar voor verkeer. Bij bruggen over grote vaarwegen wordt hier rekening mee gehouden bij het ontwerp van de bruggen. De kans dat dit gebeurt wordt daarom als minimaal ingeschat.
- Bij hoog water kunnen drijvende voorwerpen ook rechtstreeks een bedreiging vormen van het brugdek van de brug. Hier zijn geen voorzieningen voor getroffen in het ontwerp van de bruggen. Wel zal de scheepvaart al zijn stilgelegd bij dergelijke hoge waterstanden, waardoor de kans dat het brugdek beschadigd kleiner wordt. Deze kans wordt als reëel ingeschat.
- Blokkade van de vaarroute door een schip en/of andere drijvende objecten die dwars op de vaarrichting tegen de brug aan liggen. Er treden dan door de stuwdruk van het water dwarskrachten op in de brug waarop deze mogelijk niet is ontworpen en waardoor de brug kan bezwijken.
- Onderspoeling (erosie rond de funderingen) van de landhoofden en/of pijlers door verandering van de stroming of een grotere stroming dan waarop de erosiebescherming is ontworpen. Bij het ontwerp wordt rekening gehouden met grote stroomsnelheden, waardoor de brug hier in principe niet kwetsbaar voor is. Achterstallig onderhoud kan echter toch tot erosie leiden, die mogelijk niet zichtbaar is als de steenbekleding wel is blijven liggen, maar de onderliggende grond niet. De kans hierop wordt als klein ingeschat voor bruggen over rivieren en reëel bij bruggen over kanalen (omdat hier normaal gesproken geen grote stroomsnelheden in optreden). Gevolg is dat de toeritten zullen verzakken; de brug zelf is goed gefundeerd en zal niet snel bezwijken.
- Het niet kunnen sluiten van het beweegbare brugdeel (kortsluiting, stroomuitval, mechanische problemen). Dit is zeer onwaarschijnlijk, omdat de brug niet geopend zal worden tijdens hoogwater situaties omdat de scheepvaart dan stil ligt.

Bij kleinere bruggen over waterlopen zonder scheepvaart worden de volgende faalmechanismen onderscheiden:

- Deze waterlopen (sloten en vaarten) met hun overkluizing zijn niet ontworpen om grote hoeveelheden water door te laten met hoge stroomsnelheden. De bodem van de waterloop kan ontgronden. Gevolg hiervan is dat de grond langs de gefundeerde brug wegspoelt en de weg daardoor verzakt. Uiteindelijk kan ook de brug zelf beschadigen. De kans dat de weg verzakt wordt als reëel ingeschat.
- Bedreiging van de brugpijlers door drijvende voorwerpen (schepen, bomen, enzovoort). Bij falen van een brugpijler is de weg niet meer beschikbaar voor verkeer. Met dergelijke 'aanvaarbelastingen' is bij deze kleine bruggen geen rekening gehouden. De kans is wel aanwezig dat dit gebeurt.
- Bij hoog water kunnen drijvende voorwerpen ook rechtstreeks een bedreiging vormen van het brugdek van de brug en eventueel ook op de brug terecht kunnen komen. Hier zijn geen voorzieningen voor getroffen in het ontwerp van de bruggen. Deze kans wordt als reëel ingeschat, zeker omdat de hoogte van het brugdek ten opzichte van het water vaak klein is.
- Blokkade van de waterafvoer door voorwerpen. Hierdoor treedt er stuwing op van het water waardoor erosie langs de constructie kan plaatsvinden. De erosie zorgt voor achterloopsheid (zie verklarende woordenlijst, Bijlage I) van de constructie;

3.4.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

Al in de dreigingsfase kunnen rivierafvoeren groot zijn waardoor bruggen een groter risico lopen (zie de faalmechanismen hierboven). Tegelijkertijd zijn grote bruggen hier op ontworpen, waardoor de kans dat er dan al falen op treedt klein is.

In de acute fase zal na de doorbraak de waterstand op de rivier dalen en neemt de faalkans voor de grote bruggen over rivieren weer af. Tegelijkertijd neemt de kans op schade bij de andere bruggen toe als hier door de doorbraak veel meer water onderdoor gaat stromen dan waar de bruggen op ontworpen zijn.

In de herstelfase zijn bruggen die niet zijn beschadigd direct weer beschikbaar. Andere bruggen moeten hersteld worden.

3.4.4 Snelheid van falen

Over het algemeen zijn alle faalmechanismen zeer plotseling optredende faalmechanismen. Als een brug verzakt of als het brugdek beschadigt, dan zal dit zich relatief snel openbaren. Erosie en onderspoeling beginnen langzaam en gaat steeds sneller. Het kan lang onzichtbaar blijven en zich dan ineens openbaren door een gat dat in de weg valt die naar de brug toe leidt.
Als het waterpeil te hoog komt en een direct gevaar vormt voor het brugdek zullen grote bruggen worden afgezet voor verkeer.

3.4.5 Maatregelen

Een brug over een rivier is goed ontworpen tegen hoog water (op het uitvallen van de energie toevoer naar de beweegbare delen na). Een brug over een kanaal is eveneens goed bestand tegen hoog water, maar niet tegen snel stromend water. Een laag gelegen brug over een waterloop die alleen dient om de waterbeheersing binnen een gebied te waarborgen is niet ontworpen op hoge waterstanden of op hoge stroomsnelheden.

Het aanbrengen van een bodembescherming naast en onder de brug kan het kunstwerk meer erosie bestendig maken, maar kosten van deze preventieve maatregel wegen waarschijnlijk niet op tegen de baten tijdens een mogelijke overstroming.

Als de toeritten van de brug zijn weg geërodeerd kunnen deze relatief eenvoudig met grond weer worden aangevuld, zodat de weg weer beschikbaar wordt. Als neveneffect ontstaat er dan wel een horizontale druk op de paalfundering waarvan bekeken moet worden of deze opgenomen kan worden door de fundering.

3.4.6 Kaart

In bijlage D zijn de bruggen aangegeven die binnen bedreigd gebied liggen. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.4.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
Bruggen over rivieren en kanalen met scheepvaart	Falen brugpijlers door aanvaringen objecten	klein	Herstel van gehele brug	Weg is onbruikbaar
	Falen brugdek door drijvende objecten tegen brugdek	afhankelijk van brughoogte	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Horizontale stuwdruk door ophoping van materiaal voor brug leidt tot falen brug	Klein, afhankelijk van doorstroom-breedte	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Onderspoeling/erosie fundering pijlers en steunpunten waardoor toerit verzakt en fundering uiteindelijk ook kan falen	klein bij bruggen over rivieren, reëel bij bruggen over kanalen Kleine kans op falen fundering en bezwijken brug	Bij kleine ontgronding niet direct maatregelen nodig tijdens herstelfase. Bij grote ontgrondingen aanvullen grond bij toeritten en in geval van instabiliteit van de brug moet constructief herstel plaatsvinden	Weg kan gaten bevatten, instabiel zijn of geheel onbruikbaar
	Niet kunnen sluiten openstaande brug door falen energievoorziening	Klein (bruggen staan niet open, want geen scheepvaart)	Herstel energievoorziening	Weg is onbruikbaar
Bruggen over kleine watergangen zonder scheepvaart	Onderspoeling/erosie steunpunten waardoor weg verzakt en uiteindelijk de fundering kan falen	reëel voor verzakking weg klein voor falen van de brug	Bij kleine ontgronding niet direct maatregelen nodig tijdens herstelfase. Bij	Weg kan gaten bevatten, instabiel zijn of geheel onbruikbaar

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
			grote ontgrondingen aanvullen grond achter steunpunt en in geval van instabiliteit van de brug moet constructief herstel plaatsvinden	
	Falen brugpijlers/steunpunten door aanvaringen objecten	matig	Herstel van gehele brug	Weg is onbruikbaar
	Falen brugdek en/of objecten op de weg door drijvende objecten tegen brugdek	reëel, brughoogte doorgaans beperkt	constructief herstel	Weg is onbruikbaar
	Blokkade waterafvoer leidt tot achterloopsheid en falen constructie	matig	Constructief herstel	Weg is onbruikbaar

3.4.8 Aanbevelingen

De risico's bij grote bruggen zijn klein. Voor de kleine bruggen geldt in principe dat de gevolgen groter worden bij een snellere waterstroming. Een waterstroming onder de brug door wordt groter naarmate het waterstandsverschil tussen beide zijden van de weg groter is. Het is op dit moment echter niet bekend hoe bij elk denkbaar overstromingsscenario het waterstandsverschil zich ontwikkelt tussen twee zijden van een weg. Om nauwkeuriger vast te kunnen stellen of de hoofdweg kwetsbaar is voor schade moet daarom worden uitgezocht:

- Welke bruggen in de hoofdwegen in een gebied liggen waar waterstandsverschillen tussen beide zijden van de hoofdweg kunnen ontstaan.
- Voor die gebieden, hoe het waterstandsverschil zich ontwikkelt tussen de twee zijden van de weg.

3.5 EPS constructies

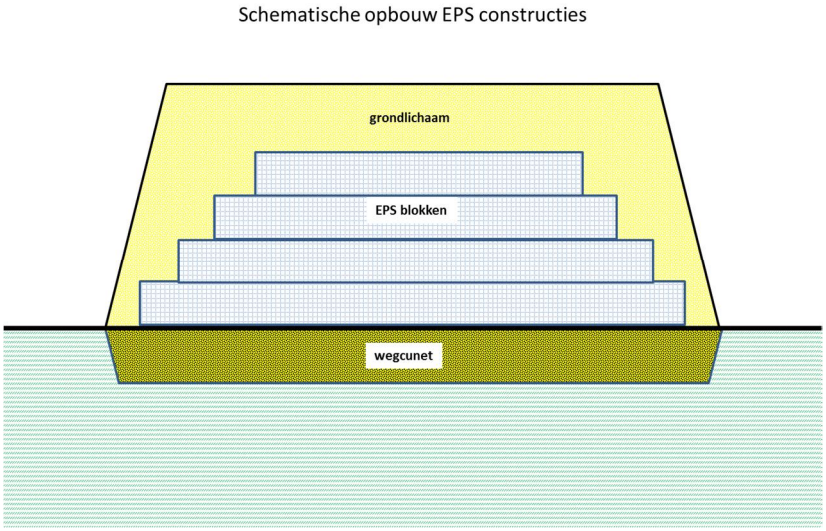
3.5.1 Constructietypen

EPS (geëxpandeerd polystyreen, "piepschuim")) is een zeer lichte kunststof die voor ca. 98 % uit gas (lucht) bestaat (zie verklarende woordenlijst, Bijlage I).

Het wordt toegepast als licht ophoog- of funderingsmateriaal in de wegenbouw (Figuur 3.17), met name in de veengebieden in het westen van Nederland. Het is lichter dan veen en voorkomt verzakkingen van wegen. Vaak wordt EPS ook onder maaiveld in het wegcunet

aangebracht. Met EPS kunnen ook steile (rechte) taluds opgeworpen worden waardoor een constructie minder ruimte in beslag neemt.

Figuur 3.17 Dwarsdoorsnede schematische opbouw EPS constructie



EPS wordt ook veel gebruikt waar wegen op kunstwerken als bruggen of viaducten aansluiten, om zo zettingsverschillen de voorkomen. De soortelijke massa van EPS bedraagt 15 tot 40 kg/m^3. Omdat EPS zo licht is zal het bij een geringe verhoging van de waterstand gaan drijven.

Figuur 3.18 Aanleg van RW11 nabij Hazerswoude door middel van EPS blokken

Bron: Wikipedia, foto archief RWS

<u>Voorbeelden van toepassingen</u>

Bij de wegverbreding van de A76 is een noodzakelijk ophoging met 5m EPS uitgevoerd. Hiermee is een verticale wand geconstrueerd waardoor de onderliggende leidingen niet zwaar belast worden en de naast gelegen keerwand ontzien wordt (

Figuur 3.19).

Figuur 3.19 gebruik van EPS A76 knooppunt Kersenheide (verbreding en steil talud)

Foto: Heijmans

Om de bouwtijd te versnellen en de ondergrond niet te hoog te belasten is EPS toegepast onder de A15 ter hoogte van het Vaanplein en de Beneluxtunnel (Figuur 3.20).Hier is later schuimbeton op aangebracht.

Figuur 3.20 EPS onder A15 (ter hoogte van het Vaanplein en de Beneluxtunnel

Foto: RWS

3.5.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

Het opdrijvend vermogen van het EPS vormt de basis van het faalmechanisme. Als de waterstand op het maaiveld boven een bepaald kritisch niveau stijgt, kan de constructie gaan opdrijven. Het kritisch niveau is afhankelijk van de aangebrachte hoogte van het EPS en de belasting die er is opgebracht.

Indien EPS als evenwichtsconstructie (zie verklarende woordenlijst, Bijlage I) is aangelegd is gecontroleerd of de constructie opdrijft bij een maximale ontwerpwaterstand gelijk aan maaiveld. Dit is vaak niet het maatgevende mechanisme bij ontwerp, waardoor een verborgen veiligheid tegen opdrijven aanwezig is. Op basis van verkennende sommen worden de volgende grenzen aangegeven:

- Waterstand tot 20 a 40 centimeter boven maaiveld: waarschijnlijk zal de constructie inclusief de wegconstructie niet opdrijven.

- Waterstand 20/40 tot 150 centimeter boven maaiveld: onduidelijk of de wegconstructie zal opdrijven. Van belang is hier of de EPS is aangebracht als evenwichtsconstructie. In dat geval zal de EPS snel opdrijven. Omdat de onderkant van de EPS (bij standaard constructies) normaal gesproken boven grondwaterniveau ligt, zal de EPS ook pas opdrijven bij waterstanden vanaf ongeveer 150 centimeter boven het aanlegniveau van de EPS.
- Bij waterstanden hoger dan 150 centimeter boven maaiveld moet er van worden uitgegaan dat de wegconstructie zal opdrijven.

Als de waterstand verder stijgt, zal de schade steeds groter worden. Door erosie onder en naast de EPS-constructie wordt verwacht dat de constructie bij een dalende waterstand niet meer op de zelfde plaats terug zakt. De weg zal hersteld moeten worden. Er moet van worden uitgegaan dat de weg boven een opdrijvende EPS constructie niet meer beschikbaar is voor het wegverkeer.

In de bermen boven de EPS constructie kunnen zich kabels en leidingen bevinden. Door het opdrijven van de EPS kunnen kabels en leidingen een zodanige trekbelasting op te nemen krijgen dat het gevaar voor beschadiging of breuk groot is. Bij een breuk kunnen bijvoorbeeld de wegsignalering, de praatpalen (tot 2018) en de verlichting uitgeschakeld worden.

3.5.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase zal er nog geen gevaar zijn voor beschadiging van het wegdek door opdrijven als de grondwaterstand onder de constructie niet boven maaiveld stijgt.
In de acute fase zal bij het bereiken van een kritische waterhoogte de constructie opdrijven.
In de herstelfase kunnen de EPS-constructies voor problemen zorgen indien de hele constructie is weggedreven. Indien de laag waarop de EPS-constructie is geërodeerd zal het EPS ongelijk of scheef in de weg aanwezig zijn waardoor het doorgaande verkeer hinder ondervindt of de rijweg geblokkeerd zal zijn

3.5.4 Snelheid van falen

Op het moment dat het verticaal evenwicht (neerwaarts gewicht van de constructie versus de opwaartse druk van het water) niet meer is gegarandeerd zal de constructie opdrijven. De weg zal vrij plotseling instabiel worden, maar daarna gelijk aan de snelheid waarmee de waterstand stijgt omhoog komen. Vanaf moment van opdrijven moet er vanuit gegaan worden dat de weg niet meer beschikbaar is.

3.5.5 Maatregelen

Een EPS constructie is een zeer lichte constructie opgenomen in een weg om ongelijke of ongewenste zettingen te voorkomen. Uitgerekend kan worden bij welke waterstanden elke EPS constructie faalt (zie hoofdstuk3.5.2) en met welk gewicht (rijplaten of betonplaten) de constructie verzwaard moet worden om bij een nog hogere waterstand inzetbaar te blijven. Het is de vraag in hoeverre dit realistisch is, omdat al snel veel en zwaar materiaal aangebracht zou moeten worden. Locaties van EPS zouden langs de weg met speciale borden aangegeven kunnen worden om zo te weten waar opdrijfrisico’s aanwezig zijn en waar de weg verzwaard moet worden.
Als de constructie is gefaald dan is deze in de herstelfase relatief eenvoudig tijdelijk te herstellen door grond te storten waar overheen gereden kan worden. De weg zal hierdoor weliswaar verzakken, maar dat is in de herstelfase niet zo erg. In de definitieve fase na herstel moet de weg nauwkeuriger worden hersteld.

3.5.6 Kaart

Op bijlage E staan aangegeven welke EPS-constructies binnen het door overstroming bedreigde gebied liggen. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.5.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
EPS in de rijksweg	opdrijven en wegdrijven van de weg	Groot, treedt net zo snel op als dat het water stijgt	Herstel weg	Weg is onbruikbaar
	Falen van kabels en leidingen door grote spanningen als EPS opdrijft	Groot, als kabels en leidingen aanwezig zijn	Opnieuw aanleggen	Weg is bruikbaar, mogelijk minder veilig

3.5.8 Aanbevelingen

Er zijn grenzen aangegeven die grofweg gebruikt kunnen worden om te bepalen of een eps constructie kwetsbaar is voor opdrijven. Voor specifieke eps constructies kunnen op basis van de specifieke kenmerken van het ontwerp de maximale waterstanden worden berekend.

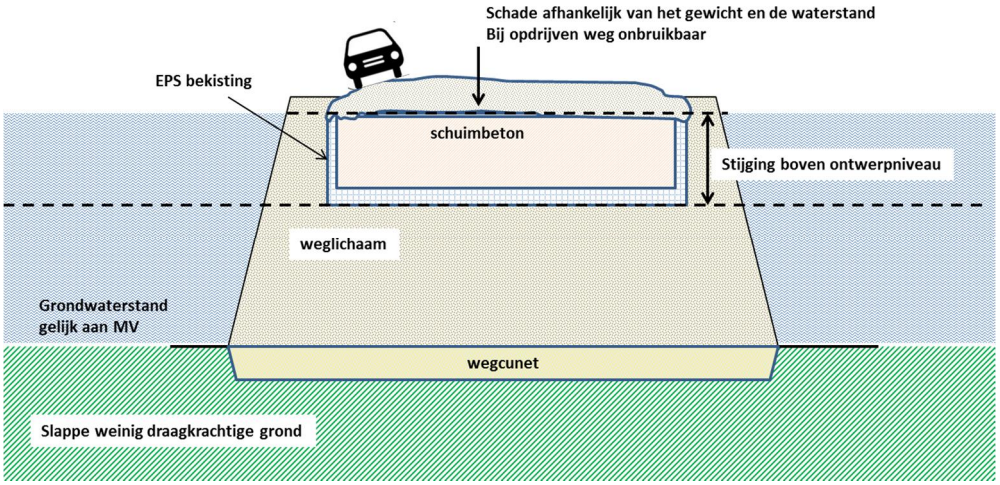
3.6 Schuimbeton constructies

3.6.1 Constructietypen

Schuimbeton wordt in de wegenbouw als licht ophoogmateriaal gebruikt in gebieden waar veel zettingen te verwachten zijn en bij verbreding van wegdelen om de verschil zettingen te beperken (

Figuur 3.21).
Het volumegewicht van schuimbeton bij gangbare toepassing bedraagt 500 kg/m^3. Schuimbeton is bij toepassing in een weglichaam in de meeste gevallen lichter dan water. Het gebruik ervan is vergelijkbaar met de toepassing van EPS. Het vormt een onderdeel van de opbouw van het weglichaam en moet altijd aan de bovenzijde worden voorzien van een wegfundering en wegverharding.

Figuur 3.21 dwarsdoorsnede schuimbetonconstructie



3.6.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

Het opdrijvend vermogen van het schuimbeton vormt de basis van het faalmechanisme. Als de waterstand op het maaiveld boven een bepaald kritisch niveau stijgt, kan de constructie gaan opdrijven. Hierdoor wordt de doorgang belemmerd. Het kritisch niveau is afhankelijk van de aangebrachte hoogte van het schuimbeton en de belasting die er is opgebracht.

Indien schuimbeton als evenwichtsconstructie (zie verklarende woordenlijst) is aangelegd is gecontroleerd of de constructie opdrijft bij een maximale ontwerpwaterstand gelijk aan maaiveld. Dit is vaak niet het maatgevende mechanisme bij ontwerp, waardoor een verborgen veiligheid tegen opdrijven aanwezig is. Op basis van verkennende sommen worden de volgende grenzen aangegeven:

- Waterstand tot 30 a 40 centimeter boven maaiveld: waarschijnlijk zal de wegconstructie niet opdrijven
- Waterstand 30/40 tot 150 centimeter boven maaiveld: onduidelijk of de wegconstructie zal opdrijven. Van belang is hier of de schuimbeton is aangebracht als evenwichtsconstructie. In dat geval zal de constructie snel opdrijven. Als de onderkant van de schuimbeton normaal gesproken boven grondwaterniveau ligt kan de constructie ook pas opdrijven bij waterstanden tot ongeveer 150 centimeter.
- Waterstand hoger dan 150 centimeter boven maaiveld: er moet van worden uitgegaan dat de wegconstructie zal opdrijven.

Als de waterstand verder stijgt, zal de schade steeds groter worden. Door erosie onder en naast de schuimbeton-constructie wordt verwacht dat de constructie bij een dalende waterstand niet meer op de zelfde plaats terug zakt. De weg zal hersteld moeten worden. Er moet van worden uitgegaan dat een opdrijvende schuimbeton-constructie niet meer beschikbaar is voor het wegverkeer.

3.6.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase zal er nog geen gevaar zijn voor beschadiging van het wegdek door opdrijven. In de acute fase zal bij het bereiken van een kritische waterhoogte de constructie op drijven.
In de herstelfase kunnen de schuimbeton-constructies voor problemen zorgen indien de hele constructie is weggedreven. Indien de laag waarop de schuimbeton -constructie is

geërodeerd zal het schuimbeton ongelijk of scheef in de weg aanwezig zijn waardoor het doorgaande verkeer hinder ondervindt of de rijweg geblokkeerd zal zijn.

3.6.4 Snelheid van falen

Op het moment dat het verticaal evenwicht (neerwaarts gewicht van de constructie versus de opwaartse druk van het water) niet meer is gegarandeerd zal de constructie opdrijven. De weg zal vrij plotseling instabiel worden, maar daarna gelijk aan de snelheid waarmee de waterstand stijgt omhoog komen. Vanaf moment van opdrijven moet er vanuit gegaan worden dat de weg niet meer beschikbaar is.

3.6.5 Maatregelen

Een schuimbeton constructie is evenals bij een EPS constructie een lichte constructie die is opgenomen in een weg om ongelijke of ongewenste zettingen te voorkomen en om verbredingen snel tot stand te brengen. Omdat niet duidelijk is hoe elke schuimbetonconstructie is opgebouwd kan per schuimbetonconstructie uitgerekend moeten worden of de constructie faalt en zo ja bij welke waterstandsstijging maatregelen moeten worden aangebracht. Hierbij kan gedacht worden aan het aanbrengen van een extra belasting (rijplaten of betonplaten) zodat de constructie verzwaard wordt om bij stijgende buitenwaterstand berijdbaar te blijven. Het is de vraag in hoeverre dit realistisch is, omdat al snel veel en zwaar materiaal aangebracht zou moeten worden. Locaties van schuimbeton zouden langs de weg met speciale borden aangegeven kunnen worden om zo te weten waar opdrijfrisico's aanwezig zijn en waar de weg verzwaard moet worden.

Als de constructie is gefaald dan is deze in de herstelfase relatief eenvoudig tijdelijk te herstellen door grond te storten waar overheen gereden kan worden. De weg zal hierdoor weliswaar verzakken, maar dat is in de herstelfase niet zo erg. In de definitieve fase na herstel moet de weg nauwkeuriger worden hersteld.

3.6.6 Kaart

Op bijlage F staan aangegeven welke schuimbeton-constructies binnen het door overstroming bedreigde gebied liggen. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.6.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
schuimbeton in de rijksweg	opdrijven en wegdrijven van de weg	Groot, treedt net zo snel op als dat het water stijgt	Herstel weg	Weg is onbruikbaar

3.6.8 Aanbevelingen

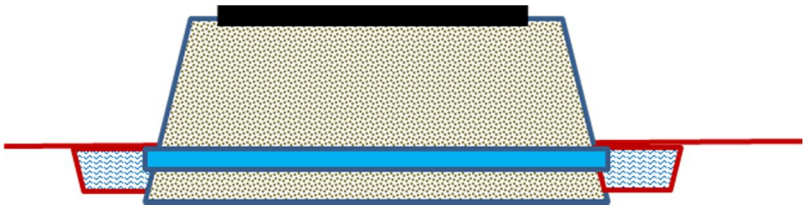
Er zijn grenzen aangegeven die grofweg gebruikt kunnen worden om te bepalen of een schuimbeton constructie kwetsbaar is voor opdrijven. Voor specifieke schuimbeton constructies kunnen op basis van de specifieke kenmerken van het ontwerp de maximale waterstanden worden berekend.

3.7 Duikers

3.7.1 Constructietypen Duikers

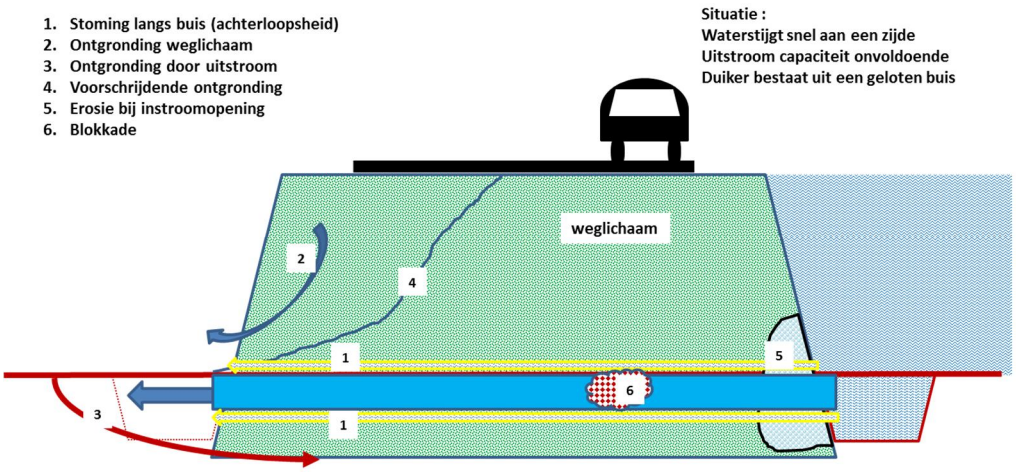
Duikers (zie verklarende woordenlijst) zijn kokervormige doorlaten in wegen die vaarten of sloten aan weerszijde van een weg met elkaar verbinden (Figuur 3.22). Ze hebben verschillende doorsneden. Duikers zijn in groten getale onder het hoofdwegennet aanwezig. Duikers kunnen bestaan uit beton, PVC of staal. In het kader van deze studie zijn ook dassentunnels geclassificeerd als duiker. Ook dit zijn buizen die onder de weg doorvoeren, zij het dat ze normaal niet watervoerend zijn. Hiervoor gelden dezelfde faalmechanismen dan bij duikers.

Figuur 3.22 schematische dwarsdoorsnede duiker



3.7.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

Figuur 3.23 Faalmechanismen bij duikers



<u>Achterloopsheid</u>

Achterloopsheid treedt op als er stroming van water rondom de duiker ontstaat. Het water kan gronddeeltjes meevoeren. Door dit grondtransport zal de ruimte rondom de duiker steeds groter worden en de duiker instabiel worden (zie Figuur 3.23 no1). Uiteindelijk bezwijkt hierdoor de weg. Dit faalmechanisme leidt tot verzakking van de weg.

<u>Verstopping</u>

Een algehele blokkade van de doorstroomopening kan leiden tot een stroming langs de buis (achterloopsheid) of onder de buis (onderloopsheid) (zie verklarende woordenlijst) waardoor het zand in het weglichaam weg wordt gespoeld met als gevolg dat het weglichaam geheel of

gedeeltelijk erodeert (zie Figuur 3.23 no 6 en no. 1). Dit faalmechanisme leidt tot verzakking van de weg.

Gedeeltelijke verstopping

In het buitenland komt in bergachtige gebieden bij hevige neerslag het verschijnsel voor dat bij gedeeltelijke verstopping er door de afgenomen doorstroomopening een sterke stroming ontstaat, mede veroorzaakt door opstuwing van het water aan de bovenstroomse kant. Dit kan leiden tot instabiliteit van het talud van het weglichaam zowel aan zijde van de instroom opening als van de uitstroom opening en is daar een van de voornaamste redenen van sterke erosie of zelfs 'wegslaan' van de weg (zie Figuur 3.23 no 5). Bij een overstroming in het vlakkere Nederland zal de schade beperkt blijven tot het afschuiven van de taluds en het wegvallen van de redresseerstrook (kantstrook) of de vluchtstrook.

In het navolgende is aangenomen dat door een plotselinge dijkval er een grote hoeveelheid water tegen de weg staat. De duikers hebben een beperkte afvoercapaciteit die veel kleiner is dan de hoeveelheid water die via een overstroming vrijkomt. Dit verschijnsel treedt op in de nabijheid van de bres en niet zo zeer in het verre achterland. In alle beschouwingen is uitgegaan van een plotseling stijgende waterstand.

Erosie en ontgronding

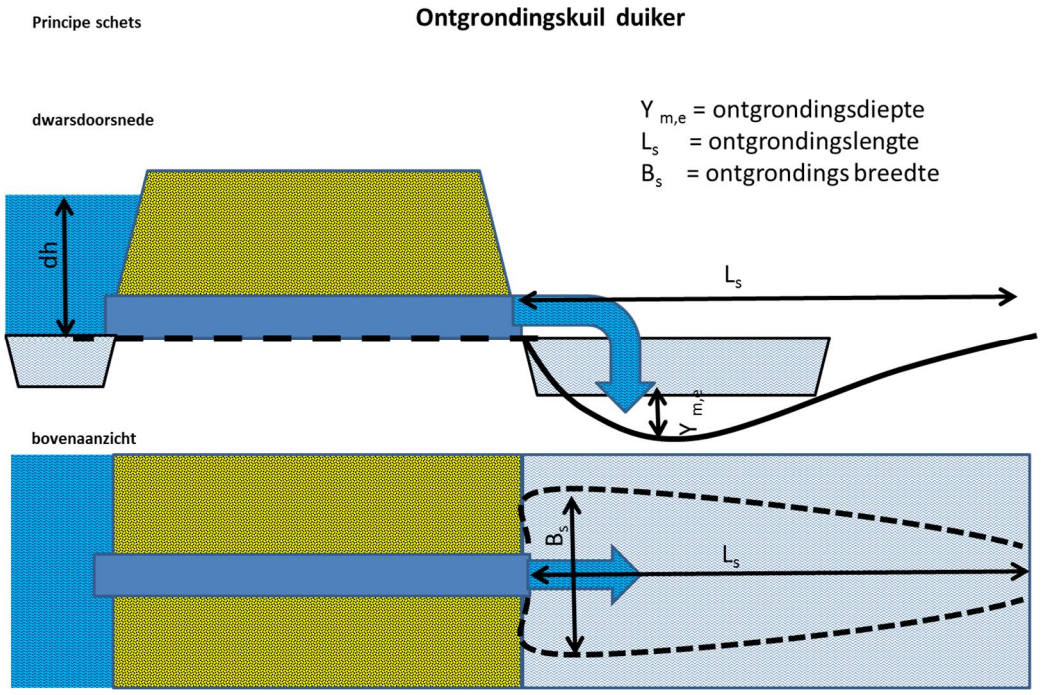
Door het verschil in waterstand ontstaat een snelle stroming. Bij de uitstroomopening zal door de kracht van de waterstraal het overliggende talud eroderen en de bodem voor de uitstroomopening (erosiekuil). Het gevolg is een terugschrijdende erosie richting het weglichaam. Het weglichaam wordt instabiel en zal gedeeltelijk afschuiven, waardoor het talud van de weg met de kantstrook en of de vluchtstrook afschuift.(zie Figuur 3.23 no 2,3 en 4 en Figuur 3.24).

Figuur 3.24 Duiker, snelstromend water faalmechanisme 3

Er zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd voor verschillende afmetingen van een duiker (rond zowel als rechthoekig) bestaande uit of PVC of uit beton. Deze berekeningen tonen aan

dat de snelheid van falen vanaf het begin van de ontgronding bij de uitstroomopening vooral wordt bepaald door het potentiaalverschil over de duiker (verschil in waterstand tussen de hoogwaterzijde en de laagwaterzijde). De lengte en afmeting van de duiker en de wandruwheid spelen hierbij in deze situatie een ondergeschikte rol. In Figuur 3. staat een ontgrondingskuil schetsmatig weergegeven die door het water dat met grote snelheid uit de buis stroomt wordt gevormd. De berekeningen tonen aan dat bij een sloot talud met een goede grasbekleding bij een uitstroomsnelheid van 4 m/s er na 3 uur ontgronding van de taluds optreedt. Deze uitstroomsnelheid wordt bereikt bij een waterstandsverschil van meer dan 1 meter tussen de hoge en lage waterzijde van de weg. De ontgronding is berekend voor een zandige ondergrond, hetgeen een conservatieve (pessimistische) aanname is, omdat in Nederland veelal klei en veen voorkomen in de toplagen van overstroomde gebieden.

Figuur 3.25 Principeschets ontgrondingskuil duiker (Opm.: $Y_{m,e}$ is de ontgrondingsdiepte t.o.v. slootbodem)



In de tabel staat voor de uiterste grenzen de afmetingen van de ontgrondingskuil aangegeven voor een zandige bodem. Het is niet bekend welke potentiaalverschillen kunnen optreden over de wegen van het hoofdwegennet. Maximaal is het potentiaalverschil uiteraard begrensd door de waterdiepte; in het algemeen wordt aangenomen dat dit maximaal 1 à 2 meter zal zijn.

Tabel 3.26 overzicht rekenresultaten voor 1,2 en 5m potentiaal verschil

*) rekenresultaat valt mogelijk buiten de grenzen van de formule

potentiaal-verschil dh [m]	Uitstroom-snelheid v [m/s]	Diepte $Y_{m,e}$ [m]	Lengte L_s [m]	Breedte B_s [m]
1	2,6	0,95	6,7	4,8
2	4,0	1,50	10,5	7,5
5	7,6	10,5 *)	73,3	52,4

In de tabel is af te lezen dat bij een toenemend potentiaalverschil de breedte van de ontgrondingskuil toeneemt. Dit kan inhouden dat duikers waarvan de onderlinge afstand kleiner is dan de ontgrondingsbreedte, de ontgrondingskuilen een geheel kunnen gaan vormen. Bij de in de tabel aangegeven resultaten is aangenomen dat de waterstand aan de uitstroomopening tot maximaal maaiveld is gestegen.
Door het ontstaan van een ontgrondingskuil in de teen van de ophoging komt de stabiliteit van het weglichaam in gevaar. Indicatieve stabiliteitsberekeningen geven aan dat de schade in de acute fase beperkt blijft tot het talud, de kantstrook en/of de vluchtstrook.
In de herstelfase als het buitenwater is gezakt en het beschadigde weglichaam nog verzadigd is neemt de veiligheid tegen stabiliteitsverlies af.

Instroomzijde
Aan de instroomzijde zal door de toenemende snelheid waarmee het water door de duiker stroomt erosie plaats vinden van de taluds en de bodembescherming. In het buitenland is dit een veel voorkomend faalmechanisme (zie Figuur 3.23 no 5 en ook paragraaf 3.3). De schade die tijdens de acute fase verwacht wordt zal beperkt blijven tot het talud en de kantstrook.

Onderbrekingen in de duiker
Indien er verbindingen zijn losgeschoten of er een breuk in de leiding van de duiker is ontstaan kan er door deze openingen water in het weglichaam stromen en voor verweking zorgen. Door deze verweking neemt de draagkracht af en kunnen er afschuivingen of liquefaction optreden (zie verklarende woordenlijst). Dit faalmechanisme zal leiden tot instabiliteit van het wegdek en het verlies van de er bovenliggende rijstroken.

3.7.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase treden de faalmechanismen nog niet op, pas als er daadwerkelijk water gaat stromen en de waterstand aan een zijde van het weglichaam stijgt, wordt de situatie snel kritiek.
De faalmechanismen komen tot ontwikkeling in de acute fase en nemen dan snel in ernst toe. Door het grote aantal duikers onder de snelwegen kan de schade erg groot zijn. De schade blijft meestal beperkt tot het talud en de vlucht- of kantstrook. Herstel kan pas plaats vinden nadat het water is weggetrokken.
In de herstelfase neemt de schade toe door het water dat in het verzadigde weglichaam weer uit stroomt en hiermee grond mee spoelt. De schade wordt nu uitgebreid tot een of meer rijstroken die verzakken of verdwijnen. Hierdoor kan instabiliteit van het talud aan de orde zijn. Zie ook [Deltares, 2014b].

3.7.4 Snelheid van falen

De beschreven faalmechanismen betreffen relatief langzame processen die zich plotseling openbaren door een afschuiving of instorting van de weg.

3.7.5 Maatregelen

Om de boven geschetste faalmechanismen te voorkomen of in omvang te beperken is beheer- en onderhoud van de duikers belangrijk. De kans op falen wordt kleiner, als de duikers schoon zijn en niet verzakt. Om echt te voorkomen dat duikers kunnen falen zullen structureel andere constructies nodig zijn. Hierbij kan gedacht worden aan een verbrede berm tussen het weglichaam en de sloot of vaart, verflauwen van het talud en het opnemen van een kwelscherm rond de duiker om de achter- en onderloopsheid tegen te gaan. Het is bij al deze maatregelen uiteraard de vraag of de kosten van de preventieve maatregel opwegen tegen de baten tijdens een mogelijke overstroming.

Herstel van de weg kan tijdelijk vrij eenvoudig worden uitgevoerd door grond aan te brengen waar overheen gereden kan worden. Voorwaarde is wel dat er dan geen waterstandsverschil meer is en gaat ontstaan tussen beide zijden van de weg.

3.7.6 Kaart

Op bijlage G is een overzicht gegeven van de ligging van de bekende duikers onder de rijkswegen. Op de kaart is aangegeven welke duikers onder wegen liggen in met overstroming bedreigde gebieden. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.7.7 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
duikers	Achter- en onderloopsheid waardoor een de weg kan wegspoelen	reëel	Herstel weglichaam	Weg kan snel onbruikbaar worden
	Blokkade buis (geheel of gedeeltelijk)	reëel	Blokkade weg nemen	Weg is bruikbaar
	Erosie en ontgronding waardoor talud kan afschuiven	reëel	Herstel bodem-bescherming	Weg is (deels) bruikbaar
	Losschieten verbinding tussen de elementen waardoor erosie plaatsvindt en gaten kunnen vallen in de weg	Reëel bij oude duikers	Weg herstellen met duiker	Weg beschadigd en onbruikbaar
		Matig bij nieuwe duikers		Weg beschadigd maar wel bruikbaar

3.7.8 Aanbevelingen

In principe geldt voor alle bovenstaande faalmechanismen dat de gevolgen groter worden bij een groter waterstandsverschil tussen beide zijden van de weg. Het is op dit moment echter niet bekend hoe bij elk denkbaar overstromingsscenario het waterstandsverschil zich ontwikkeld tussen twee zijden van een weg. Om nauwkeuriger vast te kunnen stellen of de hoofdweg kwetsbaar is voor schade moet daarom worden uitgezocht:

- Welke duikers in een gebied liggen waar waterstandsverschillen tussen beide zijden van de hoofdweg kunnen ontstaan.
- Hoe, in die gebieden, het waterstandsverschil zich tussen de twee zijden van de weg ontwikkelt.

Daarnaast wordt aanbevolen om voor potentieel kwetsbare duikers vast te stellen hoe deze zijn aangelegd. Hoe verder de uitstroomopeningen van de weg liggen, hoe kleiner de kans dat de hoofdweg schade oploopt door de beschreven faalmechanismen

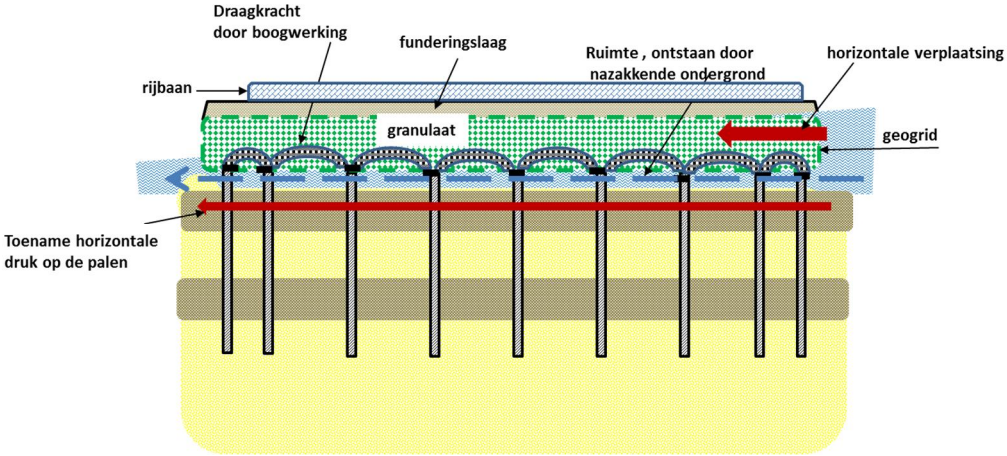
De combinatie van beide onderzoeken geeft de mogelijkheid om vast te stellen wat de daadwerkelijke schade zal zijn bij duikers tijdens overstromingssituaties.

3.8 Paalmatrassystemen

3.8.1 Constructietypen

Een paalmatrassysteem (Figuur 3.27) bestaat uit een veld van palen, met daarop een aardebaan. Het onderste deel van die aardebaan bestaat uit granulaat en wordt gewapend met één of meer lagen geokunststof. Daarbovenop wordt de aardebaan verder opgehoogd met zand of een granulaat. Ten slotte wordt de paalmatras afgewerkt met een funderingslaag en een verharding.

Figuur 3.27 Dwarsdoorsnede paalmatras



Belasting in grond heeft de neiging om af te buigen in de richting van stijvere elementen. In de paalmatras buigt de belasting dus richting palen. De grond tussen de palen is immers slapper dan de palen. Daardoor lijkt het alsof er een soort bogen ontstaan in het granulaat, hoewel ze niet echt zichtbaar zijn. Dit is vergelijkbaar met de gewelven in een oude kerk of een kathedraal. Via die bogen wordt de belasting efficiënt overgebracht naar de palen (boogwerking). Boogwerking vormt de basis voor de rekenmodellen om de geokunststof wapening in de paalmatras te dimensioneren.

De slappe grond tussen de palen, onder de matras, kan in de loop van de jaren wegzakken. Daardoor gaat de matras enigszins hangen tussen de palen. De geokunststof wapening moet sterk genoeg zijn en voldoende vervormbaar zijn om dit op te kunnen vangen. In het ontwerp van de paalmatras wordt hiermee rekening gehouden.

3.8.2 Faalmechanismen tijdens overstroming plus effect voor weggebruiker

- Tijdens een hoogwatersituatie kan de ruimte onder de paalmatras vol stromen met water. Onbekend is het effect van het verzadigen van de laag met granulaat op de boogwerking. Indien door verweking of afname van de druk in het granulaat de boogwerking afneemt of verdwijnt, zal de belasting geheel overgenomen moeten worden door de wapening van geokunststof. De kans op bezwijken is dan aanwezig, waardoor de weg niet meer bruikbaar is voor normaal verkeer.
- De ruimte onder de paalmatras kan door de hoge waterstand aan een zijde een kanaal vormen waardoor zeer veel water kan stromen. In dit kanaal kan erosie van de ondergrond plaats vinden. Het effect op het draagvermogen van de paalmatras is onbekend, maar verwacht wordt dat deze niet zo groot is.

3.8.3 Fase waarin faalmechanisme optreedt

In de dreigingsfase zal de paalmatras volledig functioneren. In de acute fase is afhankelijk van het ontwerp de schade mogelijk beperkt. Het is onbekend hoe een paalmatras zich bij langdurige blootstelling aan water gedraagt.

3.8.4 Snelheid van falen

Omdat onbekend is wat voor effect een hoge waterstand op de paalmatras heeft kan ook niet aangegeven worden met welke snelheid het falen verloopt. Zou de constructie uit zand bestaan dan verloopt dit proces snel.

3.8.5 Kaart

Bijlage H geeft de ligging van de paalmatrassystemen aan. Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de ligging in met overstroming bedreigd gebied en buiten dit gebied.

3.8.6 Samenvatting

Speciaal object	**Faalmechanismen**			**Effect voor weggebruik**
	Acute fase		**Herstelfase**	
	omschrijving	**Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)**	**omschrijving**	
paalmatras	Achter- en onderloopsheid door spleet tussen grond en paalmatras	reëel	onbekend	onbekend
	Afname boogwerking door hoge waterstanden	onbekend	onbekend	Weg zal deels verzakken

3.8.7 Aanbevelingen

Om beter inzicht te krijgen in de genoemde faalmechanismen moet onderzoek worden uitgevoerd naar:

- De wijze waarop de boogwerking door hoge waterstanden in het granulaat afneemt en hoe de constructie hier op reageert.
- De wijze waarop een waterstroming in de spleet onder het geotextiel de werking van de paalmatras kan tegengaan.

4 Bevindingen over het functioneren van speciale objecten voor en tijdens overstromingen

4.1 Inleiding, leeswijzer dit hoofdstuk

In hoofdstuk 3 staat de analyse gerapporteerd van de verschillende soorten faalmechanismen die aanwezig zijn bij speciale objecten. Deze analyse is uitgevoerd door gebruik te maken van literatuur, richtlijnen en expertkennis. Het is aan te bevelen om lokaal te controleren of deze analyse juist is. Ook kan alleen door per locatie onderzoek te doen worden vastgesteld hoe kwetsbaar de situatie daadwerkelijk is. Daarnaast spelen naast 'harde' faalmechanismen ook de protocollen en operationele afspraken een rol bij de beschikbaarheid van speciale objecten tijdens overstromingssituaties.
Daarom zijn beheerders van speciale objecten benaderd m.b.t. ontwerp en as built gegevens en is tevens een inventarisatie gemaakt van (huidige) operationele gegevens en afspraken m.b.t. overstromingssituaties.

4.2 Selectie van speciale objecten

Aan de hand van het kaartmateriaal en de analyses van mogelijke gebeurtenissen voor, tijdens en na overstromingen is samen met Rijkswaterstaat WVL een selectie gemaakt van nader te onderzoeken speciale objecten / kunstwerken. Deze lijst is beperkt qua omvang. Dat komt door de korte tijdsduur waarin dit onderzoek moest worden uitgevoerd. De selectie omvat:

Tunnels:
- 1ste Heinenoord tunnel
- 2de Heinenoord tunnel
- Benelux tunnel
- Drecht tunnel
- Noord tunnel
- Botlek tunnel
- Vlaketunnel
- Zeeburger tunnel
- Velser & Wijker tunnel
- In de loop van het onderzoek is tevens in algemene zin aandacht geschonken aan landtunnels

Aquaducten:
- Gouwe aquaduct
- Aquaducten (oud en nieuw) in de A4, ringvaart Haarlemmermeer

Het gebied bij de A15 en A2
- Voor meer gebiedsgerichte info over b.v. duikers heeft het onderzoek zich gericht op de gebieden bij de A15 en A2 in Waterschap 'Rivierenland', Veiligheidsregio Gelderland-Zuid. Het betreft vooral de A15 oostelijk van knooppunt Deil.

4.3 Vraagstelling

De vraagstelling waarmee diensten en districten van Rijkswaterstaat zijn benaderd betreft:

1. Is/wordt er tijdens ontwerp en bouw/realisatie / beheer rekening gehouden met mogelijke overstromingssituaties, zo ja, hoe?
2. Zijn er kanteldijken en/of andere voorzieningen zoals sluitdeuren (bij tunnels) getroffen?
3. Zijn er vastgelegde handelwijzen of protocollen m.b.t. het handelen en operationeel houden of afsluiten van de tunnel / aquaduct in dreigingsfase, acute fase en herstelfase?
4. Zijn er in die zin ook zaken vastgelegd t.a.v. te verwachten keten effecten zoals uitval van elektriciteit en het onbereikbaar worden van de locatie voor bedienend personeel?
5. Zijn er in die zin ook afspraken en contacten met b.v. de veiligheidsregio?
6. Zijn er eventueel ervaringen met herstel en herstelkosten van waterschade?

Bezien vanuit de taakverdeling binnen Rijkswaterstaat heeft deze vraagstelling deels met crisis beheersing (vraag 3, 4, 5) te maken, deels met (statische) gegevens over b.v. maatvoering zoals hoogteligging en situering gecombineerd met de relevante beheerplannen bij de in gebruikstelling (asset management) (vraag 1, 2, 6). De vragen 3, 4 en 5 hebben een relatie met de calamiteiten handboeken die binnen Rijkswaterstaat gehanteerd worden. Daarom horen deze vragen bij de calamiteitenorganisatie binnen de diensten en districten van Rijkswaterstaat. Daar liggen ook de contacten met de veiligheidsregio's.

Via Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving [Muiswinkel, Kees van, 2014] zijn diensten en districten van Rijkswaterstaat benaderd om de juiste medewerkers te vinden met deze vraagstelling, voor de in de voorgaande paragraaf 4.2 genoemde speciale objecten / kunstwerken.

4.4 Vraag 1 en 2

4.4.1 Tunnels en Aquaducten

Om de gevolgen van overstromingen te beperken zijn wegverkeerstunnels die onder waterkeringen doorlopen voorzien van kanteldijken. De functie is tweeërlei. Bij een overstroming in het gebied buiten de kanteldijken wordt de tunnelmond niet bedreigd en blijft de tunnel droog. Anderzijds, mocht er sprake zijn van een ernstige lekkage van de tunnel zelf (of is er sprake van een onverhoopte overstroming van de tunnelmond aan één zijde), waardoor deze vol loopt, kan water via deze lekkage en de tunnel niet het (andere gebied door syphon werking) gebied buiten de kanteldijken inunderen.

Kanteldijken maken deel uit van het waterkering systeem en zijn dus onderhevig aan goedkeuring waterschappen en de periodieke toetsing (nu komend 2017).
Voor tunnels van RWS zijn vanuit de waterschappen altijd twee eisen gesteld:

- bij het falen van de tunnel of het aquaduct (lek raken) dient de omgeving niet via de tunnel/aquaduct onder te stromen; dit leidt tot een minimaal hoogteniveau van de beëindiging van de toerit.
- bij het falen van een waterkering aan één zijde mag de omgeving aan de andere zijde niet via de tunnel onderstromen (syphonwerking).

Bij tunnels wordt bij verkeersverbindingen aan deze twee eisen voldaan door het aanbrengen van kanteldijken. Een bijkomend juridisch voordeel van de aanwezigheid van een kanteldijk is

dat de waterkering en de tunnel in juridische zin ontkoppeld zijn; de tunnel zelf maakt c.q. behoeft geen onderdeel uit te maken van de periodieke keur van de waterkering.

Bij tunnels voor verkeerswegen onder waterwegen zijn geen afsluitbare deuren aanwezig. Deze of vergelijkbare voorzieningen worden b.v. wel bij metro- en treintunnels aangetroffen, ook daar waar deze een waterkering onderlangs kruisen. Het waarborgen van de waterkerende functie van de waterkering staat voorop. Daarnaast voorzien de deuren in het kunnen drooghouden van tunnel(segmenten) tijdens een overstroming. Bij wegverkeerstunnels zijn de voor deuren te realiseren constructies te groot en vormt de gewenste betrouwbaarheid voorafgaand aan of tijdens een calamiteit een mogelijk risico en wordt gekozen voor kanteldijken.

Bij aquaducten sluit de weg vanuit het aquaduct doorgaans aan bij de doorgaande weg die min of meer op maaiveld ligt [Gabrielse en Vermeulen, 2014]. Voor een eventuele overstroming is de maaiveldhoogte dan maatgevend voor het (ongewenst) binnenlopen van water het aquaduct in. Bij aquaducten zijn er geen kanteldijken aanwezig.

4.4.2 Het gebied bij de A15 oostelijk van knooppunt Deil

Voor zover bekend is / wordt er tijdens ontwerp en bouw/realisatie / beheer van de verkeersweg geen rekening gehouden met mogelijke overstromingssituaties en de invloed daarvan op kleinere objecten zoals duikers en kleine tunnels [Driessen, Eric, 2014].

4.4.3 Landtunnels

De informatie is vooral verkregen bij navraag naar de situatie bij de Leidsche Rijn verkeerstunnel in de A2 (Amsterdam – Utrecht) [Elferink, Patrick, 2014], de Sijtwende tunnel in de N14 tussen A4 en de N44/A44 in de gemeente Leidschendam-Voorburg [Linden, Henk van der, 2014] en de nog te bouwen drie kilometer lange Gaasperdammertunnel in de A9 binnen het wegverbredingsprogramma Schiphol-Amsterdam-Almere [Muiswinkel, Kees van, 2014].

Tijdens ontwerp en bouw/realisatie / beheer is geen rekening gehouden met mogelijke overstromingssituaties, juist vanwege het feit dat het een landtunnel betreft. Er zijn ook geen voorzieningen hiervoor getroffen. De tunnels zijn niet afsluitbaar.

4.5 Vraag 3, 4 en 5

4.5.1 Tunnels en Aquaducten

Voor (wegverkeers-)tunnels zijn door Rijkswaterstaat zogenaamde faaldefinities vastgesteld. Deze gaan in op hoe te handelen bij technisch falen (afsluiten van tunnel of treffen van beheersmaatregelen zoals aangepaste snelheid, aanwezigheid brandweer e.d.). Dit is echter niet gekoppeld aan specifieke oorzaken. Bij dreiging van hoog water zijn er verder geen specifieke afspraken met betrekking tot beheermaatregelen in de tunnels van Rijkswaterstaat [Dekker, Peter, 2014].

Ook bij of voor keten effecten gelden dezelfde faaldefinities. De tunnels worden op afstand bediend, alleen bij technisch falen is lokale bediening nodig (in het bediengebouw van de tunnel). Bij onbereikbaar worden van de locatie voor bedienend personeel in combinatie met uitval van de afstandsbediening geldt het principe: ‘eigen veiligheid eerst’. De tunnel wordt dan niet bediend. Weggebruikers vallen terug op zelfredzaamheid [Dekker, Peter, 2014].

De energievoorziening wordt meestal op middenspanningsniveau (10 kV) tot in het dienstgebouw van de tunnel gebracht [Linden, Henk van der, 2014]. In het dienstgebouw

bevindt zich een aparte ruimte waar de transformatoren van de netbeheerder, zoals b.v. Stedin, staan. Deze ruimte is voor personeel van Rijkswaterstaat niet toegankelijk. Middels de transformatoren wordt de middenspanning omlaag getransformeerd tot de “gewone” laagspanning. Tunnels hebben dus een aparte aansluiting en zitten niet op de “gewone” elektriciteitsvoorziening van waar uit ook huizen e.d. worden gevoed. Een aantal tunnels hebben een redundante aansluiting op het middenspanningsniveau, die worden gevoed uit twee afzonderlijke middenspanningsnetten. De overige tunnels hebben een enkelvoudige aansluiting op het middenspanningsniveau en hebben voor de redundantie een noodstroomvoorziening, zoals voorgeschreven in de Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp (SATO) [SATO, 2005]. In de SATO zijn richtlijnen voor het ontwerp van tunnels, waaronder EM-installaties, opgenomen.

De veiligheidsregio Utrecht heeft in samenwerking met o.a. Eneco een beeld m.b.t. de koppeling van de elektriciteit vanuit diverse schakelstations / onderstations aan het voorzieningsgebied bepaald, zie figuur 4.1. Er zijn ook kaartjes waarbij de gebieden die gaan uitvallen in de tijd aangegeven staan. Deltares heeft, deels op basis van openbaar beschikbare informatie, deels op basis van door betrokken partijen beschikbaar gestelde informatie, voor een gebied in Zuidoost Groningen en voor een gebied in de Kop van Noord-Holland (o.a. m.m.v. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) vergelijkbaar kaart materiaal samengesteld. De exacte locaties waar de elektriciteitsvoorziening van de tunnels en aquaducten is gekoppeld aan het elektriciteitsnet zijn echter bij het afronden van deze studie niet bekend.

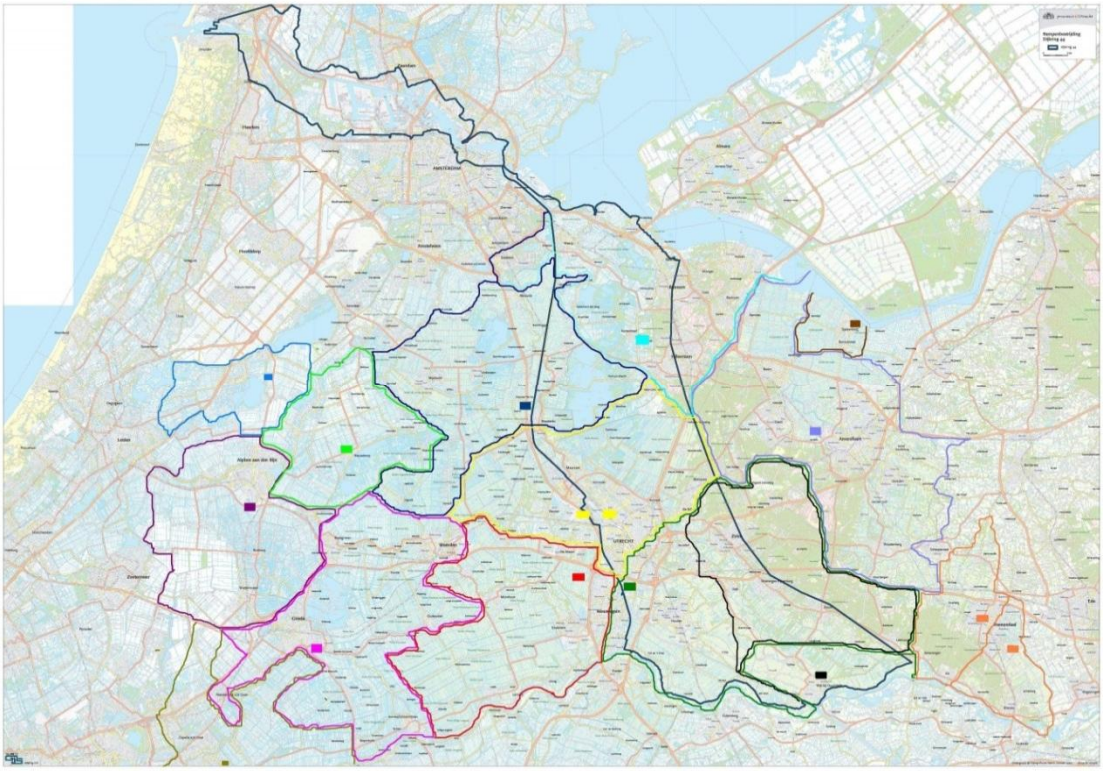
De noodstroomvoorziening is in het algemeen een systeem met een of meer gas- of dieselmotor aangedreven elektrische generatoren [SATO, 2005]. Na stroomuitval moet het systeem binnen 30 seconden volledig in bedrijf zijn. Het systeem moet gedurende tenminste 3x24 uur voldoende energie leveren voor ‘normaal’ bedrijf. De oudere tunnels hebben echter niet een dieselvoorraad voor 3x24 uur. Dit is ook niet nodig als de dieselvoorraad binnen 24 uur kan worden bijgevuld. Als er geen diesel kan worden aangevoerd, zoals mogelijk bij een overstroming, dan zal de elektriciteitsvoorziening in de tunnel op een gegeven moment falen.
Bij het Gouwe aquaduct is eveneens sprake van een noodstroomvoorziening [Linden, Henk van der, 2014]. Het is niet duidelijk of dit bij alle aquaducten het geval is.

Overigens hebben alle tunnels ook een no-break unit om de belangrijkste systemen, zoals het bedienings- en besturingssysteem, ononderbroken van stroom te voorzien gedurende de periode dat de spanning van het openbare net is weggevallen tot aan het moment dat de noodstroomaggregaat is opgestart en stroom kan leveren.

Voor de Vlaketunnel, met de reguliere stroomvoorziening van energieleverancier Delta, is aangegeven [Gabrielse en Vermeulen, 2014] dat de noodstroomvoorziening in het binnen de kanteldijken gelegen bedieningsgebouw op maaiveldniveau (circa NAP 0,0 tot + 1,0 m) is opgesteld.

De communicatie tussen de tunnels en de verkeerscentrales, waaronder b.v. die te Rhoon, vindt plaats via een glasvezelnetwerk. Dit netwerk is in beheer van Rijkswaterstaat zelf. De actieve componenten in het communicatienetwerk bevinden zich veelal ook in tunnels en worden gevoed vanuit de no-break unit in combinatie met de noodstroomaggregaat van een tunnel. Daarnaast staan een aantal actieve componenten in zogenaamde VIC-net-ruimten langs de Rijkswegen, waarin ook no-break units staan. Het is niet duidelijk hoe lang deze de stroomvoorziening kunnen overnemen.

Figuur 4.1 Koppeling van de elektriciteit vanuit diverse schakelstations / onderstations aan het voorzieningsgebied (bron: Veiligheidsregio Utrecht)



Voor de Zeeburger tunnel en de Velser & Wijker tunnels is door de betreffende adviseur crisisbeheersing [Veen, Dennis van der, 2014] van Rijkswaterstaat aangegeven dat er geen speciale maatregelen zijn getroffen of dat daartoe al afspraken zijn gemaakt met de veiligheidsregio's. Er zijn m.b.t. mogelijke overstromingen geen afspraken met (elek.)net beheerders.

Er is wel regelmatig contact met de veiligheidsregio's en waterschappen. Omgekeerd hebben de veiligheidsregio's vanuit hun verantwoordelijkheid ook regelmatig contact met (elektriciteit)net beheerders en de andere ketenpartners, waaronder Rijkswaterstaat.

4.5.2 Het gebied bij de A15 oostelijk van knooppunt Deil
Zie direct hieronder, 'Algemeen, contact met de veiligheidsregio's'.

4.5.3 Algemeen, contact met de veiligheidsregio's
Het bestaan van regelmatig en, voor calamiteiten ook vooraf doordacht en vastgelegd contact met de veiligheidsregio's wordt bevestigd in b.v. het Calamiteitenplan Rijkswaterstaat Oost-Nederland [Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2013]. Hierin is op beknopte wijze omschreven hoe de crisisorganisatie van Rijkswaterstaat Oost-Nederland is georganiseerd terwijl in het operationele deel voor een groot aantal scenario's is omschreven wat de crisisorganisatie doet of kan doen om de situatie zo snel als mogelijk tot normaal terug te brengen. Daarbij is ook aangegeven welke externe organisaties, afhankelijk van de situatie, wederzijds geïnformeerd of gealarmeerd worden en wat de specifieke taken en verantwoordelijkheden zijn, met de daarbij horende handelwijzen, draaiboeken, enz. Conclusie is dat men is

voorbereid, hoewel alles natuurlijk wel gerelateerd is aan de plaats en ernst van de overstroming/dijkdoorbraak.

Relevante scenario's zijn:
- Hoogwater.
- Uitval/Storing Natte Infrastructuur en Objecten Onderdeel: Aanvaring brug(pijler).
- Gedeeltelijke of Totale Wegblokkade.
- Uitval/Storing Droge Infrastructuur en –Objecten.
- Extreme Weersomstandigheden, en
- Evacuatie.

Voor het scenario evacuatie, bij dreigende overstroming van gebieden, is er sprake [Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2013] "van een voorspelbare situatie omdat hoogwatersituaties m.b.v. modellen goed geschat kunnen worden (2-4 dagen). In dergelijke gevallen zal overgegaan worden naar een geplande preventieve evacuatie. Dit soort situaties is dus voorspelbaar." Een van de aandachtspunten is 'overstromen rijkswegen'.

Opschalingcriteria bij het scenario evacuatie zijn aangegeven in navolgende tabel. Vanaf fase 1 zijn / worden, zeker in het geval van het scenario van gedeeltelijke of totale wegblokkade vele partijen waaronder ook Regionale brandweer/Veiligheidsregio gealarmeerd. Het Regionaal Crisisteam RWS Oost-Nederland zorgt bij grote acute evacuaties ook het z.s.m. regelen van een liaison bij het lokaal bestuur (naast een liaison in het ROT (Regionaal Operationeel Team)).

Voor tunnels zijn er naast het bovenstaande genoemde calamiteitenplan tevens calamiteitenbestrijdingsplannen. Deze bevatten (voorbeeld voor Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid, District Zuid, [Dekker, Peter, 2014]) scenario's, zie bijlage J, die ook op een situatie van dijkdoorbraken van toepassing kunnen zijn. Scenario G (het verkeersvrij maken van de tunnel) heeft daar het meest betrekking op:

> *Het verkeersvrij maken van de tunnel kan verschillende oorzaken hebben. De meeste van de oorzaken zullen van externe aard zijn (bijv. evacuatie van het achterliggende gebied). Hierbij zal het bevoegd gezag aan RWS, dienst Zuid-Holland, verzoeken de tunnel verkeersvrij te maken. In veel gevallen zal hierbij snel gehandeld moeten worden. Uiteraard kan het verkeersvrij maken van de tunnel ook van toepassing zijn bij één van de andere genoemde scenario's. Het verkeersvrij maken kan ook plaatsvinden vanuit de Tunnelbeheerder in geval van het grootschalig falen van technische installaties in de tunnel.*

'Verkeersvrij maken' kan in de context van een evacuatie bij een dreigende overstroming verschillende betekenissen hebben:
- Verkeersvrij maken om de tunnel geheel beschikbaar te hebben voor evacuatieverkeer (een bedreigd gebied uit).
- Verkeersvrij maken om de tunnel geheel beschikbaar te hebben voor hulpverkeer (een bedreigd of overstroomd gebied in en uit).
- Verkeersvrij maken om de tunnel buiten gebruik te kunnen stellen indien toeleidende wegen niet meer beschikbaar zijn en er geen verkeersaanbod meer is, ook niet van eigen RWS-personeel.
- Verkeersvrij maken om de tunnel buiten gebruik te kunnen stellen indien onverhoopt inundatie van de tunnel dreigt.

Coördinatie-fase RWS Oost-Nederland	GRIP fase	Criteria / parameters/ normen
0 (routine)	0 (routine)	Lokale evacuaties die binnen een woonplaats worden opgevangen (bijvoorbeeld evacuatie van een wijk door een lekkende tankwagen, opvang in een sporthal in de plaats zelf). Geen gevolgen voor de rijkswegen.
1	1	Acute evacuaties van grote wijken, dorpen of een deel van een stad waarbij er gebruik gemaakt wordt van de rijkswegen. Minimale gevolgen voor de doorstroming op de rijkswegen.
2	2	• Acute evacuaties van grote wijken, dorpen of een deel van een stad (kleiner dan 15.000 personen) tijdens de ochtend- of avondspits • Acute evacuaties van grote steden (Arnhem, Hengelo, Zwolle et cetera) waarbij er gebruik gemaakt wordt van de rijkswegen (meer dan 15.000 personen) en/of • Grote geplande evacuaties van gebieden als gevolg van een voorspelbaar incident • Acute of geplande evacuaties waarbij eigen personeel betrokken is, waardoor er onvoldoende personeel beschikbaar is en dus coördinatie van voorzitter Regionaal Crisis Team verlangd wordt.
3	3, 4	Grote (preventief of acute) evacuaties als gevolg van een (dreigende) ramp (in welke vorm dan ook: lokaal, regionaal dan wel nationaal)
Opschalingcriteria bij scenario Evacuatie [Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2013] De veiligheidsregio's hanteren de (landelijk) Gecoördineerde Regionale IncidentenbestrijdingsProcedure (GRIP) als opschalingsystematiek.		

4.5.4 Landtunnels

De informatie is vooral verkregen bij navraag naar de situatie bij de Leidsche Rijn verkeerstunnel in de A2 (Amsterdam – Utrecht) [Elferink, Patrick, 2014].

Er zijn voor overstromingssituaties geen vastgelegde handelwijzen of protocollen m.b.t. het handelen en operationeel houden of afsluiten van de landtunnel in dreigingsfase, acute fase en herstelfase. Deze zijn alleen beschikbaar voor het geval van terreur en dreiging.

Voor uitval van elektriciteit en het onbereikbaar worden van de locatie voor bedienend personeel kan de tunnel stand alone draaien op elektriciteit en zijn er twee bedien locaties.

Er zijn afspraken en contacten met de veiligheidsregio, echter, overstroming is geen onderwerp.

4.5.5 Diefdijk

Een specifiek geval is de Diefdijk. Het viaduct over de A2 is een coupure in de Diefdijk [Waterschap Rivierenland, 2013] (figuur 4.2). Er is een uitgebreide beschrijving voor de sluiting beschikbaar in het draaiboek sluiting coupure rijksweg A2. Bij een dijkdoorbraak in dijkring kunnen de schuiven gesloten worden. De A2 zal hierdoor niet meer doorgankelijk zijn.

Figuur 4.2 Viaduct over de A2 in de Diefdijk voorzien van schuiven

4.6 Vraag 6

Er zijn in de geraadpleegde bronnen en bij de geraadpleegde contacten geen noemenswaardige ervaringen met herstel en herstelkosten van grootschalige waterschade naar voren gekomen. Ook voor landtunnels [Elferink, Patrick, 2014] is dit niet in de scenario's meegenomen.

Wat wel beschikbaar is, zijn eerdere studies van Rijkswaterstaat [Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2006], [Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2007]. Doel van deze studies was het kwantificeren en monetariseren van de mobiliteitseffecten van een dijkdoorbraak in de vorm van een casestudie. Het gaat hierbij om een quick scan om een globaal beeld te krijgen van de orde van grootte van de effecten. Er heeft geen onderzoek plaatsgevonden naar ramptoerisme en evacuatie van het gebied. Ook is er geen specifiek onderzoek geweest naar de effecten op mainports of andere indirecte effecten als gevolg van het wegvallen van mobiliteit of toegenomen congestie in Nederland. Ook de effecten op het openbaar vervoer zijn niet in de berekeningen meegenomen.
Voor een viertal scenario's, variërend in de tijd na de doorbraken en de mogelijke gedragsreacties van reizenden, zijn analyses gemaakt van de mobiliteitseffecten. Voor de economische waardering worden de Values of Time per reismotief toegepast op de berekende reistijdverschillen. Eventuele gedragsaanpassingen van 'de veranderaars' worden gewaardeerd. Extra afgelegde kilometers, veroorzaakt door het moeten omrijden, worden negatief gewaardeerd.

In de studie [Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2006] betreft het een dijkdoorbraak bij Keent in dijkring 36, Land van Heusden/de Maaskant. Na ongeveer drie dagen komt het water aan bij de A2, die overstroomt nabij 's-Hertogenbosch. De economische waardering van de mobiliteitseffecten (gevolgschade) laat zien dat de maatschappelijke kosten van deze dijkdoorbraak kunnen oplopen tot € 1,1 miljard op jaarbasis.

In de studie [Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2007] betreft het duindoorbraken bij Katwijk en Monster in dijkring 14, Centraal Holland. De omvang van de overstromingen is uiteindelijk ruim 400 vierkante kilometer. Delen van de A4, de A44 en de A20 zullen in dit rampscenario langere tijd niet beschikbaar zijn. De maatschappelijke kosten van deze duindoorbraken kunnen oplopen tot boven de € 0,8 miljard op jaarbasis.

Er zijn verder geen ervaringen met herstel en herstelkosten van waterschade beschikbaar gekomen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

5.1.1 Conclusies beschikbaarheid

De beschikbaarheid van de hoofdwegen in Nederland is al uitgebreid bestudeerd in eerdere onderzoeken (het zogenoemde blue spot onderzoek [Deltares, 2012, 2013 en 2014a]). In die onderzoeken is de beschikbaarheid tijdens overstromingssituaties geanalyseerd door vast te stellen of het waterpeil hoger komt te staan dan de hoogte van de weg. Als de weg overstroomt is deze (uiteraard) niet meer beschikbaar. Er zijn echter ook andere oorzaken waardoor een weg tijdens een overstromingssituatie niet meer beschikbaar is. Dit is onder te verdelen in twee categorieën:

1 Speciale objecten die in de weg zijn aangebracht falen, waardoor de weg niet of verminderd beschikbaar is. Hierop heeft onderhavig rapport betrekking.
2 De weg wordt instabiel, waardoor de weg niet of verminderd beschikbaar is. Hier is in een andere rapportage naar gekeken [Deltares, 2014b]. De conclusies uit die rapportage worden hieronder voor de volledigheid kort ook weergegeven.

5.1.1.1 Beschikbaarheid speciale objecten

De volgende speciale objecten zijn beschouwd:

- Tunnels.
- Aquaducten.
- Kruisende tunnels en onderdoorgangen.
- Bruggen.
- EPS constructies.
- Schuimbeton.
- Duikers.
- Paalmatrassystemen.

Bij een overstroming worden drie fasen onderkend, te weten de dreigingsfase, de acute fase en de herstelfase. Voor alle drie de fases is in beeld gebracht of de overstroming invloed kan hebben op het functioneren van deze speciale objecten en vervolgens de effecten daarvan op het gebruik van de weg door verkeer.

Geconcludeerd is dat de constructies allemaal nog functioneren in de dreigingsfase. Alleen de energievoorziening zou in die fase kunnen falen waardoor tunnels en andere verdiepte liggingen onder water kunnen komen te staan door niet meer functioneren van pompen. Ook kunnen onveilige situaties ontstaan doordat verkeersmanagement en afzuigingsinstallaties niet meer werken. Bij de grote tunnels die primaire waterkeringen kruisen zijn in ieder geval noodstroomvoorzieningen aanwezig die voorkomen dat de stroom uitvalt. Ook bij het Gouwe aquaduct is dit aangetroffen. Het is nog onduidelijk of dit bij alle verdiepte liggingen zo is.

Voor de acute fase en herstelfase wordt hieronder per type constructie de belangrijkste faalmechanismen besproken. Voor een gedetailleerd overzicht van alle faalmechanismen en de gevolgen daarvan voor het wegverkeer wordt verwezen naar de tabel in de samenvatting in het begin van dit rapport. Hoofdconclusie is dat alle speciale objecten in meer of mindere mate kwetsbaar zijn voor overstromen. Er moet van worden uitgegaan dat de weg tijdens en na een overstroming niet meer net zo veilig en beschikbaar is als tijdens ‘normale’ operatie. Dit betekent echter niet noodzakelijk dat de weg geheel onbeschikbaar is.

In de studie is geconstateerd dat de inventarisatie van gegevens voor de faalmechanismen van de speciale objecten (en de vervolgstappen daarop) met zich mee bracht dat diensten van Rijkswaterstaat aangesproken moesten worden in de context van zowel crisis beheersing als asset management.

Tunnels
Er is binnen dit onderzoek onderscheid gemaakt in drie typen tunnels. Dit zijn tunnels die een primaire waterkering kruisen, tunnels die een watergang kruisen die geen primaire kering omvat en landtunnels.

- Tunnels die een primaire waterkering kruisen
  Geconcludeerd is dat de tunnels die een primaire kering kruisen in principe beschermd zijn tegen overstromen. Rond de ingangen van deze tunnels zijn kanteldijken aanwezig die net als andere waterkerende constructies in Nederland, periodiek worden getoetst en zo nodig worden verbeterd. De tunnels komen niet onder water te staan, zolang de waterstand onder het niveau van de kanteldijken blijft, en blijven beschikbaar voor het wegverkeer. Wel zijn de toeritten naar de tunnels zeer waarschijnlijk kwetsbaar voor toenemende grondwaterstanden. Door langdurig hoge waterstanden kan de grondwaterstand stijgen tot een niveau waarbij in het ontwerp geen rekening is gehouden. De tunnel kan dan alsnog falen en volstromen met water.
  Noodstroomvoorzieningen zijn aanwezig met voor tenminste 3x24 uur voldoende energie voor ‘normaal’ bedrijf. De oudere tunnels hebben echter niet een brandstofvoorraad voor 3x24 uur. Dit is ook niet nodig als deze voorraad binnen 24 uur kan worden bijgevuld. Als er geen brandstof kan worden aangevoerd, zoals mogelijk bij een overstroming, dan zal de elektriciteitsvoorziening in de tunnel op een gegeven moment falen en zal de tunnel door regen- en lekwater langzaam volstromen en/of minder veilig worden in gebruik.
- Tunnels die een watergang kruisen die geen primaire kering omvat en landtunnels
  Bij deze tunnels zijn geen voorzieningen getroffen om overstromen tegen te gaan, zodat deze net zo snel onder water komen te staan als het omringende gebied. Ook gedeeltelijk gesloten constructies, zoals een overkapte bakconstructie, of zijwaarts afgesloten constructies, zoals een verdiepte weg, komen tijdens een overstroming onder water te staan en worden onbruikbaar.

Tunnels die onder water hebben gestaan zijn, met uitzondering van zinktunnels, weer snel bruikbaar voor wegverkeer. De tunneltechnische installaties zijn wel beschadigd en zullen niet snel weer operationeel zijn waardoor het gebruik dan minder veilig zal zijn dan bij normale operatie. In het geval van bezweken toeritten en een volgestroomde zinktunnel, zal constructief herstel moeten plaats vinden.

Aquaducten
Bij aquaducten zijn geen voorzieningen getroffen om overstromen tegen te gaan. Er moet daarom van worden uitgegaan dat aquaducten tijdens een overstroming onder water komen te staan en onbruikbaar worden. Na de overstroming is een aquaduct weer snel beschikbaar; de kans op grote constructieve schade wordt klein ingeschat.

Kruisende tunnels en onderdoorgangen
Ook kruisende tunnels en onderdoorgangen die onder de hoofdrijbanen doorgaan komen tijdens een overstroming onder water te staan en worden onbruikbaar. Hier ondervindt het wegverkeer op de hoger gelegen hoofdrijbanen echter geen directe hinder van. Wel kan door een grote stroming door de kruisende tunnel of onderdoorgang erosie ontstaan die leidt tot schade aan het weglichaam. Het is reëel om te veronderstellen dat erosie plaatsvindt bij de zijkanten van de kruisende constructie, waardoor een of meer vlucht- en rijstroken kunnen

verzakken. De kans is kleiner dat de gehele constructie verzakt. In de herstelfase zijn de ontstane schades relatief snel te herstellen voor de hoofdweg (de kruisende weg kan langer onbeschikbaar blijven).

Bruggen

In het hoofdwegennet komen zeer veel bruggen voor die kleine waterlopen kruisen die voor een waterschap van belang zijn en waarbij de doorvaarhoogte niet van belang is. Deze bruggen in de weg zijn nauwelijks te onderscheiden van gewone wegvakken en zijn uitgevoerd als een vaste plaatbrug. Ze zijn te vergelijken met kruisende tunnels en onderdoorgangen die echter zijn ingericht voor water. Tijdens een overstroming wordt of is het waterpeil hoger en stroomt er (meer) water door de constructie. Het wegverkeer op de hoger gelegen hoofdrijbanen ondervindt hier echter geen hinder van, behalve als door erosie de schade aan het weglichaam zo groot is of wordt dat een of meer vlucht- en rijstroken moeten worden afgesloten. Erosie kan ook onder of naast de (funderings)constructie optreden waardoor de constructie of weglichaam kan bezwijken. In de herstelfase zijn de ontstane schades relatief snel te herstellen voor de hoofdweg.

Grote, hoger gelegen bruggen over scheepvaart routes zullen beschikbaar blijven voor het wegverkeer. Wel kunnen zich voor, tijdens en na een overstroming allerlei calamiteiten voordoen die het functioneren van de constructie kunnen schaden, zoals b.v. aanvaringen door losgeslagen schepen of de impact van drijvende voorwerpen. De pijlers of landhoofden van deze bruggen zijn op grote stroomsnelheden en ontgrondingscapaciteit van het langsstromende water ontworpen.

EPS en schuimbeton constructies

EPS constructies (“piepschuim”), en in mindere mate constructies met schuimbeton, zijn zeer gevoelig voor een geringe stijging van de waterstand. Zodra de constructie of een deel daarvan gaat drijven zal de weg eveneens bezwijken en niet meer beschikbaar zijn. De weg zal hersteld moeten worden.

De kabels en leidingen die mogelijk in de EPS-constructie of de constructie met schuimbeton zijn opgenomen, kunnen door het opdrijven een zodanige trekbelasting op te nemen krijgen dat het gevaar voor beschadiging of breuk groot is. Bij een breuk zullen bijvoorbeeld de wegsignalering en de verlichting uitvallen.

Duikers

Onder het Nederlandse hoofdwegennet zijn honderden duikers aanwezig die watergangen aan beide zijden van de weg met elkaar verbinden. Een weg is tijdens een overstroming een soort waterkering die er voor kan zorgen dat de waterstand aan een zijde van de weg hoger is dan aan de andere kant. Door de duikers zal dan een waterstroming gaan ontstaan, waarop de duikers niet zijn ontworpen. Indien door de ligging van de weg deze tijdens een overstroming waterkerend is en er over de weg een waterstandsverschil ontstaat, kan aan de in- en uitstroomzijde van duikers door erosie (ontgronding, onder- en achterloopsheid) (een deel van) het weglichaam beschadigd raken. Het is reëel dat de zijkanten van de weg hierdoor afschuiven, en ook zal op sommige plaatsen de gehele weg bezwijken. Na de overstromingssituatie is de weg met eenvoudige maatregelen weer snel beschikbaar te maken voor verkeer.

Paalmatrasconstructie

Het is onbekend hoe een paalmatrasconstructie zal reageren op een overstromingssituatie. Er kan water onder de weg doorstromen en daarnaast kan de constructie minder sterk worden. Er moet van worden uitgegaan dat de weg deels kan verzakken.

5.1.1.2 *Beschikbaarheid weglichamen*

Een weglichaam is niet ontworpen op hoge waterstanden. Daarom is onderzoek uitgevoerd naar de stabiliteit en draagkracht van een weglichaam bij hoge waterstanden, door overstromen [Deltares, 2014b]. Een weglichaam kan instabiel zijn in de acute fase, maar is het meest kwetsbaar in de herstelfase als het waterpeil zakt.
Met conservatieve aannames is een landsdekkend beeld gegenereerd van de kwetsbaarheid van weglichamen door instabiliteit. Hieruit blijkt dat dit lokaal wordt bepaald door de hoogte en steilte van het talud waarop de weg ligt. Verspreid over alle locaties waar wegen overstromen kan de weg daarom instabiel worden. In de acute fase betreft dit grofweg een derde van alle wegen en in de herstelfase grofweg twee derde van alle wegen. Ook is geconcludeerd, dat als er schade optreedt, dat dit dan in bijna alle gevallen gevolgen heeft voor een breedte van de weg van meer dan 6 meter. Er moet dus van worden uitgegaan dat de weg niet of veel minder beschikbaar is.
De analyse kan nog verder worden gedetailleerd, waardoor de kwetsbaarheid kleiner zal zijn dan nu berekend. Dit heeft er mee te maken dat de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- In de berekeningen is aangenomen dat het waterniveau komt tot boven bovenkant weg. Als het water lager komt te staan (niet geheel tot wegniveau), dan zijn de gevolgen voor instabiliteit kleiner. Deze aanname is reëel omdat uit de blue spot studie [Deltares, 2012] bekend is dat vrijwel alle wegen zullen overstromen, maar lokaal kan dus gevonden worden dat het water lager komt te staan. Als dit in de analyse wordt meegenomen dan zullen in de acute fase minder kwetsbare plekken worden gevonden.
- Het water wordt in de berekeningen in 1 dag weggepompt. Dit is zeer snel en in de praktijk zal er langzamer worden weggepompt. Hoe sneller het water wordt weggepompt, hoe groter de kans op instabiliteit. Met dynamische berekeningen waarin de verlagingssnelheid en ook de doorlatendheid van het weglichaam wordt meegenomen kan nauwkeuriger worden vastgesteld of de weg instabiel wordt. Hierdoor zullen minder kwetsbare plekken in de herstelfase worden gevonden.

Het wordt verwacht dat ook met de uitgebreidere analyses gevonden wordt dat grote delen van het hoofdwegennet instabiel zullen worden tijdens een grote overstroming in zowel de acute als de herstelfase.

5.1.2 Conclusies met betrekking tot communicatie

De communicatie tussen operationeel tunnelbeheer / bediening en de verkeerscentrales vindt plaats via een glasvezelnetwerk. Dit netwerk is in beheer van Rijkswaterstaat zelf. Er zijn hiervoor no-break voorzieningen (deze voorzieningen nemen bij uitval van elektriciteit direct de stroomvoorziening over) en noodstroom voorzieningen beschikbaar.

Rijkswaterstaatsdiensten beschikken over calamiteitenplannen, waarbij is aangegeven welke externe organisaties, afhankelijk van de situatie, wederzijds geïnformeerd of gealarmeerd worden en wat de specifieke taken en verantwoordelijkheden zijn. Het bestaan van regelmatig en, voor calamiteiten ook vooraf doordacht en vastgelegd contact met de veiligheidsregio’s en waterschappen wordt bevestigd met het bestaan van deze calamiteitenplannen en calamiteitenbestrijdingsplannen.

Keteneffecten bij bijvoorbeeld uitval van de elektriciteitsvoorziening zijn bekend. Via de reguliere overlegsituaties staan de veiligheidsregio’s in contact met de ketenpartners waarvan bijvoorbeeld Rijkswaterstaat en de energie leveranciers er enkele zijn.

5.2 Aanbevelingen

In de dreigingsfase speelt alleen het risico van verlies van energievoorziening, waardoor tunnels en verdiepte liggingen als aquaducten onder water kunnen komen te staan als er geen noodstroomvoorzieningen aanwezig zijn. Bij tunnels onder primaire keringen is bekend dat er noodstroomvoorzieningen aanwezig zijn, maar bij andere constructies is dit nog grotendeels onbekend. Bij het Gouwe aquaduct is er bijvoorbeeld wel sprake van een noodstroomvoorziening. Nagegaan moet worden of dit bij alle aquaducten en de andere in de grond gemaakte constructies het geval is, en wat de functie van deze voorziening is. Het kan de afvoer van regenwater betreffen. Deze noodstroomvoorziening zal tijdens een overstroming ter plekke uitvallen of uitgeschakeld worden. Bij een overstroming in een ander gebied dient, onder slechte weersomstandigheden, waaronder extreme regenval, de noodstroomvoorziening wel te kunnen functioneren om de weg als evacuatie- en hulproute beschikbaar te houden.

Het ontwikkelen van directe onderlinge contacten tussen de ketenpartners, om ten aanzien van overstromingen gezamenlijke verkenningen uit te voeren om te komen tot scenario's en handelingsperspectieven, is gewenst. Dit geldt vooral voor de uitval van de elektriciteitsvoorziening die bij overstromingen aan de orde kan zijn. Naast direct falen van speciale objecten kan hierdoor bijvoorbeeld ook de signalering en verlichting uitvallen waardoor evacuatie wordt bemoeilijkt of zelfs wordt afgeblazen. Ook is het beschikbaar stellen van informatie aan de burgers over de beschikbaarheid van wegen essentieel om de zelfredzaamheid van burgers te vergroten.
Veiligheidsregio's zijn wel in contact met de ketenpartners, maar direct contact tussen deze partners, bijvoorbeeld Rijkswaterstaat en energie leveranciers of communicatie services, moet nog ontstaan. Daarbij past ook invulling van het vraagstuk hoe gedurende langere tijd nadat een overstroming heeft plaatsgevonden de noodstroomvoorzieningen in werking kunnen blijven.

Het is gewenst dat er bij het ontwerp van de bestaande tunnels wordt geverifieerd of er rekening is gehouden met bij langdurige overstroming oplopende grondwaterstanden en stijghoogten die delen van de constructie en de toeritten ongunstig (opwaarts) kunnen belasten. Op die manier wordt een goed beeld van de kwetsbaarheid verkregen. Vervolgens moet afgewogen worden of de baten van het robuuster maken van de constructies opwegen tegen de kleine kans dat een overstroming daadwerkelijk tot deze hoge grondwaterstanden leidt. Deze vraag dient uiteraard ook te worden beantwoord bij (het ontwerp van nieuwe) tunnels.

Bij de faalmechanismen bij kruisende tunnels, onderdoorgangen, 'kleine' bruggen en duikers speelt het waterstandsverschil tussen beide zijden van de weg een belangrijke rol. Hoe groter dit verschil, hoe groter de kans op, en grootte van, schade die ontstaat. Op dit moment is deze informatie niet beschikbaar. Als de kwetsbaarheid van deze constructies tijdens overstromingssituaties als probleem wordt gezien, dan verdient het aanbeveling om voor gevoelige locaties deze waterstandsverschillen te onderzoeken. Ook moeten voor deze locaties het ontwerp en huidige staat van onderhoud van de constructies worden beschouwd om een uitspraak te doen over de kwetsbaarheid.

Een EPS constructie of in mindere mate, een constructie met schuimbeton is een zeer lichte constructie. Er zijn grenzen aangegeven in de rapportage die grofweg gebruikt kunnen worden om vast te stellen of de constructies kwetsbaar zijn voor opdrijven. Als hierin meer inzicht gewenst is, dan zal per constructie uitgerekend moet worden bij welke waterstanden EPS en schuimbeton constructie falen. Dan kan ook onderzocht worden of een tijdelijke

verzwaring van de constructie met gewicht (bijvoorbeeld met rijplaten of betonplaten) haalbaar is om tijdens een overstromingssituatie opdrijven te voorkomen.

Om meer inzicht te krijgen in de robuustheid van paalmatras constructies is onderzoek nodig naar de boogwerking in natte omstandigheden en naar de invloed van een waterstroming door een spleet onder de paalmatras.

Verkeersevacuatie modellen berekenen de verkeerssituatie tijdens grootschalige evacuaties voorafgaand aan en tijdens overstromingen. Modellen houden o.a. rekening met de uitval van wegen door storm of overstroming [Rijkswaterstaat, 2010]. Bevindingen uit 'voorliggende rapport en het rapport over de quick wins' kunnen ter beschikking worden gesteld aan de veiligheidsregio's waarmee de berekeningen van verkeerssituatie tijdens grootschalige evacuaties kunnen worden verbeterd.

Literatuur

[Dekker, Peter, 2014]
mondelinge en schriftelijke communicatie, juni / juli 2014
(Adviseur crisisbeheersing, RWS West-Nederland Zuid, District Zuid)

[Deltares, 2012]
Investigation of the blue spots in the Netherlands National Highway Network
Deltares rapport 1205568-000-GEO-0007-jvm, mei 2012, in opdracht van Rijkswaterstaat, (thans) Water, Verkeer en Leefomgeving

[Deltares, 2013]
Risico's van overstroming voor het functioneren van het hoofdwegennet
1207849-000-GEO-0002, Versie 2, 18 oktober 2013, definitief, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

[Deltares, 2014a]
Functie van het hoofdwegennet tijdens overstromen (bij evacuatie, redding en in de nafase),
Rapport 1207849-000-GEO-0005-gbh, 18 februari 2014, definitief, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

[Deltares, 2014b]
Kwetsbaarheid van weglichamen tijdens en na overstromen
1209380-005-VEB-0002-vv2-r, december 2014, definitief, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

[Deltares, 2014c]
Updated and improved method for flood damage assessment,
Rapport 1207814-005-HYE-0004, 23 juni 2014, definitief, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

[Driessen, Eric, 2014]
schriftelijke communicatie, juli 2014
(Adviseur asset management, Rijkswaterstaat Oost Nederland, District Zuid)

[Elferink, Patrick, 2014]
schriftelijke communicatie, juli 2014
(Tunnelveiligheidscoördinator, Rijkswaterstaat Midden Nederland, Afdeling district Zuid)

[Gabrielse en Vermeulen, 2014]
Mondelinge en schriftelijke communicatie, juli 2014
Piet Gabrielse (Verkeerskundige, Rijkswaterstaat Zee & Delta, District Zuid)
Richard Vermeulen (Rijkswaterstaat Zee & Delta)

[Linden, Henk van der, 2014]
mondelinge en schriftelijke communicatie, juni / juli 2014
(Assetmanager Kunstwerkgebonden EM-installaties, RWS West-Nederland Zuid, District Zuid)

[MEGO, 2014]
Bespreek verslag Brainstorm advies infrastructuur MEGO,
Project Module Evacuatie Grootschalige Overstromingen (MEGO), 4 april 2014, PR2821.10

[Muiswinkel, Kees van, 2014]
Kees van Muiswinkel, mondelinge en schriftelijke communicatie, mei, juni, juli, oktober 2014 (Adviseur klimaat en infrastructuur, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Afdeling Duurzame Mobiliteit, Energie en Klimaat (BIDK))

[Oever, Anton van den, 2014]
schriftelijke communicatie, juli 2014
(RWS West-Nederland Zuid)

[RBO 2011]
Referentieniveau basisonderhoud Rijkswaterstaat, geeft het kader voor het beheer en onderhoud van het hoofdwegennet. Zie o.a. Kader LCC bij verkenning, planuitwerking en realisatie, 4 april 2012, definitief, uitgegeven door Rijkswaterstaat DVS
Werkgroep LCC (programma Assetmanagement), Jasper Schavemaker

[Rijkswaterstaat, 2010]
Rijkswaterstaat, gate review Hoogwater? Vrije weg!, 15 februari 2010, Concept 0.1

[Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2006]
Economische waardering van mobiliteitseffecten van een dijkdoorbraak, Quick-scan voor dijkring 36, Land van Heusden/de Maaskant
Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 20 juli 2006

[Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 2007]
Economische waardering van mobiliteitseffecten van een duindoorbraak, Quick-scan voor dijkring 14, Centraal Holland
Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer & Vervoer, 20 juli 2007

[Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2013]
Calamiteitenplan Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Handzaam boekje (A5), Water en Scheepvaart, Wegen en verkeer
Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Cluster Crisismanagement, juni 2013, Versienummer 3.0.1

[Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2014]
Getekende Overeenkomst tussen de Stichting Deltares en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu voor het uitvoeringsjaar 2014, brief met kenmerk RWS-2014/3177, 21 januari 2014.
Genoemde overeenkomst valt onder de Samenwerkingsovereenkomst tussen de stichting Deltares en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu van 20 december 2012, kenmerk KW-31078379.

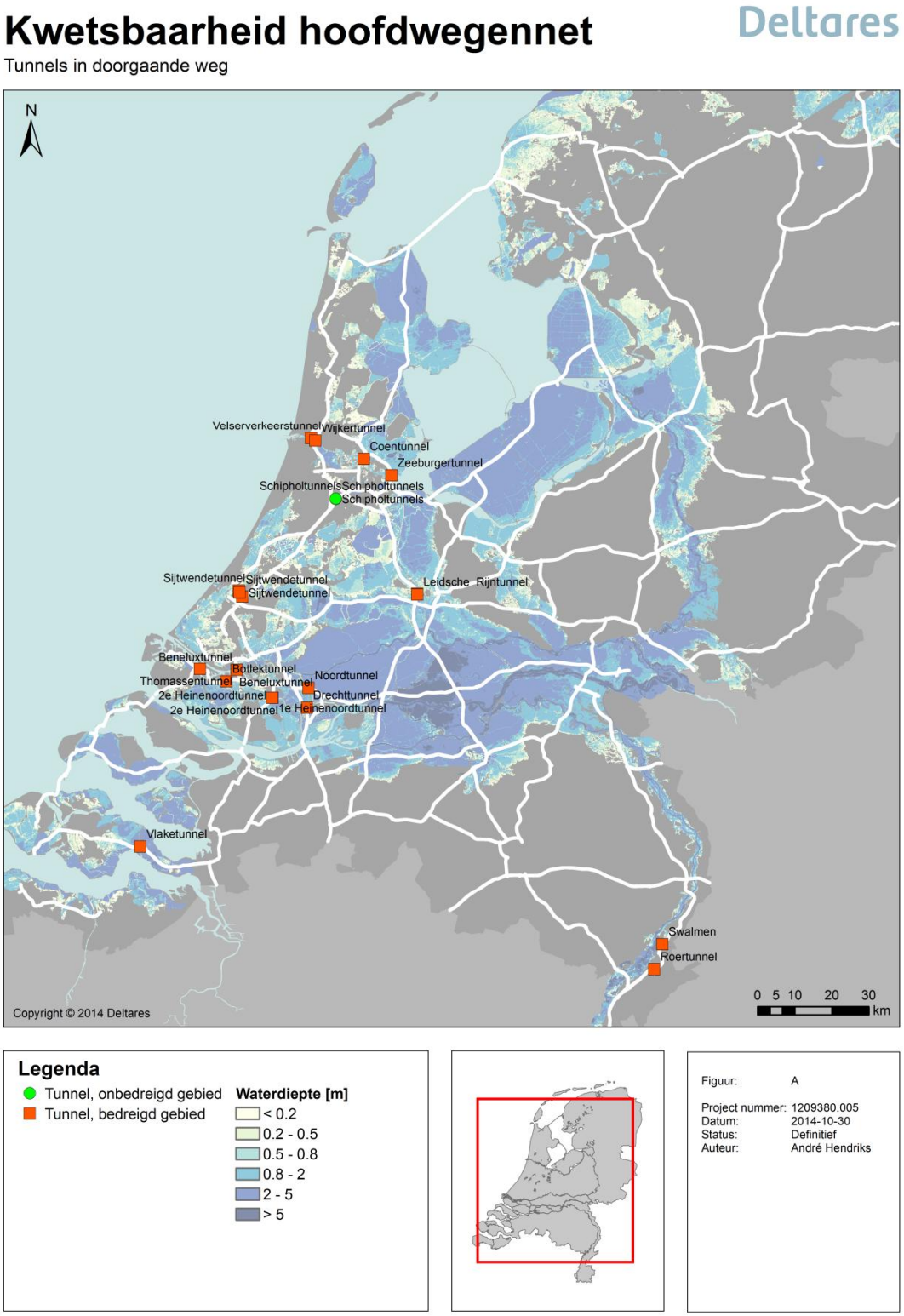
[SATO, 2005]
RWS Bouwdienst, Specifieke Aspecten TunnelOntwerp
Het grotere geheel is te vinden op
http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/bouwrichtlijnen_infrastructuur/sato/
De opbouw en eisen aan elektromechanische installaties zijn in deel 7 vastgelegd

[Veen, Dennis van der, 2014]
mondelinge communicatie, juni 2014
(Adviseur crisisbeheersing, RWS West Nederland Noord, District Noord en Zuid

[Waterschap Rivierenland, 2013]
Protocol voor het sluiten van kunstwerken in de primaire waterkering, Coupure Rijksweg A2, ID nummer 160080.002
In: Sluitingsprotocol (Proef)sluiting Diefdijk, 15 juli 2013, Definitief, Waterschap Rivierenland

[Wolsink, Gerrit, 2014]
mondelinge communicatie, mei 2014
(senior specialist, RWS GPO)

A Tunnels


Kwetsbaarheid hoofdwegennet
Tunnels in doorgaande weg
Deltares
N
Velserverkeerstunnel
Wijkertunnel
Coentunnel
Zeeburgertunnel
Schipholtunnels
Schipholtunnels
Schipholtunnels
Sijtwendetunnel
Sijtwendetunnel
Sijtwendetunnel
Leidsche Rijntunnel
Beneluxtunnel
Botlektunnel
Thomassentunnel
Beneluxtunnel
Noordtunnel
2e Heinenoordtunnel
Drechttunnel
2e Heinenoordtunnel
1e Heinenoordtunnel
Vlaketunnel
Swalmen
Roertunnel
0 5 10 20 30
km
Copyright © 2014 Deltares
Legenda
Tunnel, onbedreigd gebied
Tunnel, bedreigd gebied
Waterdiepte [m]
< 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 0.8
0.8 - 2
2 - 5
> 5
Figuur: A
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

In Nederland zijn de volgende tunnels aanwezig:

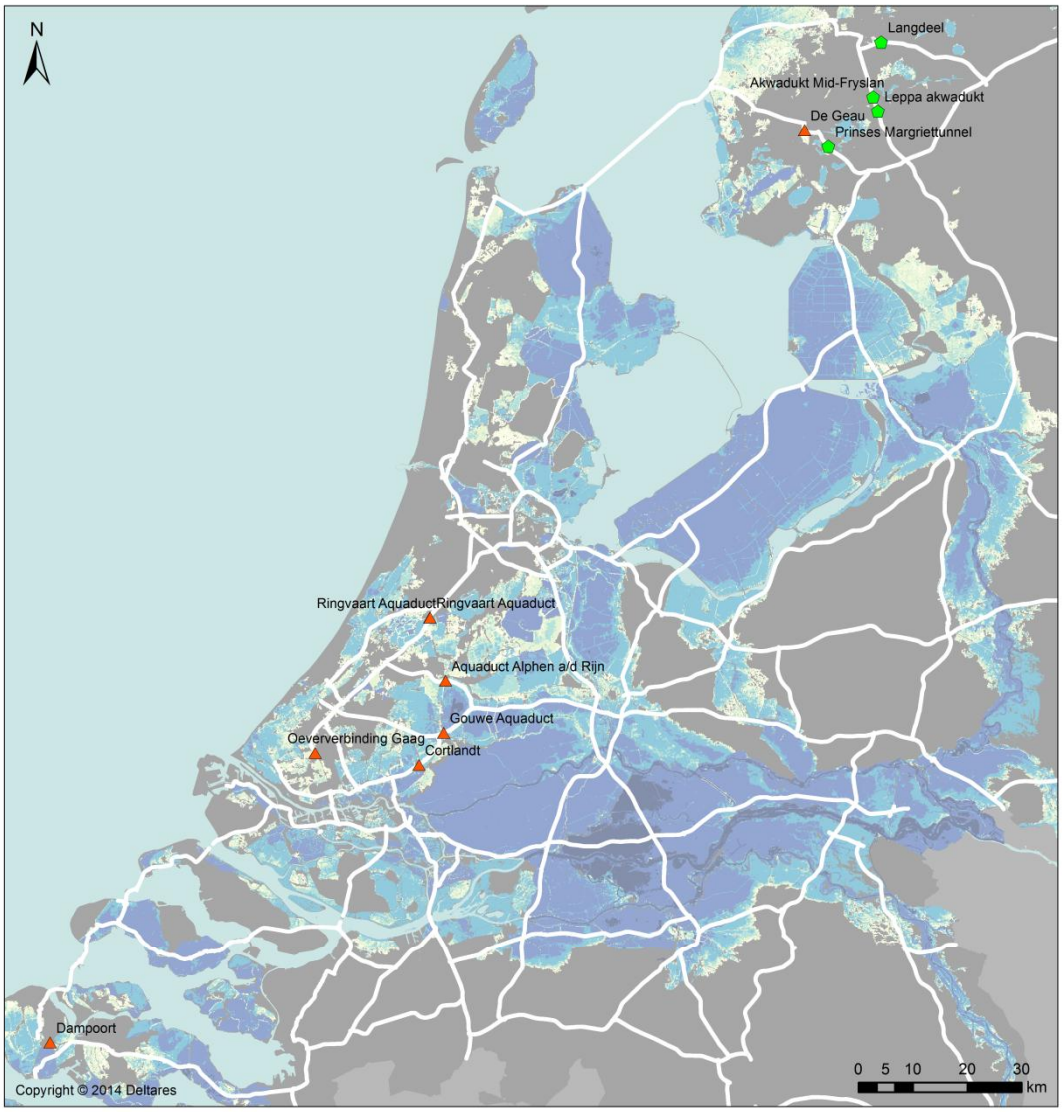
Naam	Weg	Gaat onder	Tunnel onder primaire kering	Tunnel onder andere watergang of in buitendijks gebied	Land-tunnel
1e Beneluxtunnel	A4	Nieuwe Maas	X		
2e Beneluxtunnel	A4	Nieuwe Maas	X		
Botlektunnel	A15	Oude Maas	X		
Burgemeester Thomassentunnel	N15	Calandkanaal		X	
1e Coentunnel	A10	Noordzeekanaal	X		
2e Coentunnel	A5,A10	Noordzeekanaal	X		
Combitunnel Nijverdal	N35, in aanbouw	Nijverdal			X
Drechttunnel	A16	Oude Maas	X		
1e Heinenoordtunnel	A29	Oude Maas	X		
2e Heinenoordtunnel	A29	Oude Maas	X		
Hubertustunnel	N440	Sint Hubertuspark			X
Kiltunnel	N217 (geen HWN)	Dordtsche Kil	X		
Leidsche Rijntunnel	A2	Bebouwing			X
Midden-Delflandtunnel	A4, in aanbouw	Midden Delfland			X
Noordtunnel	A15	Noord	X		
Roertunnel	A73	Roermond, Roer		X	
1e Schipholtunnel	A4	Buitenveldertbaan			X
2e Schipholtunnel	A4	Buitenveldertbaan			X
Sijtwendetunnel (Parktunnel)	N14	Sijtwendepark			X
Sijtwendetunnel (Spoortunnel)	N14	Oude Lijn			X
Sijtwendetunnel (Vliettunnel)	N14	Vliet		X	
Swalmentunnel	A73	Swalmen			X
Velsertunnel	A9	Noordzeekanaal	X		
Vlaketunnel	A58	Kanaal door Zuid-Beveland	X		
Westerscheldetunnel	N62 (geen HWN)	Westerschelde	X		
Wijkertunnel	A22	Noordzeekanaal	X		
Zeeburgertunnel	A10	IJ	X		

B Aquaducten

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Aquaducten over doorgaande weg



Legenda

- Aquaduct, onbedreigd gebied
- Aquaduct, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: B

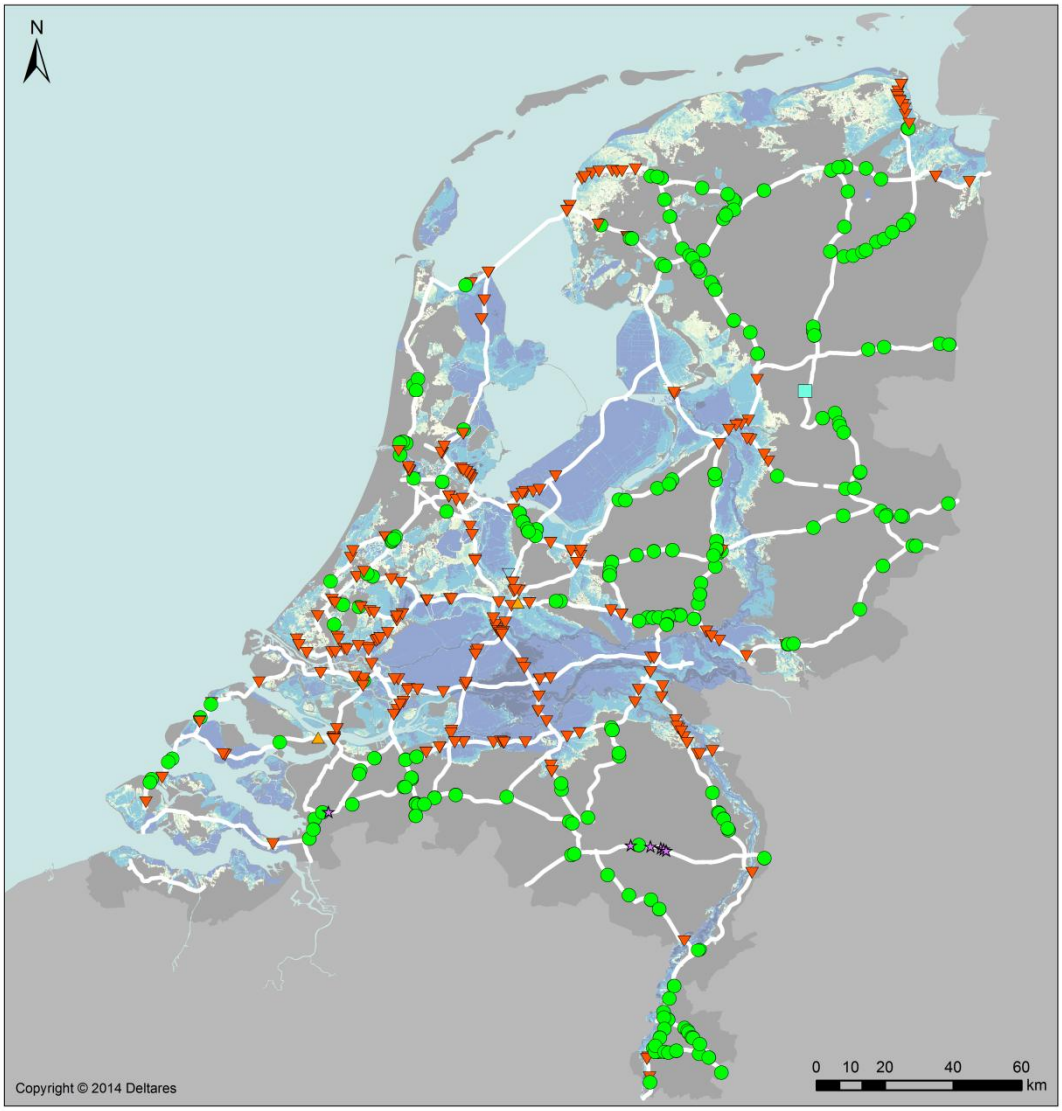
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

C Kruisende tunnels en onderdoorgangen

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Kruisende (vee/eco) tunnels onder de hoofdrijbaan



Legenda

- Tunnel, onbedreigd gebied
- Tunnel, bedreigd gebied
- Veetunnel, onbedreigd gebied
- Veetunnel, bedreigd gebied
- Ecotunnel

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: C

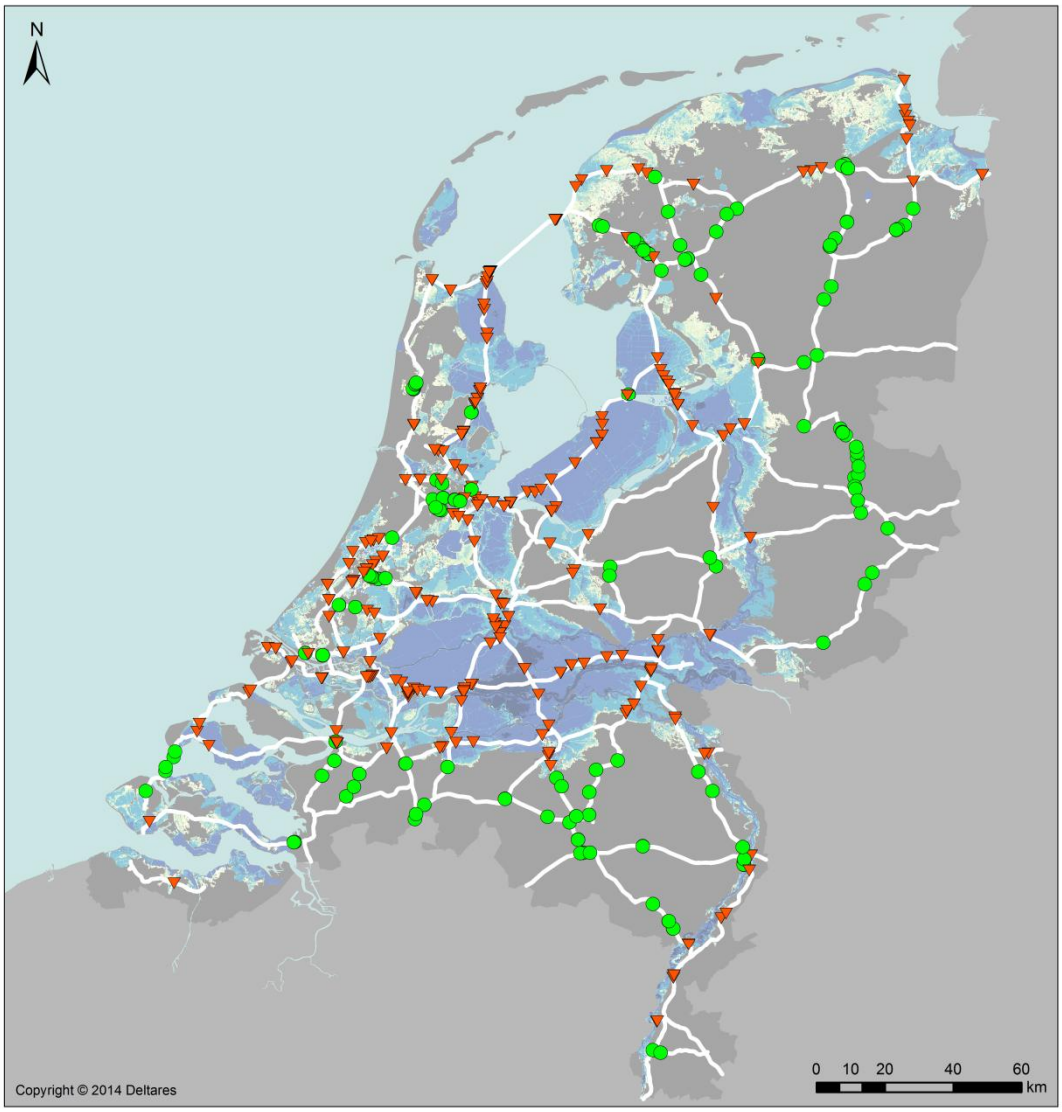
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

D Bruggen

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Bruggen in hoofdrijbaan



Legenda

- Brug, onbedreigd gebied
- Brug, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: D

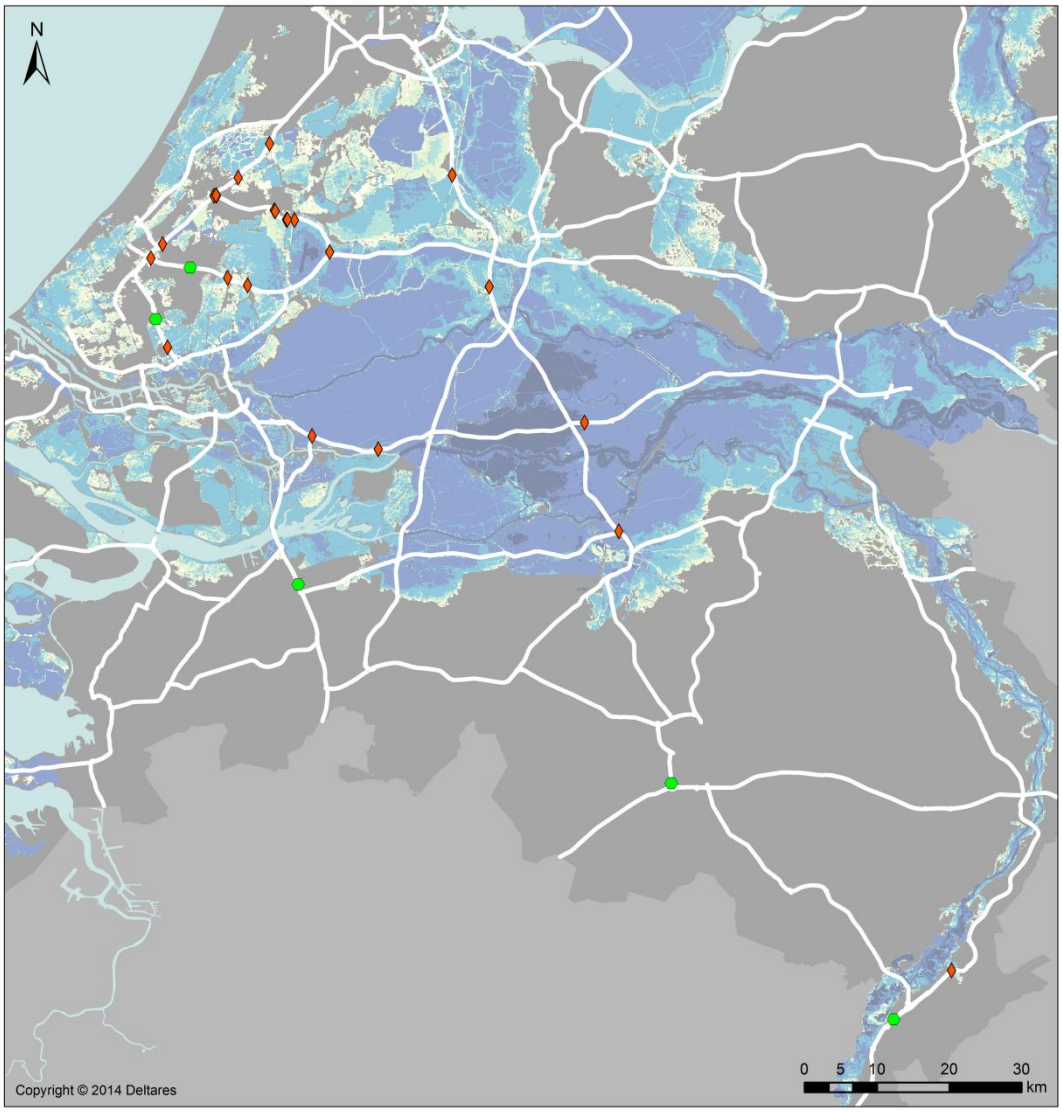
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

E EPS-constructies

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

EPS constructies



Legenda

- EPS, onbedreigd gebied
- EPS, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: E

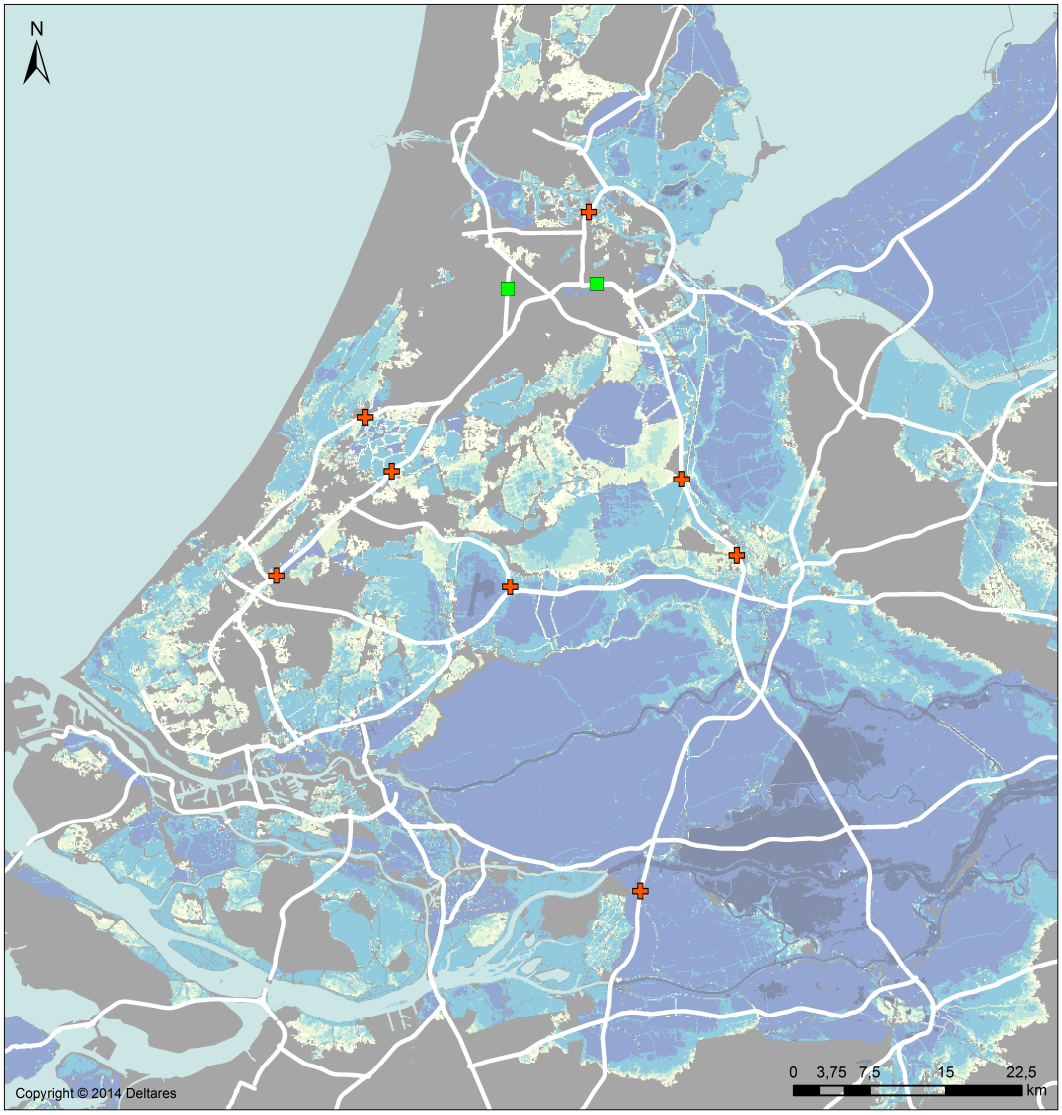
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

F Schuimbeton constructies

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Schuimbeton constructies



Legenda

- Schuimbeton, onbedreigd gebied
- Schuimbeton, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: F

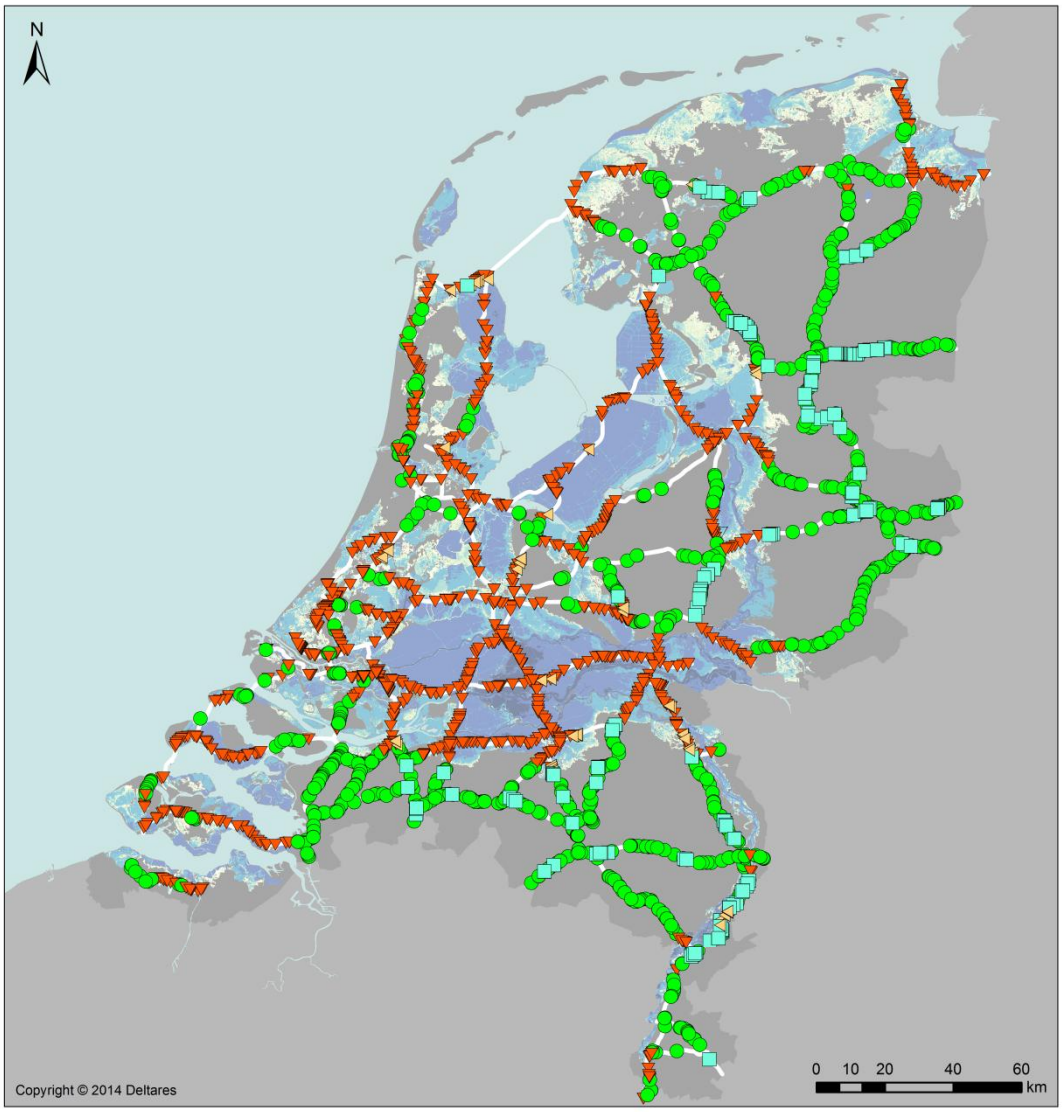
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

G Duikers

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Duikers en dassentunnels onder de hoofdrijbaan



Legenda

- Duiker, onbedreigd gebied
- Duiker, bedreigd gebied
- Dassentunnel, onbedreigd gebied
- Dassentunnel, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: G

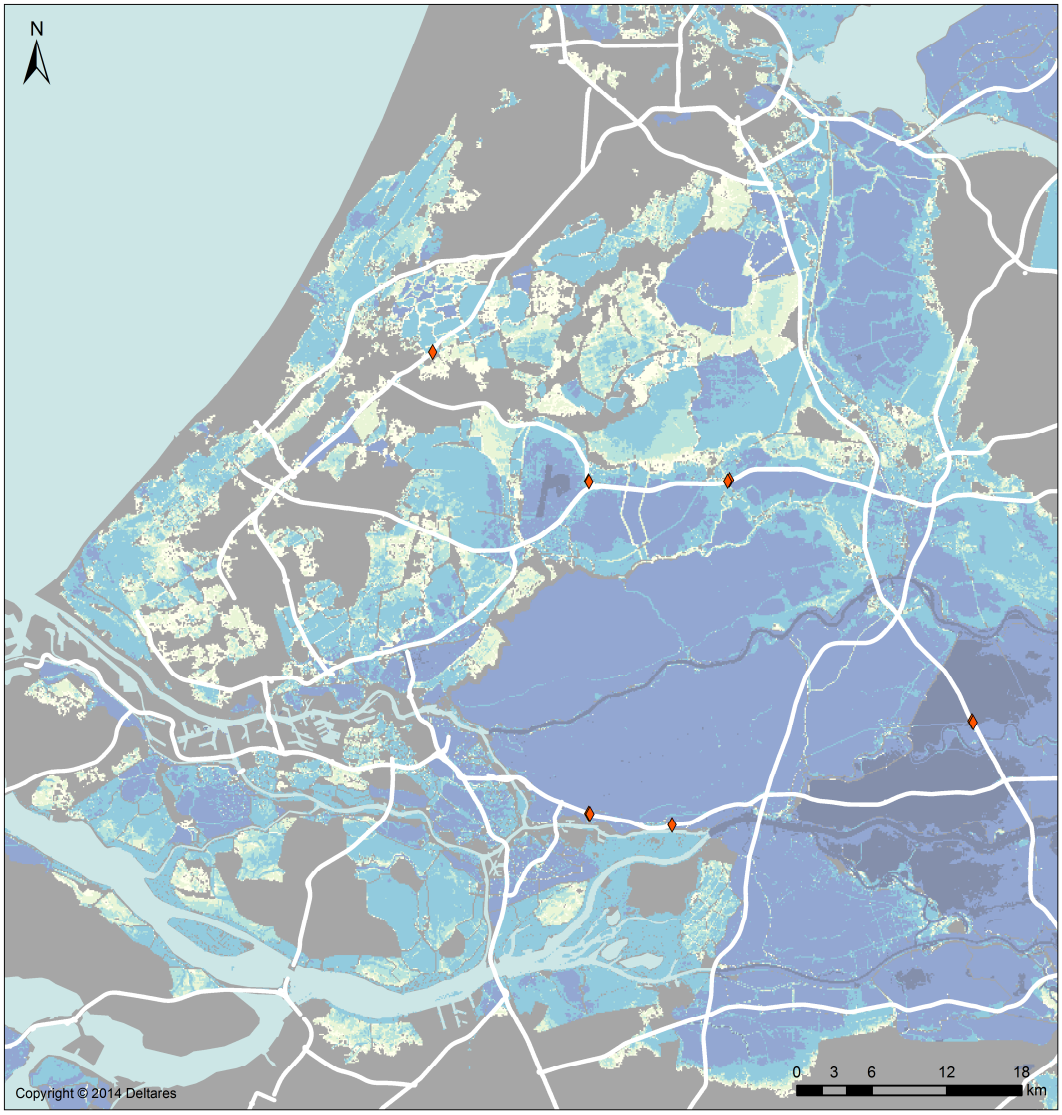
Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

H Paalmatrassystemen

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Paalmatras constructies



Legenda

Paalmatras, bedreigd gebied

Waterdiepte [m]

- < 0.2
- 0.2 - 0.5
- 0.5 - 0.8
- 0.8 - 2
- 2 - 5
- > 5

Figuur: H

Project nummer: 1209380.005
Datum: 2014-10-30
Status: Definitief
Auteur: André Hendriks

I Verklarende woordenlijst

*) veel beschrijvingen zijn afkomstig uit Wikipedia / Wegenwiki

element	Beschrijving *)
Aquaduct	Een brug voor een waterloop (spreng, rivier, kanaal) of waterleiding waarbij andere verkeerstromen onder het water door worden geleid. Een aquaduct bestaat meestal uit een betonnen bak waardoor het water wordt geleid. Een aquaduct kan ook geschikt gemaakt zijn voor scheepvaartverkeer.
Duiker	Een **duiker** is een civieltechnisch kunstwerk. Het is een kokervormige constructie, gelegen in een weg of toegangsdam, die is bedoeld om wateren met elkaar te verbinden. Ook kan een duiker worden aangelegd indien een waterweg een watergang kruist. Bij een duiker wordt in principe de bodem van de watergang onderbroken, dit in tegenstelling tot een brug of aquaduct. Duikers worden over het algemeen gemaakt van beton of (plaat)staal. In het verleden werden ook gemetselde duikers gemaakt. Een sifon of onderleider, en een knijpduiker (duiker met een schot om de afvoer te beperken, waardoor het water een retentiegebied binnen stroomt) zijn specifieke types van een duiker. *)
Sifon of onderleider	Een **onderleider** of **sifon** (gewestelijk: *grondduiker*) is een duiker waarmee water van de ene waterloop (meestal) onder een ander water door loopt. Het onderscheid met een aquaduct is dat beide watergangen in de grond gelegen zijn. Dit type duikers wordt bijvoorbeeld aangelegd als een gebied met eenzelfde peil wordt doorsneden door een watergang met een ander, afwijkend peil. Ook wordt dit soort constructies gemaakt om het water van de ene waterloop in het gebied vast te houden, bijvoorbeeld als het water van een beek van een betere samenstelling is dan het water van een kanaal. De constructie wordt meestal van beton gemaakt. Het kan over een constructie gaan van een meter in doorsnede en een lengte van vijftig meter. Van de zijkant gezien heeft deze duiker een U-vorm. Deze constructies zijn niet populair daar er makkelijk verstopping kan optreden doordat zwaarder materiaal dat met het water wordt meegevoerd zich op het laagste punt in de duiker verzamelt. *)
Onderloopsheid (piping)	water met zand stroomt door drukverschil onder een kunstwerk door richting binnendijkse zijde. In het begin gaat dit heel langzaam, maar hoe langer de onderloopsheid doorgaat, hoe sneller de uitspoeling gaat. De afstand die het water aflegt noemt men de kwelweglengte. Ten slotte ontstaan tunnelvormige ruimtes die de constructie verzwakken. Als piping niet op tijd wordt gestopt zal het leiden tot verzakking of dijkdoorbraak.

element	Beschrijving *)
	*)
Achterloopsheid	In het geval van achterloopsheid stroomt het kwelwater niet onder- maar langs het kunstwerk. *)
EPS	Licht funderings- / ophoogmateriaal (geëxpandeerd polystyreen,) ook bekend onder de naam piepschuim. Het is vochtongevoelig (waterdicht), licht van gewicht, druk- en vormvast.
Evenwichtsconstructie	Bij toepassing van een evenwichtsconstructie met behulp van EPS of schuimbeton voor het creëren van een ophoging wordt ernaar gestreefd de spanningen in de ondergrond niet te verhogen, zodat de ophoging niet aan zetting onderhevig zal zijn. Er is dus evenwicht tussen de spanningen vóór en na het aanbrengen van de constructie.
brug	Een **brug** is een vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer, tussen twee punten die gescheiden zijn door een rivier, kanaal, weg, spoorweg of een ander overbrugbaar obstakel. Een brug kan ontworpen zijn om een spoorweg, rijbaan, kanaal (kanaalbrug) of waterleiding (aquaduct) te dragen. Een lange brug wordt, als deze over een andere weg of spoorlijn loopt, ook wel een viaduct genoemd. Sommige bruggen hebben een beweegbaar brugdek, wanneer scheepvaartverkeer te hoog is om onder de brug door te gaan. Deze bruggen worden alleen over een waterweg aangelegd, bij een kruising met een weg of spoorweg zal men de brug hoog genoeg maken.
schuimbeton	Schuimbeton is een duurzaam en zeer veelzijdig product dat bestaat uit een mengsel van zand, cement, water en luchtbelvormers. Het soortelijk gewicht van schuimbeton ligt tussen de 300 en 2.100 kg/m^3 .
liquefaction	Met waterverzadigde grond (meestal zand) waarbij het gehalte aan water zo hoog is dat het water/grondmengsel zich als een vloeistof gaat gedragen doordat de grond(zand) deeltjes hun onderlinge contact verliezen.
trekpaal	Een trekpaal is een in de grond aangebrachte funderingspaal die op trek wordt belast (normaal gesproken worden heipalen op druk belast). Trekbelasting op palen treedt bijvoorbeeld op bij tunnels onder de grondwaterspiegel. Bij tunnels is het de opwaartse druk die door trekpalen opgevangen moet worden. Een trekpaal is meestal een holle stalen paal die in de grond geschroefd wordt. Aan de voet van zo'n paal zit een schroefblad, waardoor hij gemakkelijk in de grond gedraaid kan worden. Vlakbij het schroefblad zitten kleine gaatjes, waar grout door wordt gespoten (grout is een mengsel van cement en water): het grout vermengt zich met de grond die door het schroefblad is losgewoeld. De paal wordt door de kraan steeds dieper in de grond geschroefd en zo vormt zich om de stalen paal stukje bij beetje een paal van grout. De trekpaal wordt gevormd door de twee palen samen, de stalen paal en de paal van grout. Een trekpaal kan ook een standaard vierkante betonpaal zijn waarbij extra trekwapening of één of meer trekstaven zijn ingestort (of een

element	Beschrijving *)
	trekstaaf later ingeboord). Vaak is namelijk de kleef al voldoende om de soms beperkte trekkracht die nodig is, op te kunnen nemen.
kleef	een term uit de grondmechanica dat een bepaald onderdeel van het draagvermogen van een heipaal bij paalfunderingen beschrijft. Dit specifieke draagvermogen wordt bij kleefpalen ontleend aan de wrijving en adhesie van de grond langs de omtrek van de heipaal. Het draagvermogen van heipalen kan ook gebaseerd zijn op stuit. Hierbij staat de punt van de paal op een diep gelegen draagkrachtige zand- of steenlaag. Bij omlaag gerichte belasting vormt de puntweerstand ('stuit') of de kleef het draagvermogen van de paal. Een funderingspaal die zijn draagvermogen geheel ontleent aan de kleef heet "kleefpaal", of "een paal op kleef". Onder bepaalde omstandigheden, bijvoorbeeld bij verlaging van de grondwaterstand door een grondwateronttrekking of verdroging, kan zich een negatieve kleef ontwikkelen, doordat zakkende (inklinkende) grond aan de paal gaat hangen en een extra belasting vormt. Dit kan leiden tot verzakking van de constructie.
SATO	Specifieke Aspecten TunnelOntwerp Versie 2005, RWS Bouwdienst

*) veel beschrijvingen zijn afkomstig uit Wikipedia / Wegenwiki

J Scenario's in calamiteitenbestrijdingsplan

Voor tunnels bevat het calamiteitenbestrijdingsplan Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid, District Zuid, de volgende scenario's [Dekker, Peter, 2014]:

A. Als gevolg van een blokkade (te hoog voertuig, pech, los voorwerp ed.) is één van de rijstroken of meerdere rijstroken geblokkeerd (geen gewonden, geen brand, geen gevaarlijke stoffen)
B. In een stilstaand voertuig is een bestuurder en/of passagier (vermoedelijk) onwel geworden.
C. Een ongeval met brand/rook en/of gevaarlijke stoffen of een ernstige aanrijding/kettingbotsing (met beknelling en een algehele blokkade van de tunnelbuis).
D. Brand en/of ongeval (mogelijk met letsel) heeft plaatsgevonden in het dienstgebouw of in een van de ruimtes van de tunneltechnische installaties.
E. Een ongeval, tijdens het onderhoud aan de tunnelbuis, wegdek of tunneltechnische installatie, heeft plaatsgevonden.
F. De openbare orde in de tunnel dreigt te worden verstoord, waarbij de veiligheid van de gebruikers en/of de omgeving in het geding kan komen.
G. Het verkeersvrij maken van de tunnel kan verschillende oorzaken hebben. De meeste van de oorzaken zullen van externe aard zijn (bijv. evacuatie van het achterliggende gebied). Hierbij zal het bevoegd gezag aan RWS, dienst Zuid-Holland, verzoeken de tunnel verkeersvrij te maken. In veel gevallen zal hierbij snel gehandeld moeten worden. Uiteraard kan het verkeersvrij maken van de tunnel ook van toepassing zijn bij één van de andere genoemde scenario's. Het verkeersvrij maken kan ook plaatsvinden vanuit de Tunnelbeheerder in geval van het grootschalig falen van technische installaties in de tunnel.