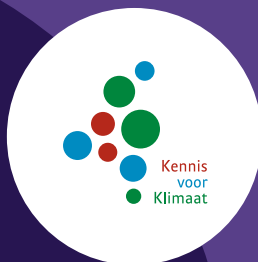


Kennis voor Klimaat is een onderzoeksprogramma waarin kennis, instrumenten en diensten zijn ontwikkeld voor het klimaatbestendig maken van Nederland. Een serie van negen boeken geeft in vogelvlucht weer wat de onderzoeken hebben opgeleverd en hoe de kennis kan worden toegepast in de praktijk.

Deel vijf van de serie is **Klimaat en vitale infrastructuur**. In uitgebreide studies is onderzocht wat de effecten zijn van extreem weer en overstromingen op infrastructuur en netwerken en hoe deze met elkaar samenhangen. Dit levert tal van vernieuwende inzichten op.



5

Infrastructuur en netwerken **Klimaat en vitale infrastructuur**

Kennis voor Klimaat | Klimaatadaptatie in Nederland

Infrastructuur en netwerken

Klimaat en vitale infrastructuur

Infrastructuur en netwerken

Klimaat en vitale infrastructuur

Onderzoekers, beleidsmakers en ondernemers werkten in Kennis voor Klimaat samen aan manieren om Nederland klimaatbestendiger te maken. Binnen het thema Infrastructuur en Netwerken is de samenhang onderzocht van vitale infrastructuur en zijn manieren ontwikkeld om ze beter bestand te maken tegen de gevolgen klimaatverandering.

01

Samenhang van netwerken groter dan gedacht

pagina 4



02

Hoe kwetsbaar zijn onze netwerken?

pagina 8

03

De invloed van extreem weer op het spoor

pagina 16

04

Elektriciteitsnetwerk van de toekomst

pagina 18

05

Kwetsbaarheid waterleidingnet in beeld

pagina 20

06

Zwakke veendijken in kaart

pagina 22

07

Onzekerheid de baas met hulp van een game

pagina 28



08

Internationale samenwerking

pagina 34

09

Opmerkelijk

pagina 36





“Het bewustzijn over het cascade-effect kwam langzaam tot stand.”

Lori Tavasszy, consortiumleider Infrastructuur en netwerken

01 Samenhang van netwerken groter dan gedacht

Een storing in het ene infrastructuurnetwerk kan effect hebben op andere netwerken. Dit cascade-effect treedt op bij extreme weersomstandigheden die optreden als gevolg van klimaatverandering, zo blijkt uit onderzoek. “Alles hangt met elkaar samen.”

Het consortium INCAH heeft veel onderzoek gedaan naar de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op infrastructuur en netwerken. Ook internationaal was er weinig over bekend, zegt consortiumleider Lori Tavasszy. “In de bestaande onderzoeken zat geen samenhang. Wij hebben de kwetsbaarheid van infrastructuren en netwerken op verschillende vlakken – technisch en economisch – onderzocht en de uitkomsten met elkaar gecombineerd.” Een voorbeeld van technisch onderzoek door het consortium is een meetmethode die voorspelt wanneer en waar een dijk doorbreekt en of een waterleiding het begeeft. Economisch onderzoek richt zich onder meer op de kosten van wateroverlast op een snelweg door het verlies van reistijd. Ook *governance* komt in het consortium aan bod: een rollenspel voor besluitvorming maakt inzichtelijk hoe beleidsmakers omgaan met onzekerheid in de ruimtelijke planning.

Bewustwording

“Onze onderzoeken hebben ervoor gezorgd dat belanghebbenden zich bewust zijn van de kwetsbaarheid van infrastructuur en netwerken en hun onderlinge samenhang”, meent Tavasszy. “Tijdens een gebiedsstudie in Rotterdam-Noord werd duidelijk hoe nauw de verschillende infrastructuurnetwerken met elkaar verweven zijn. Alles hangt met elkaar samen. Bij een overstroming zijn wegen en spoor niet begaanbaar. Door ondergelopen elektriciteitsmasten werkt ook de aansturing van

INCAH (*Infrastructure Networks Climate Adaptation & Hotspots*) onderzoekt de klimaatadaptatie van infrastructuur en netwerken. Dit leverde modellen op die inzicht geven in de onderlinge samenhang van de netwerken voor transport, drinkwater en energie. De resultaten brengen de kwetsbaarheid van de stedelijke bereikbaarheid in beeld en laten zien hoe deze klimaatbestendiger is te maken. Deelnemers zijn Gemeente Rotterdam, Stedin, Hoogheemraadschappen van Delfland en van Schieland en de Krimpenerwaard, Rijkswaterstaat, de Veiligheidsregio Rijnmond, provincie Zuid-Holland, Deltares, TU Delft, TNO, KWR Watercycle Research Institute en VU Amsterdam.

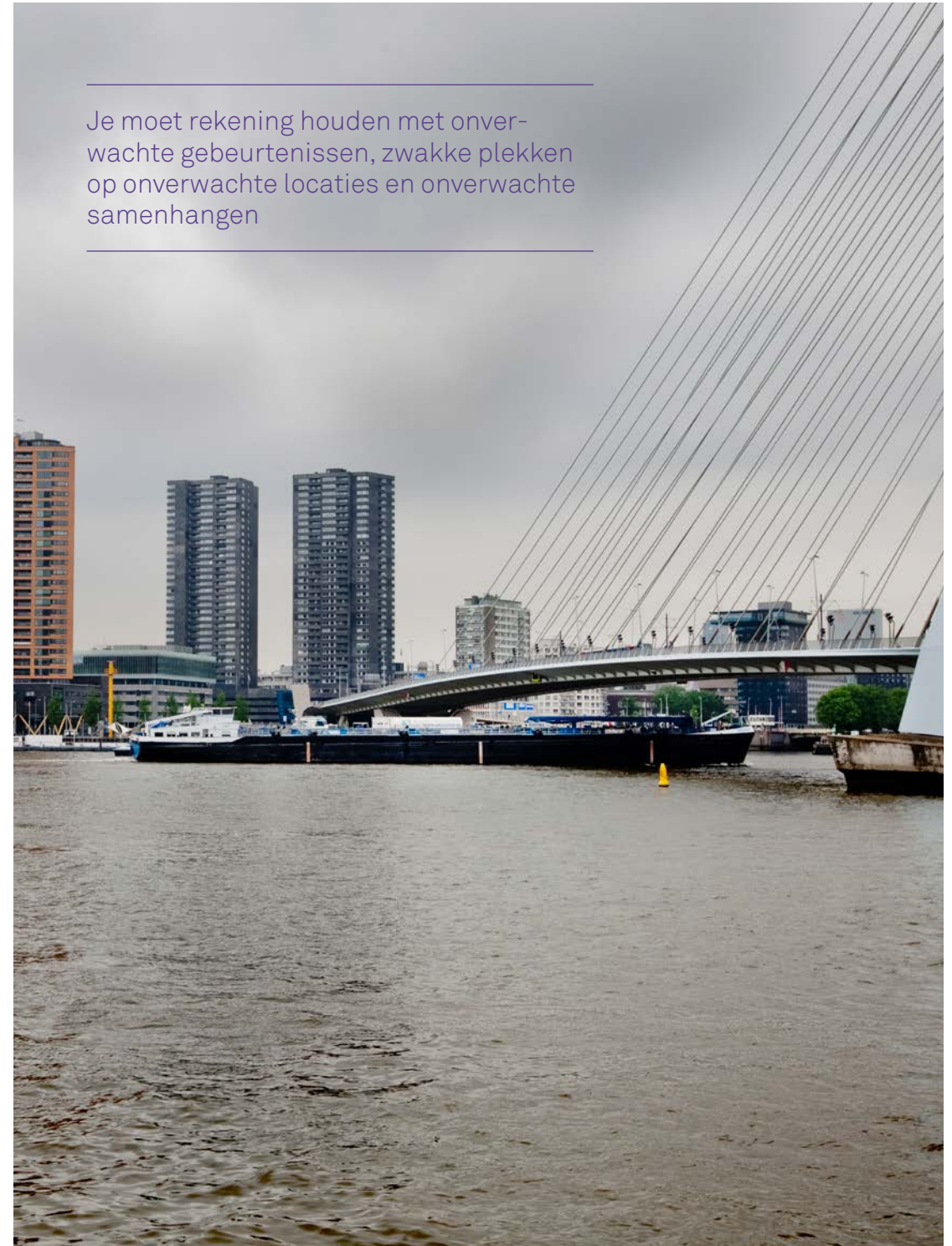
bruggen niet meer. Slagbomen of brugdekken blijven dicht, waardoor de binnenvaart ook niet verder kan. Wegverzakkingen kunnen weer effect hebben op het drinkwaternet, de riolering en het elektriciteitsnetwerk. We kunnen de cascade-effecten nog niet in een computerprogramma stoppen, zodat de afhankelijkheden er systematisch rollen, maar we hebben wel de basis voor deze berekeningen gelegd.”

Het bewustzijn kwam langzaam tot stand, constateert Tavasszy. “Het was best moeilijk om netwerkbeheerders wakker te schudden. We hebben praktische voorbeelden gebruikt om duidelijk te maken hoe groot het cascade-effect kan zijn. En we hebben oplossingen aangedragen voor het verkleinen van de schadekans. Slimme koppelingen met werkzaamheden die toch al op stapel staan, kunnen een groot effect hebben tegen relatief lage kosten.” Een voorbeeld is het robuuster maken van een zwakke plek in het verkeersnetwerk door meer waterdoorlatend asfalt te gebruiken bij een reguliere onderhoudsbeurt.

Internationale belangstelling

De inspanningen van het consortium hebben de belangstelling gewekt in het buitenland, zegt de consortiumleider. “We wisselen onze kennis uit met wetenschappers op alle continenten. De problemen zijn weliswaar divers, maar verkeersnetwerken en elektriciteitscentrales zijn overal vergelijkbaar. Alle landen zoeken naar geschikte adaptatiemaatregelen op dit vlak.” Dat de oplossingen niet eenvoudig zijn, bleek in de Verenigde Staten. Na het instorten van de *Twin Towers*, door de aanslag in 2001, werden alle computers van de New Yorkse verkeerslichten verplaatst naar kelders, zodat de systemen zouden blijven werken als de situatie zich nog eens zou voordoen. Dat leek een goede oplossing, tot in 2012 orkaan Sandy zorgde voor overstromingen en de kelders volliepen. “Bij klimaatadaptatie moet je rekening houden met onverwachte gebeurtenissen, zwakke plekken op onverwachte locaties en onverwachte samenhangen. Door die in beeld te brengen, zijn keuzes gefundeerder te maken.”

Je moet rekening houden met onverwachte gebeurtenissen, zwakke plekken op onverwachte locaties en onverwachte samenhangen



02 Hoe kwetsbaar zijn onze netwerken?

Hoe kwetsbaar zijn onze infrastructuurnetwerken en op welke manier zijn ze van elkaar afhankelijk? In een simulatie van een overstroming in Rotterdam Noord zochten gebiedsexperts en onderzoekers samen naar antwoord op deze vraag.

Stel: een dijk breekt door. Het water stroomt het achterliggende gebied in en overstroomt enkele wegen. Het elektriciteitsnet valt uit, tunnels lopen vol water en verkeerslichten vallen uit. Mensen willen het gebied uit, maar onduidelijk is welke wegen begaanbaar zijn. Er komt geen schoon water meer uit de kraan door een leidingbreuk en de pompen zijn uitgevallen. Het elektriciteitsnet, wegen en de watervoorziening staan onder water en vallen deels uit. Hoe en in welke mate beïnvloedt de uitval van het ene netwerk het functioneren van de andere?

INCAH bracht beheerders en ontwikkelaars van verschillende netwerken in een studiegebied in Rotterdam Noord aan tafel met wetenschappers om deze vraag te beantwoorden. Er is voortgeborduurd op een onderzoek naar overstromingsrisico's van regionale kerringen van *Rotterdam Climate Proof*, dat mede door Kennis voor Klimaat is gefinancierd. In het studiegebied liggen een vliegveld, de Randstadrail, een treinstation, een HSL-tracé, een ziekenhuis, bebouwing, een snelweg en provinciale wegen. De aanname was dat er een gat in de dijk van de Schie ontstaat, met een overstroming tot gevolg.

De wetenschappers rekenden praktijkvragen van de gebiedsexperts door aan de hand van de rekenmodellen- en methoden van INCAH. De resultaten zijn in workshops teruggekoppeld, wat weer leidde tot nieuwe discussie en input voor de onderzoekers. "Wat we wilden bereiken, is een levendig samenspel



Foto In Rotterdam Noord wordt de samenhang van verschillende netwerken onderzocht.

tussen onderzoekers en beheerders van de verschillende netwerken", zegt Nienke Maas, projectleider van INCAH. "We hebben nu beter inzicht in wat er mis kan gaan en wat je moet doen om mensen te betrekken en samen de kwetsbaarheid te analyseren." Een afgebakend (stedelijk) gebied, met betrokkenen die zich dagelijks met dat gebied bezig houden, bleek het antwoord op die vraag. "De aansluiting tussen de kennisontwikkeling en de werkpraktijk van de netwerkbeheerders in

“Dit onderzoek laat zien dat we niet over een verre, onzekere toekomst spreken.”

Nick van Barneveld, gemeente Rotterdam

het gebied was groot”, zegt Jos Streng van de afdeling Verkeer en Vervoer van gemeente Rotterdam. “Dat maakte de betrokkenheid bij de studie groot. Wat lastig blijft is het vinden van de balans tussen de korte en de lange termijn. We hebben een aardig midden weten te vinden tussen het onderzoeken van dingen die op de lange termijn gaan spelen en waar we maatregelen kunnen nemen die ook nu al nut hebben.”

Domino-effect

Voor de buitenstaander lijkt het vanzelfsprekend dat, in geval van nood, de samenwerking tussen de organisaties goed geregeld is. De realiteit blijkt weerbarstiger. Onderzoeker Bert Sman van Deltares: “Door het vertrouwen in dijken in Nederland is er weinig aandacht voor de gevolgen als het toch mis gaat. Er ontbreekt kennis over wat dan de opeenvolgende effecten zijn, waar verschillende partijen mee aan de slag moeten. Niet altijd was duidelijk wie verantwoordelijk was voor risicobeheersing.” De gemeente Rotterdam en Rijkswaterstaat zochten naar de juiste mensen binnen de partijen die aan de studie deelnamen.

In de eerste workshop ging het gesprek over de onderlinge verantwoordelijkheden en risico's. Sman: “Hoe en wanneer ben je van elkaar afhankelijk? Voor dit studiegebied konden de onderzoekers met hun modellen laten zien waarom en wanneer bepaalde netwerken bezwijken. Doordat de deelnemers meer inzicht kregen in elkaars netwerken, de kwetsbaarheid voor extreme weersomstandigheden en hun onderlinge afhankelijkheid, ontstond er samenwerking.” Er ontstond overzicht of en hoe de infrastructuurnetwerken in Rotterdam Noord voor de gebruikers blijven functioneren.

Een greep uit de maatregelen

- Schakelstation elektriciteitsnet hoger aanleggen
- Draagbare rioolpompen
- *Back up* schakelstations voor verkeerslichten
- Zwaardere leidingen
- In beeld brengen van kwetsbare doelgroepen
- Weerwaarschuwing
- Het geven van informatie over verwachte drukte en gestremde wegen
- Communiceren over evacuatiestrategie
- Zelfredzaamheid burgers verhogen
- Bewustwording over kritieke infra bij burgers verhogen
- Mobiliteitsmaatregelen als thuiswerken en sluiten van scholen
- Selectieve toegang tot rampgebied
- Omleidingsroutes doorgaand verkeer



Foto Windmolens in de haven van Rotterdam

De resultaten uit de onderzoeken zorgden voor een eyeopener. “Ik vond het verrassend om te horen dat wegen op taluds stabiel blijven tijdens hoog water, maar dat ze kunnen verzakken zodra het water daalt”, zegt Maas. “In onze simulatie houdt de overstroming vijf dagen aan. Het duurt vervolgens twee weken voordat het water weer is weggepompt. En het elektriciteitsbedrijf heeft veel werk om alle schakelstations in een overstroomde wijk weer handmatig in te schakelen. Als ook grotere

schakelstations zijn uitgevallen, kan het een jaar duren voor ze weer allemaal hersteld zijn. Dat zijn dingen waar mensen buiten die specifieke netwerken zich niet perse van bewust zijn, maar die wel heel relevant zijn om alles weer op gang te brengen in een gebied na een overstroming.”

Voor wegbeheerders blijkt het niet alleen belangrijk om te weten hoe diep een weg onder water komt te staan, maar vooral ook hoe snel het water komt. Wegen die twintig centimeter onder water staan, zijn officieel niet meer begaanbaar en zijn niet meer bruikbaar voor evacuatie. Bert Sman: “Dankzij deze oefening leren netwerkbeheerders van elkaar. Ze kunnen afspraken maken over robuustere netwerken, met minder schade en overlast voor bewoners en gebruikers.”

Maatwerk

De aanpak van INCAH is in elk willekeurig gebied toe te passen, maar de input en resultaten zijn steeds maatwerk. “Er ligt nu een draaiboek voor de aanpak”, zegt Nienke Maas, “maar er is per gebied wel tijd nodig voor het vinden van de juiste mensen en het verzamelen van de lokale data. Het voordeel van deze aanpak is de interactie. Het heeft geleid tot meer aandacht bij de overheid voor de kwetsbaarheid van netwerken en de bewustwording bij de deelnemers neemt toe.”

Jos Streng denkt dat door de gebiedsstudie aanpassing van infrastructuur en netwerken aan klimaatverandering sneller op de gemeentelijke agenda zal verschijnen. Ook bij de andere organisaties staat het volgens Streng meer op het netvlies. “De interactie leverde vragen op waar niet altijd antwoord op was en waar mensen binnen hun eigen organisatie naar op zoek moesten. Dat zorgde ervoor dat er bij de verschillende netwerken is gewerkt aan betere informatie over adaptatie en risicobeheersing.”

Nick van Barneveld van de gemeente Rotterdam werkte mee aan het overstromingsonderzoek voor *Rotterdam Climate Proof* en legde de resultaten van INCAH naast het huidige beleid: “Dit onderzoek laat zien dat we niet praten over een verre, onzekere toekomst. We moeten nu al kritisch kijken naar onze veiligheidsmaatregelen. Klimaatverandering maakt het des te urgenter om hiermee aan de slag te gaan.”

Foto Rotterdam The Hague Airport

Wat vonden de deelnemers?

De deelnemers waren positief over de bereidheid om soms gevoelige informatie uit de organisaties te delen. Er was waardering voor de betrokkenheid en constructieve houding over en weer. Ze gaven aan meer inzicht te hebben in de problematiek en vonden de resultaten bruikbaar. De deelnemers suggereerden dat bij volgend studies ook aandacht moet zijn voor het ICT-netwerk en voor de bewoners en andere gebruikers van de infrastructuur.





Met kennis over de invloed van het weer op treinen kan ProRail beter inspelen op verwachte weersomstandigheden.

03 De invloed van extreem weer op het spoor

Vertragingen op het spoor en uitval van treinen zijn vaker het gevolg van extreem weer dan gedacht, zo blijkt uit onderzoek. Maar de economische schade valt mee.

Het Nederlandse spoornetwerk heeft een totale lengte van 6830 kilometer, beheerd door ProRail. Jaarlijks zijn er ruim drieduizend verstoringen, die in meerdere of mindere mate invloed hebben op het treinverkeer. Medewerkers van de VU Amsterdam koppelden de verstoringen aan gegevens van ruim dertig weerstations en vonden een duidelijk verband. “Bij temperaturen boven de 23 graden Celcius en onder de min drie kwamen aanzienlijk meer verstoringen voor”, zegt Jos van Ommeren, hoogleraar stedelijke economie aan de VU Amsterdam. “Ook sneeuw, bladeren en flinke variaties in het weer op dezelfde dag hebben invloed. Effecten van regenval hebben we niet aangetroffen.” De resultaten van het onderzoek verrasten de technici van ProRail. “Ze hadden de relatie tussen storingen en temperatuur alleen bij hogere temperaturen verwacht.”

Verstoringen in het spoornetwerk zijn verantwoordelijk voor de helft van de vertragingen in het treinverkeer, de andere helft wordt veroorzaakt door de treinen zelf. Ook daar spelen de weersomstandigheden een rol, zegt Van Ommeren. “Boven de 27 graden Celcius en onder de min vijf vertonen treinen meer gebreken dan bij andere temperaturen.” Met de opgedane kennis kan ProRail op voorhand beter inspelen op veranderende weersomstandigheden.

De kosten van een regenbui

Extreem weer heeft ook voor het wegverkeer stevige gevolgen. Extreme regen- en sneeuwbuien kunnen tot files leiden. Twee millimeter neerslag per uur geeft tien procent extra kans op vertragingen, bij meer dan tien millimeter stijgt de kans op vertragingen naar 25 procent. Volgens kennisinstituut TNO is het aantal verliesuren door regen zo'n 50 tot ruim 80 miljoen uur per jaar. Maaïke Snelder van TNO: “Als je uitgaat van een gemiddelde reistijdwaarde van 10 euro per uur, dan correspondeert dat met een economische schade van circa 0,5 tot 0,8 miljard euro.” In 2008 liep de Botlektunnel tijdens een extreme regenbui onder, omdat de pompen door blikseminslag buiten gebruik waren geraakt. Het water steeg tot een meter hoogte en op diverse snelwegen ontstonden lange files. De economische kosten door reistijdverlies kwamen die dag op 367.500 euro.



Foto Spoor in de buurt van station Wolvega

Economische schade

De economische schade van vertragingen op het spoor valt mee, ontdekten Van Ommeren en zijn collega's. “We hebben onderzocht of reizigers geld over hebben voor een robuuster spoornetwerk, zodat vertragingen worden voorkomen. In totaal tachtig miljoen euro, zo bleek. Veel te weinig om het netwerk klimaatbestendig te maken zodat extreme weersomstandigheden minder invloed hebben.” Hieruit concludeert Van Ommeren dat reizigers weliswaar ongemak ervaren door verstoringen op het spoor, maar geen grote economische schade.

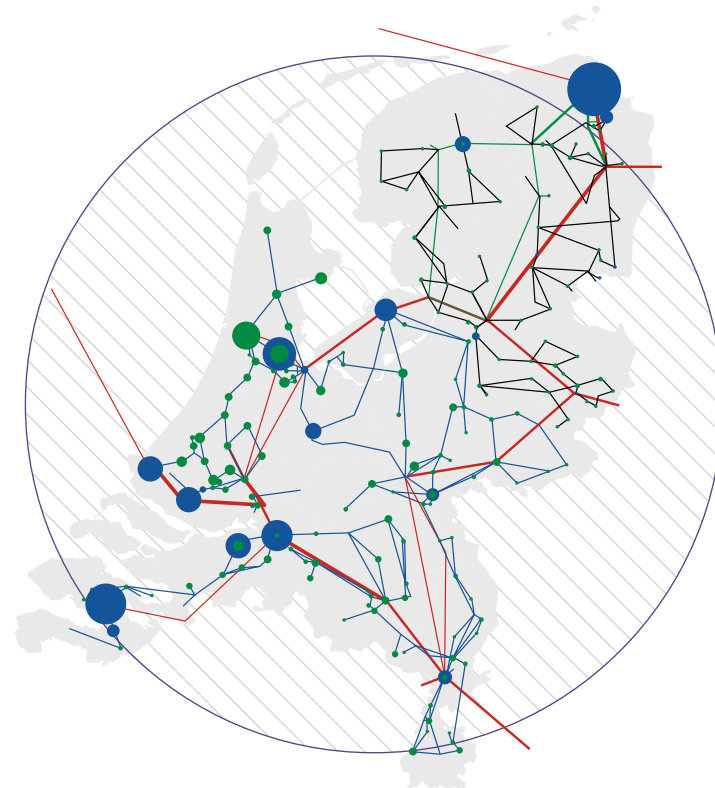
Jos van Ommeren zette het onderzoek voort van econoom Piet Rietveld, die in 2013 overleed.

04 Elektriciteits- netwerk van de toekomst

Het goede nieuws is dat ons elektriciteitsnetwerk behoorlijk robuust is. Een simulatiemodel laat zien welke investeringen nodig zijn om de stroomvoorziening ook in de toekomst op peil te houden.

Als een helikopter in een hoogspanningsmast vliegt, weten we hoe we de gevolgen zo klein mogelijk kunnen houden. Maar wat zijn de effecten als de helft van Nederland besluit een airco aan te zetten tijdens een hittegolf? En is er genoeg energie tijdens een hete zomerdag als door windstilte de windmolens geen elektriciteit opwekken? Waar en hoe is aanpassing van het elektriciteitsnetwerk nodig om Nederland ook bij een veranderend klimaat van stroom te blijven voorzien?

Het antwoord ligt in een simulatiemodel dat promovendus Andrew Bollinger, van de TU Delft, ontwikkelde. Het model laat zien waar de kwetsbaarheden in het netwerk zitten en wat er



Figuur Illustratie van de Nederlandse infrastructuur voor elektriciteit. De kleuren representeren verschillende soorten kabels: rood is 380 kV, blauw en groen zijn 150 kV en zwart is 110 kV. De stippen zijn overslagstations voor binnenlandse doorvoer of doorvoer van en naar het buitenland.

gebeurt als de omstandigheden veranderen. Bollinger: “We kunnen laten zien op welke manier het netwerk zich zou kunnen ontwikkelen zodat het tegen een stootje van het klimaat kan.” De onzekerheden rond klimaatverandering worden meegenomen door steeds nieuwe uitgangspunten en variabelen in het model te stoppen. Gerard Dijkema, universitair hoofddocent energie en industrie aan de TU Delft: “We laten de simulatie telkens opnieuw lopen, zodat we een beeld krijgen van hoe bepaalde effecten zoals hitte of wateroverlast in het hele elektriciteitsnet door kunnen werken. Dat levert patronen op, waarmee we kunnen adviseren over wat er waarschijnlijk zal gebeuren.” Netbeheerders kunnen die kennis bij beslissingen over investeringen in het net gebruiken.

Een eyeopener is voor Bollinger het grote effect van hitte op het hele elektriciteitsnet: “Hitte is een fenomeen dat niet genegeerd mag worden. Het heeft op allerlei manieren effect, van vermindering van de productiecapaciteit tot een toename in de vraag bij de eindgebruiker.” Het net is redelijk voorbereid op overstromingen, omdat delen kunnen worden uitgeschakeld als een gebied dreigt te overstromen. Hitte vergt extra investeringen om extremen in de toekomst het hoofd te kunnen bieden.

Hitte vergt extra investeringen in het net om extremen in de toekomst het hoofd te kunnen bieden.

05 Kwetsbaarheid waterleidingnet in beeld

Bodemdaling door droogte kan breuken in de waterleidingen veroorzaken. Onderzoek bracht in beeld op welke plaatsen het leidingnet het meest kwetsbaar is. Daardoor kunnen waterbedrijven tijdig actie ondernemen.

In Nederland ligt 120.000 kilometer aan drinkwaterleidingen in de grond. Ieder jaar gaan tussen de vier- en vijfduizend leidingen kapot omdat ze versleten zijn of geraakt worden tijdens graafwerkzaamheden. Bas Wols van KWR Watercycle Research Institute onderzocht of gevolgen van klimaatverandering, zoals hogere temperaturen en bodemdaling, het risico van leidingbreuk beïnvloeden. Hij vond een duidelijke relatie. “Met name bepaalde typen leidingmaterialen zijn gevoelig voor hoge temperaturen”, zegt Wols. “Deze leidingmaterialen zijn ouder dan PVC, dat sinds de jaren zestig of zeventig van de vorige eeuw wordt gebruikt. PVC lijkt minder gevoelig voor weersinvloeden.” Deze conclusie trok Wols door de schadegegevens van een aantal Nederlandse waterbedrijven over een periode van vijf jaar te inventariseren en te combineren met informatie over de verandering in weersomstandigheden. “De verwachte toename van de schade bij klimaatverandering valt mee”, concludeert Wols. “Per jaar maximaal tien procent ten opzichte van de normale schade aan het leidingnet.”

Bodemdaling door droogte

De onderzoeker van KWR keek ook naar de invloed van bodemdaling op het waterleidingnet. Op basis van een nieuw ontwikkeld model en de KNMI-klimaatscenario's berekende Wols welke leiding in het waterleidingnet gevoelig is voor

“Door kwetsbare plekken eerder te vervangen, wordt het drinkwaternetwerk robuuster.”

Bas Wols, onderzoeker KWR



Foto Zuiveringsinstallatie voor drinkwater

breukschade als gevolg van bodemdaling. De conclusies leveren waardevolle informatie aan de drinkwaterbedrijven, die de onderzoeken met belangstelling hebben gevolgd, zegt Wols. “Als de kwetsbare plekken in het netwerk bekend zijn, kunnen die eerder worden opgenomen in het vervangingsprogramma. Dan wordt het waterleidingnet als geheel robuuster.” Het model dat KWR voor dit onderzoek ontwikkelde is ook toe te passen op het gas- en rioolnetwerk. Tijdens een workshop in Rotterdam werkte Wols mee aan een casus die zich concentreerde op de gevolgen van een overstroming. Met zijn model berekende hij dat het waterleidingnet in dat geval niet veel last heeft van zogenoemd ‘opdrijven’, omdat de leidingen gevuld zijn en daardoor voldoende gewicht hebben. Het rioolnetwerk daarentegen bleek kwetsbaarder tijdens een overstroming.



06 Zwakke veendijken in kaart

Nederland telt 3500 kilometer veenkaden. Houden die waterkeringen stand bij extreem weer als droogte en hevige regen? Een nieuw computermodel berekent de stabiliteit van veenkaden voor verschillende klimaatscenario's.

De dijkdoorbraak bij Wilnis in de droge zomer van 2003 liet zien wat droogte met een veendijk kan doen. INCAH ontwikkelde een computermodel dat voorspelt hoe groot het risico van uitdroging of wateroverlast is voor een veendijk. Het kan de waterschappen bij het beheer en onderhoud van de dijken helpen.

Aan de hand van een KNMI-scenario berekent het model of het in het gebied waar de veendijk ligt natter of droger wordt. Dat leggen de onderzoekers naast zaken als de afmetingen, de opbouw van de dijk en de grondwaterstand. Een volgende stap is het testen van de betrouwbaarheid van het model. Deltares-onderzoeker John van Esch: "Het wordt voor de waterbeheerders interessant als we sommen kunnen maken voor alle veenkaden in Nederland. We kunnen dan in een kaart aangeven welke kaden gevoelig zijn voor klimaatveranderingen; die kaden kun je vervolgens versterken om een doorbraak zoals in Wilnis te voorkomen. Je kunt het model ook gebruiken om op basis van een weersvoorspelling iets te zeggen over de stabiliteit van een veendijk."

INCAH onderzocht ook wat er gebeurt met een veendijk als er juist teveel water is door een overstroming. Opvallend is dat de grootste problemen pas ontstaan als het water weer zakt.

Wanneer bezijkt een veendijk?

In Rijnland wordt een kleine polder aan de rand van de Haarlemmermeer omgezet in natte natuur. Hoogheemraadschap Rijnland ontmantelt een deel van de dijk van de polder. STOWA, Deltares en een aantal waterschappen kunnen hier onderzoeken onder welke omstandigheden veendijken bezijken.





Foto Wateroverlast na een dijkdoorbraak in Wilnis

De met water doordrenkte ondergrond kan de dijk instabiel maken. Sloten en vaarten naast een grondlichaam vergroten de kans op verzakking. Het is dan ook beter drainagesloten verder van de dijk te leggen dan nu gebruikelijk is. Met deze kennis kunnen beheerders van dijken, dammen en wegconstructies, preventieve inspecties houden en als dat nodig is de constructie van kwetsbare grondlichamen aanpassen.

Als we weten welke kaden zwak zijn, kunnen we ze gericht versterken en zo geld besparen.

Internationale belangstelling

Bedrijven en universiteiten uit negentien landen werken samen om de gevolgen van klimaatverandering op grondlichamen te onderzoeken (*cost action TU1202 climate change on engineered slopes*). Het rekenmodel van INCAH is interessant voor de andere deelnemers, omdat het ook helpt om het gedrag van andere 'hellingen' zoals dijken, dammen en wegconstructies te voorspellen.

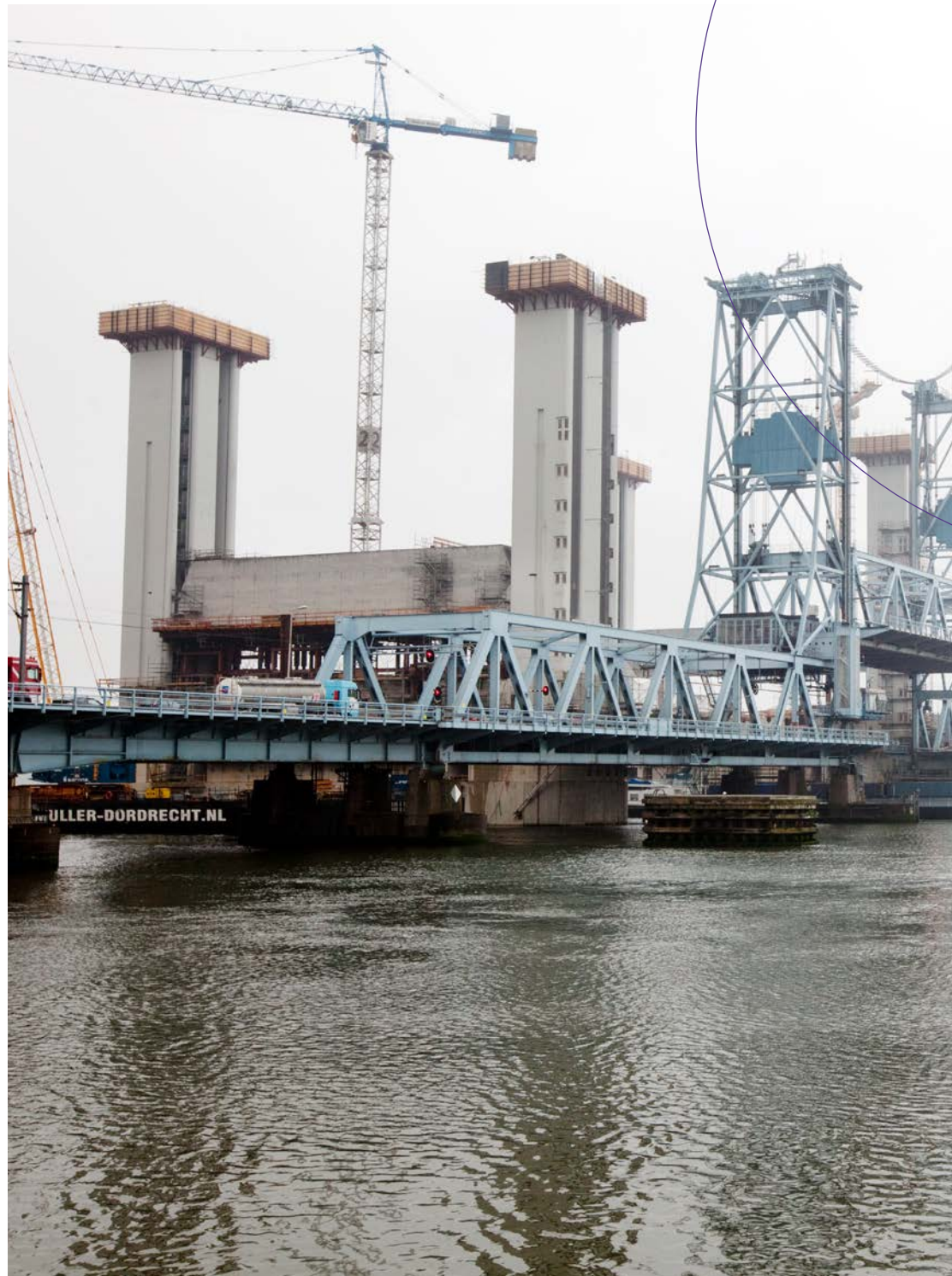


Onderzoek bracht in beeld hoe kwetsbaar het waterleidingnet voor de gevolgen van klimaatverandering is; daardoor kunnen waterbedrijven tijdig actie ondernemen.

Foto Waterleiding bij de Botlek

Stapsgewijze aanleg van infrastructuur
maakt aanpassing aan toekomstige gevolgen
van klimaatverandering mogelijk.





07 Onzekerheid de baas met hulp van een game

De onzekerheid rond klimaatverandering maakt beslissingen over infrastructuur lastig. Een management game helpt te doorgronden wat besluitvormers nodig hebben om ondanks die onzekerheid knopen door te hakken.

Bij het plannen van infrastructuur is de aanname vaak dat de economie zal groeien. Dus legt men nu alvast bredere wegen aan om de toekomstige toename van het verkeer op te vangen. Ook al is het nog onzeker of de economie wel zál groeien. Als het gaat om de onzekerheid rond klimaatverandering is de insteek heel anders. Dan wordt niet gedacht vanuit het opvangen van de extremen, maar neigen de beslissers er eerder naar om de risico's laag in te schatten. Klimaatonzekerheden worden sneller genegeerd dan wankele verwachtingen over het aantal auto's en vrachtwagens op de weg door economische groei.

INCAH ontwikkelde een *management game* om onzekerheid over klimaatverandering mee te nemen in besluitvorming over infrastructuur. De mensen die de game spelen kiezen steevast voor robuustere opties als ze redeneren vanuit klimaatscenario's.

Klimaat rollenspel

De management game is opgezet aan het Massachusetts Institute of Technology (MIT). Promovendus Todd Schenk, van MIT, bewerkte de game voor INCAH tot een rollenspel over moeilijkheden rond de aanleg van infrastructuur in relatie tot klimaatverandering. Hij koos ervoor om het spel te plaatsen in havensteden, zoals Rotterdam, New York en Singapore. In

eerste gesprekken met mensen van TNO, Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam is onderzocht wie de belangrijkste betrokkenen zijn, welke kwesties spelen en wat mogelijke oplossingen zijn. Vervolgens is er een ‘probleem’ gekozen waar de spelers samen oplossingen voor moesten verzinnen en een knoop over moesten doorhakken. Schenk: “Om de realiteit zo dicht mogelijk te benaderen, hebben we gekozen voor het aanleggen van een nieuwe weg in een bestaand gebied. Op die manier konden de deelnemers werken aan concrete beslissingen met realistische budgetten en uitgangspunten.”

In het spel zitten telkens zes deelnemers met uiteenlopende belangen aan tafel; zowel mensen van gemeenten en Rijkswaterstaat, maar ook vertegenwoordigers van milieclubs, lobbyisten en een commerciële partij als de havendirectie. Er zijn deelnemers die voor hun werk bezig zijn met klimaatverandering, en mensen die er nog weinig mee te maken hebben. Een dergelijke groep moet met elkaar gaan bekijken wat de slimste oplossing is voor de aan te leggen weg. Een voorzitter, met ook weer zijn eigen belang, moet alle neuzen dezelfde kant op krijgen, en zorgen dat de deelnemers in hun overwegingen en uiteindelijke keuze rekening houden met klimaatverandering. “De deelnemers leren zo hoe die onzekerheden het nemen van besluiten compliceren”, zegt Schenk. “We wilden hen uitdagen om na te denken over samenwerking voorbij de grenzen van hun eigen verbanden. Dat is noodzakelijk bij nieuwe omstandigheden als gevolg van klimaatverandering. Zo kunnen we onderzoeken hoe belanghebbenden proberen greep te krijgen op de onzekerheid en of het gebruik van klimaatscenario’s hen daar bij ondersteunt of juist niet.”

Doorbreken van oude structuren

Opvallend is volgens Schenk dat het nemen van beslissingen op een veel informelere manier gebeurt dan hij aanvankelijk dacht. “Die informele structuur geeft enerzijds ruimte voor flexibiliteit en snel schakelen. Het nadeel is dat deze bestaande verbanden minder goed in staat zijn zich aan te passen aan nieuwe bedreigingen als klimaatverandering.” Hoe breng je nieuwe manieren van samenwerking in bestaande relaties die vaak al jaren terug gaan? En hoe zijn geheel nieuwe samenwerkingsverbanden te smeden? Het vergt nog veel werk om antwoord te krijgen op die vragen, denkt Schenk. “Het soort dialoog in het rollenspel, met mensen vanuit organisaties met uiteenlopende belangen, helpt daarbij. Het laat mensen zien wat er nodig is om samen te werken aan adaptieve infrastructuur.”

De mensen die de game spelen kiezen stevast voor robuustere opties als ze redeneren vanuit klimaatscenario’s.



Foto Haven Rotterdam



Deelnemers komen in het spel over het algemeen tot de conclusie dat de beste optie is om infrastructuur stapsgewijs aan te leggen. Dat maakt aanpassing van de plannen mogelijk, al naar gelang de toekomstige gevolgen van klimaatverandering. De budgetten voor infrastructuur bieden hier weinig mogelijkheden voor. Het geld mag alleen worden uitgegeven op een vastgesteld moment aan een specifiek project.

Verlammend

Klimaatscenario's benadrukken de onzekerheden. Dit kan volgens Schenk bij de deelnemers aan het rollenspel aan de ene kant leiden tot een houding van 'we nemen het zekere voor het onzekere' en dus tot robuustere beslissingen. Anderzijds kan die nadruk op onzekerheid verlammend werken. Er wordt dan helemaal geen beslissing meer genomen en de maatregel wordt uitgesteld. "Het rollenspel laat zien dat praktijkdeelnemers zich uiteindelijk toch gaan richten op één scenario, ook als er meerdere worden gepresenteerd. Ze kiezen dan vaak het worst case scenario. Ze hebben behoefte aan houvast."

Verschillende talen

Het samen aan tafel zetten van (klimaat)wetenschappers, beleidsmakers en managers overbruggt de kloof tussen praktijk en onderzoek. "Mensen die beslissingen moeten nemen, zitten niet te wachten op details uit modellen en op rekenmethoden. Terwijl klimaatwetenschappers juist geneigd zijn daar



Foto Haven New York

de nadruk op te leggen en de onzekerheid in alle nuance te laten zien. Aan tafel komen beide kanten dicht bij elkaar en ontstaat er meer wederzijds begrip."

"De onzekerheid over klimaatverandering kan verlammend werken. Beslissers hebben behoefte aan houvast."

Todd Schenk, Massachusetts
Institute of Technology

Wetenschappers kregen door het spel meer besef voor de betekenis van de verschillende belangen van de deelnemers. De praktijkmensen kregen op hun beurt meer begrip voor de aard van onzekerheid. "De grote uitdaging is om deze kloof nog verder te dichten", zegt Schenk. "De vraag daarbij is of besluitvormers moeten leren omgaan met onzekerheden, of dat wetenschappers daar minder nadruk op moeten leggen. Wetenschappers zouden in plaats in te zoomen op onzekerheid, beter kunnen uit leggen welk scenario het meest waarschijnlijk zal zijn. Dan geven ze informatie waar praktijkmensen mee uit de voeten kunnen als ze beslissingen moeten nemen over infrastructuur."

08 Internationale samenwerking

INCAH werkte met wetenschappers overal ter wereld samen om kennis uit te wisselen. Zo leren wij van ervaringen met superstorm Sandy en wordt van Jakarta tot de Verenigde Staten gewerkt met INCAH-expertise.

Sandy raasde in 2012 over New York en was voor delta's wereldwijd een *wake up call*. Ook Nederland leert veel van de gevolgen van de storm als het gaat om de kwetsbaarheid van netwerken als wegen, elektriciteit, watervoorziening en IT. Projectleider Nienke Maas: "De afhankelijkheid tussen netwer-

.....
Foto Effecten van superstorm Sandy in Queens, New York

Sandy leert hoe kwetsbaar netwerken zijn.



Foto Hevige regenval zorgde in februari 2010 voor flinke overstromingen in Jakarta, Indonesië, waarbij duizenden bewoners werden getroffen

ken is een uitdaging die in veel landen speelt. Na Sandy hebben we een workshop georganiseerd, met een presentatie van een expert uit New York. Sandy leert hoe we netwerken beter bestand kunnen maken tegen klimaatverandering."

Ook Groot-Brittannië is een 'goed' voorbeeld voor Nederland. Het land heeft bij gebrek aan voldoende dijken met enige regelmaat te maken met overstromingen en doet veel onderzoek naar het effect daarvan op asfalt. INCAH onderzocht met Britse onderzoekers hoe wegen zich houden in extreme weersomstandigheden in het project *COST Actions*. Een stuk weg is uitgerust met allerlei meetapparatuur om de effecten van hitte, kou en wateroverlast te meten.

Nederlandse waterkennis naar Jakarta

In 2009 overstroomde een deel van Jakarta door een breuk in een damwand. Deltares-onderzoeker Bert Sman: "De ervaring met overstromingen en wateroverlast in Jakarta geeft inzicht in wat er daadwerkelijk met infrastructuur en netwerken gebeurt. Omgekeerd brengen wij expertise en kennis over waterveiligheid naar dat gebied, waar mensen daar mee aan de slag kunnen." Nederlandse experts werkten een plan uit om hoofdstad Jakarta te beschermen. Met hulp van Nederlandse kennis over (veen)dijken, die onder meer in INCAH is ontwikkeld, worden in het gebied 200 dammen geïnspecteerd. Een team van specialisten zal samen met Indonesische deskundigen de acute risico's van het netwerk van dammen in kaart brengen en een actieplan opstellen.

Internationale kennisuitwisseling

INCAH-onderzoekers presenteren bevindingen op internationale congressen als het Australische Climate Adaptation Engineering Symposium en het European Climate Change Adaptation Conference. Via Webinars deelde INCAH met de Verenigde Staten kennis over de klimaatprogramma's van The Federal Highway Administration en Rijkswaterstaat. Het ARCC (Adaptation and Resilience to a Changing Climate) programma uit het Verenigd Koninkrijk heeft INCAH uitgenodigd om meer te vertellen over de gebiedsstudie Rotterdam Noord en mee te doen met de werksessies voor infrabeheerders om de onderlinge afhankelijkheden beter in beeld te brengen.

.....
 Lees meer over *veendijken* op **pagina 22**

09 Opmerkelijk

De onderzoeken van het consortium Infrastructuur en netwerken hebben geleid tot een groot aantal opmerkelijke inzichten, weetjes en eyeopeners. Een greep hieruit staat op deze pagina's.

De nadruk op onzekerheid kan **verlammend werken** bij het maken van keuzes over toekomstige infrastructuur.

Door het **vertrouwen in dijken** in Nederland is er weinig aandacht voor de gevolgen als het toch mis gaat.

Bij temperaturen boven de **23 graden Celsius** komen aanzienlijk meer verstoringen op het spoor voor.

De grote invloed van hitte op het **elektriciteitsnetwerk** vergt extra investeringen.

Ook **internationaal** was er **nog weinig kennis** over de samenhang van vitale infrastructuren.

Wegen op taluds blijven stabiel tijdens hoog water maar kunnen verzakken zodra het water daalt.

Voor **evacuatie** is het belangrijk te weten hoe snel het water wegen onbegaanbaar maakt.

Het kan **weken duren** voor het water na een overstroming weer uit een gebied is gepompt.

Case studies maken duidelijk hoe nauw verschillende netwerken met elkaar verweven zijn.



Infrastructuur en netwerken

Klimaat en vitale infrastructuur

Eind 2014 sluit Kennis voor Klimaat haar poorten. Dit programma heeft zeven jaar lang onderzoek gedaan naar klimaatverandering en adaptatie. Een doorsnede van alle kennis die is opgedaan door honderden onderzoekers samen met mensen uit de praktijk, is in negen boeken beschreven. Acht boeken over de belangrijkste thema's, zoals de stad, waterveiligheid, infrastructuur, zoet water en governance, en één boek met het overzicht van het hele programma.

Samenwerken met de praktijk, co-creatie van kennis, was het hart van het onderzoekprogramma. Provincies, gemeenten, waterschappen en bedrijven hebben de vragen gesteld en hebben meegewerkt aan de uitvoering, samen met de wetenschap. Zonder al deze partijen waren de resultaten minder interessant geweest voor de praktijk. En, nog belangrijker, zonder deze partijen had dit onderzoek niet plaats gevonden. Immers, zij hebben financieel diep in de buidel getast om het onderzoek mogelijk te maken.

Voor u ligt het boekje 'Klimaat en vitale infrastructuur'. Kennis voor Klimaat dankt alle partijen die aan dit thema hebben bijgedragen en vooral hen die door co-financiering het onderzoek van het consortium Infrastructuur en netwerken mogelijk hebben gemaakt.

stowa



Gemeente Rotterdam



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

waternet

Met medewerking van TenneT, ProRail, MinlenM, NS, Gemeente Den Haag, Deltalinqs, Port of Rotterdam.

Kennis voor Klimaat is mogelijk gemaakt door een basissubsidie uit het Fonds Economische Structuurversterking. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu was penvoerder voor het onderzoeksprogramma.

PURDUE
UNIVERSITY

 **Southern Cross**
University

MIT

 **鳥取大学**
Tottori University

M
UNIVERSITY OF
MICHIGAN

 **Fraunhofer**
ISI

KWR Watercycle
Research
Institute

TNO

VU  UNIVERSITY
AMSTERDAM

 **TU Delft**

Deltares
Enabling Delta Life 

 **SGI** Swedish Geotechnical Institute

 **CSIRO**

UCL
Université
catholique
de Louvain

illustratieverantwoording

Cover, pagina's 4, 7, 13, 25, 26-27, 28, 38-39: Anneke Hymmen; Pagina 9 en 11: Rotterdam Image Bank; Pagina 14-15: Wilmar Dik; Pagina 17: B. Beltman; Pagina 18: Robert Linder; Pagina 19: Andrew Bollinger; Pagina 21: Jan Kranendonk; Pagina 22: Werry Crone / Hollandse Hoogte; Pagina 24: Rien Zilvold / Hollandse Hoogte; Pagina 31: Rotterdam Image Bank; Pagina 33: William Picard; Pagina 34: EJ Hersom; Pagina 35: Gamma Presse Images / Hollandse Hoogte

Dit is een uitgave van Kennis voor Klimaat

Postbus 85337
3508 AH Utrecht

Projectleiding, (beeld)redactie en teksten

Synergos Communicatie

Redactieraad

Programmabureau Kennis voor Klimaat
Consortium Infrastructuur en netwerken

Fotografie

Anneke Hymmen

Grafisch ontwerp

Zinnebeeld

Druk

Platform P

Foto's en illustraties

Foto's en illustraties zijn van genoemde organisaties en fotografen.
We hebben naar volledigheid gestreefd; voor opmerkingen of vragen kunt u contact opnemen met Synergos Communicatie.

© 2014 Kennis voor Klimaat

ISBN 978-94-90070-95-3

www.kennisvoorklimaat.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm op op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

duizend verbanden
het weer blaast de lichten uit
de ladder doet de rest