



9 Waterstad van de toekomst

Een Rotterdams perspectief op mondiale uitdagingen

Rutger de Graaf-van Dinther en Martine van den Boomen

Samenvatting

In Rotterdam komt het water van alle kanten en bovendien in steeds grotere hoeveelheden tegelijk. Het zeewaterpeil stijgt. Piekbuien teisteren Rotterdam en tussen de buien door wordt het droger. De temperatuur gaat omhoog en de bodem zakt. Het is essentieel dat Rotterdam deze uitdagingen het hoofd kan bieden.

Adaptieve strategieën ondersteunen de transitie naar een klimaatbestendige stad en delta, maar ook een bredere transformatie is nodig waarbij het vermogen van de maatschappij om fundamenteel te vernieuwen, centraal staat.

Onze ambitie is om met praktijkgericht onderzoek bij te dragen aan klimaatbestendige oplossingen voor de Rotterdamse Delta en aan het verbeteren, opkweken en laten doorbreken van innovaties, zodat bestaande en nieuwe oplossingen beter en sneller geïmplementeerd worden.

In ons essay schetsen we de mondiale klimaatuitdagingen waar deltasteden de komende decennia mee te maken krijgen en het antwoord van Rotterdam in de vorm van een klimaatadaptatiestrategie. Vervolgens lichten wij praktijkgericht onderzoek uit dat bijdraagt aan een klimaatbestendige stad en delta passend binnen de pijlers van de Rotterdamse adaptatiestrategie. Samen met het onderwijs werken we aan technische waterinnovaties, ruimtelijke oplossingen en veranderingsbereidheid van burgers en professionals met als doel veilig wonen, leven en werken in een vitale delta.

1. Deltasteden zijn kwetsbaar voor klimaatverandering

1.1 Mondiale ontwikkelingen

Klimaatverandering, bevolkingsgroei en verstedelijking zetten de leefbaarheid en veiligheid in kwetsbare deltasteden onder druk. De urgentie van het reduceren van klimaatverandering wordt gedemonstreerd door het Klimaatakkoord van Parijs, waarin de meest landen op de wereld overeen zijn gekomen om de temperatuurstijging door menselijk toedoen ruim onder de 2 graden te houden.

Klimaatverandering manifesteert zich in versnelde zeespiegelstijging, extremere weersomstandigheden en toenemende schade als gevolg hiervan. In deltasteden zijn de gevolgen het grootst.

Momenteel stijgt het zeewater mondiaal met 3-4 mm per jaar. Ook versnelde bodemdaling als gevolg van klimaatverandering is in vele deltasteden wereldwijd een urgent probleem. In Jakarta, Indonesië, is een bodemdaling van meer dan 10 cm per jaar niet ongebruikelijk (Abidin, Andreas, Djaja, Darmawan & Gamal, 2008). De kwetsbaarheid voor overstromingen in vele deltasteden neemt hierdoor snel toe. Maar liefst 13 van de 15 grootste steden op aarde liggen in kustgebieden die kwetsbaar zijn voor overstromingen.

De afgelopen tientallen jaren is het aantal hittegolven en het aantal gevallen van extreme neerslag sterk toegenomen (Mishra, Ganguly & Lettenmaier, 2015). Naast overstromingen en wateroverlast manifesteert klimaatverandering zich in een extra versterkte temperatuurstijging in steden, het zogenaamde 'urban heat island effect' (Huang, Li, Liu & Seto, 2019). De negatieve effecten hiervan zijn onder andere terug te zien in een verslechterde luchtkwaliteit, toenemende water- en energievraag, en een groot aantal negatieve effecten op de volksgezondheid, vooral bij sociaal kwetsbare groepen (Schar & Jendritzky, 2004). Echter, klimaatverandering heeft ook gevolgen voor infrastructuur, die zorgt voor veilig en gezond leven en werken in deltasteden. Klimaatverandering verkort de functionele en technische levensduur van veel infrastructuur. Zo kunnen bijvoorbeeld scheuren in dijken ontstaan door extreme droogte en door ongelijkmatige bodemdaling wordt de levensduur van riolen in Rotterdam bijna gehalveerd.

Klimaatverandering heeft ook grote gevolgen voor de waterbeschikbaarheid en de waterkwaliteit in steden. Bijna de helft van de 482 grootste steden in de wereld zullen in 2050 te maken krijgen met watertekort (Flörke, Schneider & McDonald, 2018). Zonder de benodigde maatregelen om klimaatverandering af te remmen en de benodigde maatregelen voor steden om zich aan te passen aan de effecten van klimaatverandering, zal in 2050 bijna de helft van het wereldwijde bruto nationaal product (BNP) en meer dan de helft van de wereldbevolking blootgesteld worden aan ernstige watertekorten (IFPRI, 2012).

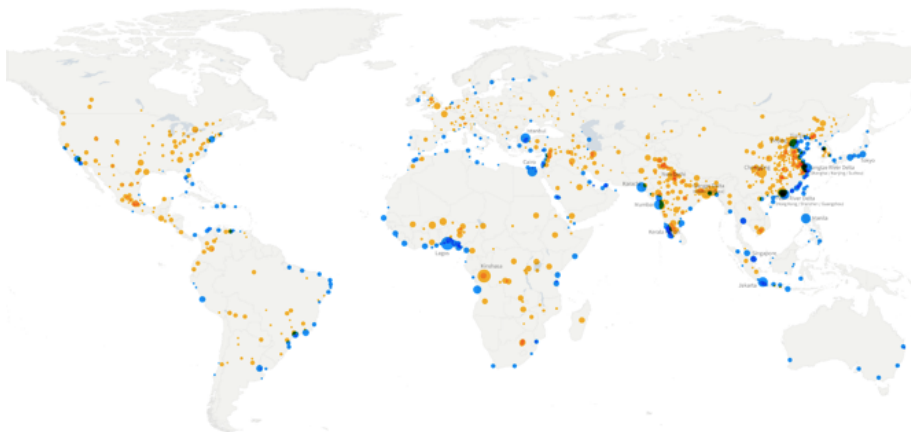
Naast klimaatverandering draagt ook de snelle afname in biodiversiteit bij aan een verhoogde kwetsbaarheid van steden. Het natuurlijke systeem dat ons economische en maatschappelijke systeem beschermt, wordt verzwakt (Cardinale et al., 2012). De kwetsbaarheid van steden wordt nog verder vergroot door hun afhankelijkheid van energie en grondstoffen. Vele moderne steden produceren in fysiek opzicht weinig anders dan afval en zijn voor hun water, energie, voedsel en grondstoffen volledig afhankelijk van landelijke gebieden. Steden beslaan 2% van het aardoppervlak, maar zijn verantwoordelijk voor twee derde van het energieverbruik en produceren meer dan 70% van alle broeikasgassen op aarde (C40, z.d.). Het duurzamer maken van steden is dus van cruciaal belang in de wereldwijde duurzaamheidstransitie. De infrastructuur van water, voedsel en energie, die deels onzichtbaar is, heeft gezorgd voor een enorme sprong in welvaart en een sterk toenemende levensverwachting, maar heeft er ook voor gezorgd dat de stadsbewoner in toenemende mate is los komen te staan van de oorsprong van deze bronnen. De gevolgen van consumptie voor de planeet wordt in steden niet direct ervaren. De stadsbewoner is hierdoor in belangrijke mate gereduceerd van burger tot consument en ook daardoor zeer kwetsbaar.

1.2 Urgentie neemt toe

De stedelijke bevolking zal tot 2050 toenemen van 3,5 naar meer dan 6 miljard inwoners (UN, 2014). Deze verstedelijking vindt vooral plaats in kustgebieden. In 2030 zal meer dan de helft van de wereldbevolking binnen een afstand van 100 kilometer van de kust wonen (Adger, Hughes, Folke, Carpenter & Rockstrom, 2005). De stedelijke bevolkingsgroei is juist extra sterk in kwetsbare deltagebieden. De totale bevolking in kwetsbare kustgebieden zal in de periode van 2000 tot 2060 verdubbelen (Neumann, Vafeidis, Zimmermann & Nicholls, 2015). Naar schatting zal de jaarlijkse schade door overstromingen in kuststeden wereldwijd toenemen van 6 miljard US dollar per jaar op dit

moment naar 52 miljard US dollar per jaar in 2050, hierbij gaat het om aan socio-economische schade aan gebouwen, infrastructuur en de bevolking (Hallegatte, Green, Nicholls & Corfee-Morlot, 2013).

Meer dan de helft van het bruikbare landoppervlak op de wereld wordt al gebruikt voor voedselproductie. Een afname zit er de komende decennia waarschijnlijk niet in. De druk op de schaarse ruimte creëert nu al veel spanning tussen natuurbehoud, voedselvoorziening, productie van biobrandstoffen, en niet te vergeten, de snelgroeiende steden. Het totale wereldwijde ruimtetekort in 2050 ten gevolge van deze processen wordt in recent onderzoek geschat op 1,3 tot 3,9 miljard hectare (Roeffen, Dal Bo Zanon, Czapiewska & De Graaf, 2013). Dit is vergelijkbaar met het totale landoppervlak van Noord-Amerika (2,4 miljard hectare).



Figuur 1: Wereldkaart met snelgroeiende stedelijke gebieden (oranje) en snelgroeiende stedelijke gebieden met hoog overstromingsrisico (blauw).

Bron: Dal Bo Zanon et al.(2020)

2. Ook de Rotterdamse delta is kwetsbaar

Rotterdam is een deltametropool met een wereldhaven, en een van de blauwe stippen in figuur 1. Ook Rotterdam ondervindt de geschetste mondiale gevolgen van klimaatverandering.

In Rotterdam daalt de bodem momenteel tot ongeveer een centimeter per jaar. Bodemdaling is een serieus probleem en dit gaat sneller dan

de zeespiegelstijging. Het verwachte effect van bodemdaling in 2100 is volgens Deltares vergelijkbaar met een halve meter zeespiegelstijging. De bodem daalt maar het water van buiten stijgt ook, in de rivier en in de zee. De Deltacommissaris waarschuwt dat Nederland in de toekomst rekening moeten houden met een meter zeespiegelstijging en benadrukt dat dit wel eens meer kan worden. Deze ontwikkelingen maken dat goed moet worden nagedacht over de stormvloedkeringen en dijken die Nederland en de Rotterdamse delta beschermen. Dijkverhoging is onvermijdelijk en dit gaat extra beslag op de ruimte leggen.

In onze dichtbevolkte delta wordt het steeds lastiger om conflicterende functies met elkaar te combineren. Woningbouw, infrastructuur, logistiek, landbouw, natuur en waterveiligheid doen allemaal een beroep op dezelfde vierkante meters. Tegelijkertijd staan ons land en zeeoppervlak ruimtelijk onder druk door de benodigde energietransitie.

Rotterdam ondervindt ook al de gevolgen van extremere neerslag en hitte. De laatste jaren komt Rotterdam veel in het nieuws vanwege wateroverlast. 12% van de woningen heeft hier op dit moment mee te maken. De singels kunnen de piekbuien niet aan en ook de riolen kunnen al dit water niet afvoeren.

Extreme hitte heeft gevolgen voor de stad. De waterkwaliteit verslechtert, de leefbaarheid gaat achteruit, de stedelijke biotoop verandert en ook de infrastructuur merkt de gevolgen. Steeds vaker moeten beweegbare bruggen gekoeld worden op hete zomerdagen om te voorkomen dat ze vast komen te zitten en Rotterdam niet meer bereikbaar is. Langere periodes van droogte leiden tot daling van de grondwaterstand waardoor in Rotterdam problemen ontstaan met funderingen van huizen en van infrastructuur.

De grote onzekerheid over klimaatverandering en de effecten ervan, benadrukken het belang van onderzoek. Inzicht in de effecten van klimaatverandering is essentieel om goede ruimtelijke keuzes te maken voor de leefbaarheid en waterveiligheid op lange termijn.

3. Adaptatiestrategieën in Rotterdam

Rotterdam ligt voor een belangrijk deel onder de zeespiegel en kent daarnaast ook een aanzienlijk kunstmatig opgehoogd buitendijks gebied. Vanwege de ligging van de stad in een kwetsbare delta is het watervraagstuk zeer relevant om in de toekomst de leefkwaliteit van de stad te kunnen waarborgen.



Figuur 2: Rotterdam, havenstad in een laaggelegen delta (Foto: Gerhard van Roon van Kunst en Vliegwerk)

De afgelopen 20 jaar werd in Rotterdam steeds nadrukkelijker de link gelegd tussen watermanagement en klimaatadaptatie voor een aantrekkelijke stad voor bewoners en ondernemers. Dit komt onder andere sterk naar voren in plannen, zoals Waterplan 1 (2001), Rotterdam Waterstad 2035 (gepubliceerd in 2005), Waterplan 2 (2007), de Rotterdamse Adaptatiestrategie (2013) en in de uitvoeringsagenda Rotterdams Weerwoord (2019), waarin burgers en lokale gemeenschappen betrokken worden bij de adaptatieopgave. Binnen de adaptatiestrategie wordt door gemeente Rotterdam ingezet op de transformatie van Rotterdam naar een 100% klimaat-robuuste stad in 2025. Water speelt hierin een belangrijke rol.

In Rotterdam zijn al verschillende klimaatbestendige watergerelateerde projecten gerealiseerd. Op het gebied van drijvend bouwen zijn onder andere de Floating Farm, de drijvende woningen in de Nassauhaven en het Drijvend Paviljoen (figuur 3), eerste stappen op weg naar grootschalige drijvende verstedelijking. Daarnaast werden gerealiseerd: het grootste dakpark van Europa, meer dan 400.000 m² aan groene daken, de Dakkokers als eerste multifunctionele daktuin, en waterpleinen die inmiddels ook internationaal navolging hebben gekregen, onder andere in Surat, India. Ook zijn er meerdere initiatieven om water te bergen gerealiseerd, zoals de ondergrondse waterberging onder de Museumparkgarage en het Sparta-stadion.

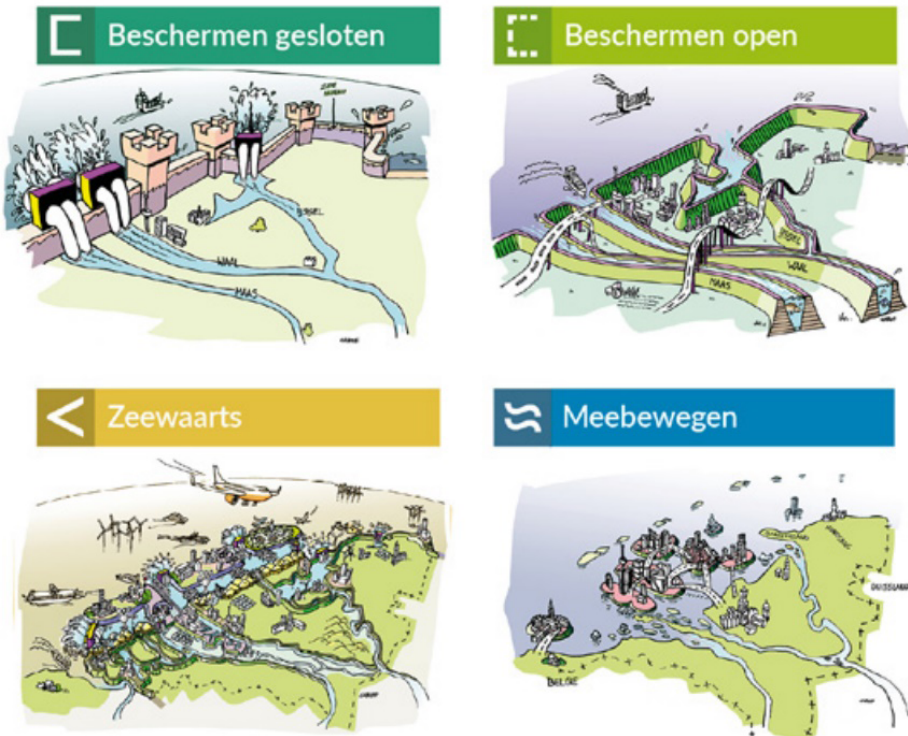


Figuur 3: Het Drijvend Paviljoen in Rotterdam; internationaal voorbeeld van klimaatadaptatie in buitendijks gebied (foto René de Wit)

Maar de huidige maatregelen zijn niet voldoende. Om in 2050 het water in Rotterdam op te vangen, is naar verwachting 30% meer opvangcapaciteit nodig dan Rotterdam nu heeft. Ook de stormvloedkeringen en dijken moeten worden versterkt om Rotterdam te beschermen tegen overstromingen.

De Rotterdamse delta is onderdeel van het nationale Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma worden dijkversterkingen geïnitieerd, in samenhang met andere maatregelen, zoals ruimte maken voor de rivier waar dat kan en zorgen dat bij overstromingen mensen het gebied snel kunnen verlaten. Ook wordt onderzocht hoe de stormvloedkeringen optimaal kunnen blijven presteren bij stijgend zeewater. Het heeft weinig verbeelding nodig om te begrijpen dat dit een ingewikkeld samenspel is van maatregelen in een onzekere toekomst. De hoogte van de dijken die Rotterdam beschermen, is bijvoorbeeld afgestemd op de veiligheid die de Maeslantkering biedt. De veiligheid van de Maeslantkering wordt in sterke mate beïnvloed door de snelheid van de zeespiegelstijging. Om met dit soort onzekerheden om te gaan, zijn er scenario's ontwikkeld en adaptieve paden met 'tipping points' waar strategieën kunnen wijzigen. Een tipping point is bijvoorbeeld de zee­water­stand. Omdat de zeespiegelstijging wel eens sneller kan verlopen dan tot voor kort werd aangenomen, heeft Deltares in opdracht van de Deltacommissaris nieuwe verkenningen uitgevoerd voor vier scenario's (figuur 4) die realiteit kunnen worden bij versnelde zeespiegelstijging (Deltares, 2019).

Nieuwe adaptatiestrategieën variëren van meebewegen met het zeewater tot geheel afsluiten van de delta. Dit illustreert dat besluitvorming onder onzekerheid steeds belangrijker wordt en klimaatadaptatiestrategieën zelf ook adaptief moeten zijn.



Figuur 4: Oplossingsrichtingen voor adaptatie aan grote zeespiegelstijging voor de Nederlandse delta (Bron: Deltares, copyright Beeldleveranciers-Carof)

Ook stedelijke waterinfrastructuur is een belangrijk thema in de klimaatadaptatiestrategieën van Rotterdam. Want zonder infrastructuur valt de economie stil en worden steden onleefbaar. Basis op orde, adaptatie en meekoppelen met ruimtelijke ontwikkelingen zijn hier de speerpunten.

Binnen internationale samenwerkingsverbanden van steden loopt Rotterdam voorop op het gebied van klimaatadaptatie. Voorbeelden van dergelijke verbanden zijn: de C40 Cities Climate Leadership Group en het Rockefeller-initiatief 100 Resilient Cities, dat onlangs is opgegaan in het Global Resilient Cities Network, en de Resilient Cities Catalyst.

4. Adaptatie is niet genoeg, ook transformatie is nodig

Adaptiestrategieën zijn essentieel maar in toenemende mate wordt erkend dat adaptatie niet voldoende zal zijn als antwoord op de wereldwijde klimaatcrisis (Kates, Travis & Wilbanks, 2012). In aanvulling op klimaatadaptatie is diepe transformatie nodig. In deze context is transformatie gerelateerd aan de capaciteit van de maatschappij om zichzelf fundamenteel te vernieuwen met het oog op catastrofale toekomstige ontwikkelingen zoals de door menselijk handelen veroorzaakte effecten van klimaatverandering (De Graaf-van Dinther & Ovink, 2020). Hierbij gaat het om een proactieve transformatie van het stedelijk systeem waar water een onderdeel van is, maar ook andere gerelateerde sectoren zoals de bouw, transport en energie. Vertaald naar Rotterdam betekent dit een transitie naar een veerkrachtige en aantrekkelijke deltastad die een positieve relatie heeft met de ecologische systemen waar wij allen afhankelijk van zijn. Dit transitieproces dient gestoeld te zijn op participatie van en co-creatie met bewoners, experts en andere belanghebbenden.

4.1 Rol van innovatie

Om daadwerkelijk Rotterdam te transformeren tot een waterbestendige, aantrekkelijke en duurzame deltastad is innovatie nodig. Dit standpunt komt voort uit de erkenning dat de huidige technieken en de huidige watermanagement- en bouwpraktijk niet vanzelfsprekend zullen leiden tot de gewenste transformatie. Innovaties zijn echter pas geslaagd als ze zijn doorgebroken tot de standaardpraktijk en dus niet meer als innovatie worden gezien. Nu blijven innovaties vaak steken als innovatief nicheproject met weinig invloed op de rest van het systeem. Het verbeteren, opkweken en laten doorbreken van innovaties kan daarom een belangrijke bijdrage van Hogeschool Rotterdam zijn. Dit is nog belangrijker dan het ontwikkelen van nieuwe innovaties. Er zijn immers al vele betrouwbare technieken beschikbaar die kunnen bijdragen aan een duurzame en waterbestendige stad. Maar deze technieken worden nog weinig toegepast. Maatschappelijke innovatie vraagt daarom om een continu proces van evalueren, verbeteren en toepassen van innovaties. Het koppelen van dit proces aan ondernemerschap en businesscases is vervolgens essentieel om maatschappelijke en economische impact te kunnen hebben. In beide processen kan Hogeschool Rotterdam een sleutelrol spelen en zich onderscheiden van andere instellingen op het gebied van hoger onderwijs.

4.2 Rol van burgers

De overheid treedt steeds verder terug en laat meer ruimte voor initiatieven vanuit de markt en particuliere initiatieven. Innovatie moet een-op-een bijdragen aan kostenreductie. Innovatiebudgetten zullen afnemen. De potentie van de particuliere markt wordt nog onvoldoende benut. In Nederland is ondanks de economische omstandigheden een sterke toename te zien van collectief particulier opdrachtgeverschap. Dit is een organisatievorm waarbij burgers zich verenigen en samen de rol van projectontwikkelaar op zich nemen. Burgers ontwerpen met hulp van een ontwerper zelf hun woning en vaak ook de omliggende openbare ruimte. Ook starten bewoners steeds vaker zelf lokale energiebedrijven en ontplooien zij initiatieven op het gebied van duurzame voedselvoorziening en stadslandbouw. Door gezamenlijk op te treden als projectontwikkelaar ontstaat sociale cohesie en betrokkenheid bij de leefomgeving. Daarnaast leiden individuele wensen en particulier opdrachtgeverschap tot een grote mate van ruimtelijke diversiteit en flexibiliteit die een aanzienlijke verbetering biedt ten opzichte van de eenvormigheid van vele wijken die de afgelopen jaren door commerciële projectontwikkelaars zijn gerealiseerd.

4.3 Rol van ondernemers

Water en Maritiem is door het kabinet uitgekozen als een van de topsectoren van Nederland. Deze keuze is niet meer dan logisch gezien onze historie en onze kennis op het gebied van water. Daarnaast maken mondiale ontwikkelingen als klimaatverandering en verstedelijking de Nederlandse waterexpertise meer dan ooit relevant. Nieuwe bedrijven spelen over het algemeen een belangrijke rol bij de autonome groei van een sector. Gevestigde bedrijven kunnen ook groeien, maar doen dit vooral door fusies en overnames. Daarom is het essentieel dat er nieuwe verdienmodellen worden ontwikkeld en er meer bedrijvigheid ontstaat op de gebieden watermanagement en adaptief bouwen.

4.4 Rol van de overheid

Om klimaatverandering en de effecten ervan tegen te gaan, zal ook de rol van de overheid moeten innoveren of transformeren. De huidige segmentatie van het eigenaarschap en van het onderhoud en beheer van watergerelateerde infrastructuur tussen de gemeente Rotterdam, de waterschappen, de Provincie

en Rijkswaterstaat kent het risico van suboptimalisatie. De samenhang tussen infrastructuur en de overkoepelende doelstellingen voor leefbaarheid, economische welvaart en veiligheid vragen om vergaande samenwerking over de grenzen van organisaties heen. Het Hoogwaterbeschermingsprogramma waarin Rijkswaterstaat en waterschappen samen optrekken, is hier een voorbeeld van.

5. Onderzoek dat bijdraagt aan adaptatie en transformatie

In de onderzoekslijn Water van het kenniscentrum Duurzame HavenStad maken drie lectoren zich sterk voor concrete en toekomstbestendige oplossingen voor waterveiligheid, wateroverlast en waterkwaliteit in de Rotterdamse delta. Dit zijn oplossingen die passen bij alle levensduurfases: van weten hoe het ervoor staat en besluitvormig, tot daadwerkelijk ontwerpen, implementeren en duurzaam in stand houden. Het gaat over de optimalisatie van het bestaande socio-technische watersysteem, maar ook over het ontwikkelen van vernieuwende concepten en systeeminnovaties, en over het ontwikkelen van nieuwe sensoren en detectiesystemen voor realtime monitoring van waterkwaliteit en snelle detectie van waterdreigingen.

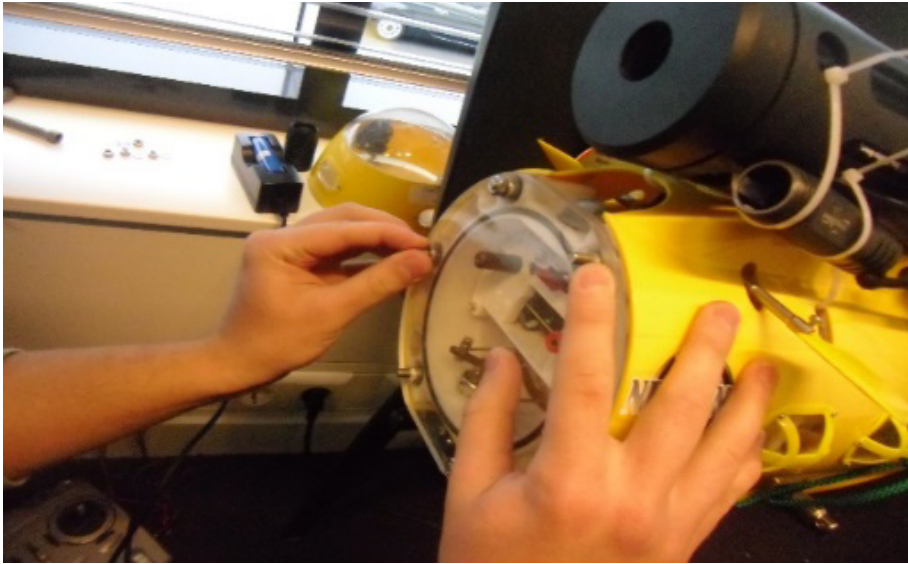
5.1 Innovatieve monitoring

Omdat een groot deel van de waterinfrastructuur er al tientallen jaren ligt, biedt het verbeteren van kennis over het watersysteem met behulp van inzet van nieuwe technologie grote mogelijkheden. Nieuwe technologische ontwikkelingen in (duurzame) materialen, sensoren, informatietechnologie en beheersystemen bieden kansen en nieuwe mogelijkheden om knelpunten in het watersysteem aan te pakken. Deze innovaties zijn vaak buiten de watersector ontwikkeld maar bieden kansrijke mogelijkheden voor duurzaamheids- en efficiencyverbeteringen van het watersysteem. Daarom wordt binnen dit onderzoeksthema interdisciplinair samengewerkt en zal dus nadrukkelijk ook gekeken worden naar systemen en oplossingen die in andere onderzoeksvelden worden gebruikt. Nieuwe technologie maakt betere inzameling van data met betrekking tot het watersysteem en civiele infrastructuur mogelijk. Hiermee kan de systeemkennis worden verbeterd, beheer- en onderhoudsstrategieën worden geoptimaliseerd en kosten worden bespaard.

Een voorbeeld van onderzoek op het gebied van innovatieve monitoring is de ontwikkeling van sensoren en onderwaterdrones (Indymo, Hogeschool Rotterdam, Van Hall Larenstein & ROM3D, 2018). Toegepast onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid van de toepassing van onderwaterdrones in de watersector is gericht op de inzet van drones voor de verzameling van data binnen de volgende toepassingsvelden:

- waterkwaliteit, zoals monitoring van zuurstofgehalte, nutriënten en hoofdparameters als geleidbaarheid en temperatuur (in diverse wateren met omstandigheden als kwel en verzilting);
- aquatische ecologie, waaronder monitoring van effectiviteit van maatregelen als natuurvriendelijke oevers en vispassages;
- monitoring van Building with Nature-projecten;
- inspecties en handhaving van vuilwaterlozingen en riool-overstorten;
- inschatting van gewenst beheer en onderhoud van civieltechnische constructies zoals sluizen en kademuuren;
- monitoring van erosie en sedimentatie, bagger en slibophoping in watergangen;
- inspecties van maritieme objecten, zoals aangroei en fouling op schepen.

De eerste stappen zijn gezet op weg naar een autonome onderwaterdrone voor monitoring in de watersector. De drone zal zelfstandig in staat zijn waterkwaliteits- en kwantiteitsdata te verzamelen en deze wireless te sturen naar een control board van de waterbeheerder. De in te zamelen data bestaan uit fysische en chemische parameters (o.a. zuurstofgehalte, nutriënten en hoofdparameters). Maar ze leveren ook HD-videobeelden voor onderzoek op het gebied voor ecologie en onderhoud. Een dergelijke drone zal daarnaast zelfstandig in staat moeten zijn om aandachtsgebieden te herkennen (bijvoorbeeld hoge concentraties bij lozingen) en uit zichzelf nader onderzoek te verrichten naar verspreiding van stoffen en/of naar de lozingsbron. De drone zal terugkeren naar een docking station om automatisch de batterijen op te laden en/of sensoren te verwisselen.



Figuur 5. Onderwaterdrone voor de watersector (boven). Deze wordt onder andere ingezet bij inspectie van sluisen (onder)

5.2 Op weg naar de infiltrerende stad

Als gevolg van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie, dat eind september 2017 is gepresenteerd in Den Haag, moeten alle gemeenten vanaf 2020 bij herinrichting rekening houden met de klimaatveranderingen en de stad klimaatbestendig inrichten. Met het deltaplan moet Nederland zo goed mogelijk worden voorbereid op de gevolgen van klimaatverandering (Ekker, 2017).

Een van de manieren om klimaatbestendiger te worden, is ervoor te zorgen dat meer regenwater in de bodem infiltreert en minder hoeft te worden afgevoerd via het rioolstelsel. Dit beperkt problemen als wateroverlast, hitte en verdroging. Dit was reden voor Hogeschool Rotterdam om samen met een tweetal andere hogescholen, mkb-ondernemers en een aantal overheden infiltrerende verharding te onderzoeken in het RAAK-MKB-project De Infiltrerende Stad (Hogeschool Rotterdam, 2018). Enige jaren geleden hebben we in Nederland daarom voor het stedelijke waterbeheer ingezet op het meer infiltreren van regenwater in de bodem in plaats van het afvoeren van regenwater naar het rioolstelsel. Dit heeft voordelen als minder wateroverlast en minder belasting van de riolerings-, zuiverings- en oppervlaktewatersystemen, en bovendien gaat het verdroging tegen (Kluck et al., 2016). In diverse gemeenten zijn dan ook infiltrerende verhardingen aangelegd als alternatief voor een regenwaterriool, om het regenwater vast te houden, te bergen en daarna pas af te voeren.

Door de opkomst van doorlatende verharding heeft de afgelopen tien jaar een groot aantal mkb-ondernemingen zich toegelegd op het aanbieden van infiltrerende verhardingen. Door problemen met de afname van infiltratiecapaciteit en door onduidelijkheid over beheer en onderhoud, zakt de markt momenteel in. Vele gemeenten besluiten na enkele praktijkmetingen de aanleg van doorlatende verharding sterk te verminderen of hiermee geheel te stoppen. Dit is echter vaak gebaseerd op een beperkt aantal (onnauwkeurige) metingen en zonder onderscheid tussen de verschillende soorten infiltrerende verharding en innovaties. Hierover hebben de hogescholen Groningen en Rotterdam samen met de gemeente Rotterdam een (veel gelezen) artikel in H2O geschreven, waar veel gemeenten en mkb'ers zich in herkennen (Boogaard, Heikoop, Van de Sandt, Den Oudendammer & Oostra, 2018).



Figuur 6: Praktijkgericht onderzoek naar infiltrerende verharding levert de kennis op die nodig is voor de transformatie naar klimaatbestendige steden. (Bron: ClimateScan)

5.3 Veilige waterkeringen voor de Rotterdamse delta

Waterkeringen moeten de Rotterdamse delta blijven beschermen tegen overstromingen. De waterkeringen van de waterschappen en Rijkswaterstaat vormen een samenhangend systeem. Zo hebben de sluitvraag en faalkans van de Maeslantkering een direct verband met hoe hoog de achterliggende dijken moeten zijn, dit in combinatie met zeespiegelstijging en bodemdaling. Dit jaar is onderzoek gestart dat zich richt op de samenhangende langetermijn-besluitvorming over instandhouding, versterking en vervanging van dijktrajecten en (onderdelen van) de Maeslantkering.

Klimaatverandering, bodemdaling en ook veroudering leiden tot veel onzekerheid over het toekomstig functioneren van de waterkeringen, met name over de intensiteit van onderhoud en over het moment waarop versterken of vervangen nodig is. Deze onzekerheid kan worden verkleind door het toepassen van voorspellend onderhoud oftewel 'predictive maintenance'.

Door frequent te monitoren ontstaat een goed beeld van de staat van de waterkeringen en kunnen restlevensduren beter worden voorspeld. Deze informatie voedt dan weer de integrale besluitvorming op systeemniveau vanuit een levensduurbenadering.

Predictive maintenance en de doorwerking daarvan in integrale assetmanagement-besluitvorming zijn geen gelopen race. Monitoringstechnieken waaronder sensing zijn niet nieuw, maar de toepassing in de praktijk blijft vooralsnog beperkt tot pilots en de doorvertaling naar langeretermijn-besluitvorming is onontgonnen terrein. Wel is er een collectieve ambitie om deze slag te maken, zoals blijkt uit strategische doelstellingen van Kennis- en innovatieagenda's, het Deltaplan en het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

Het onderzoek heeft als doel om vanuit praktijkgericht onderzoek tot handreikingen te komen voor predictive maintenance en de doorvertaling naar integrale assetmanagement-besluitvorming voor waterkeringen, via leren door te doen. Dit geeft antwoord op concrete praktijkvragen van de dijkbeheerders en Rijkswaterstaat. Tegelijkertijd worden de stappen methodisch vastgelegd en ontwikkelen we een generieke aanpak voor het opzetten van een effectieve monitoringsstrategie, het uitvoeren van data-analyse, het inrichten van predictive maintenance en het doorvertalen daarvan naar integrale assetmanagement-besluitvorming. Door het disciplineoverstijgende karakter van deze onderzoeksvraag en de brede inzet van docent-onderzoekers en studenten wordt bijgedragen aan het opleiden van multidisciplinaire professionals en vernieuwing van het onderwijs.

5.4 Technologie van drijvend bouwen biedt nieuwe mogelijkheden

Drijvend bouwen maakt het mogelijk om het ruimtetekort op klimaatbestendige wijze aan te pakken. De afgelopen 20 jaar zijn al veel projecten gerealiseerd, onder andere in Amsterdam, Rotterdam, Delft, Woerden, Dordrecht, Lelystad, Leeuwarden en Utrecht. Aan de volgende stap wordt gewerkt. Vanuit technisch oogpunt blijft de Noordzee een zeer uitdagende omgeving voor drijvend bouwen, vanwege de hoge golfbelastingen in een storm. Een beschermende golfbreker met daarachter flexibel in te richten drijvende modules kan een uitkomst bieden om drijvende gebieden te ontwikkelen die in balans zijn met de natuurlijke omgeving. De configuratie kan in de tijd aangepast worden als de behoeftes van de activiteiten op zee veranderen. Zo kunnen de polders van

de toekomst, die drijven op zout water, ook makkelijk weer teruggeven worden aan de natuur. Drijvend bouwen biedt ook een unieke kans om in te spelen op talloze onzekerheden die op onze maatschappij afkomen, zoals over de effecten van klimaatverandering en over de snelheid van de zeespiegelstijging. Drijvende bouwwerken op zee passen zich vanzelf aan en kunnen ook bijdragen aan het beschermen van de kust tegen golfslag. Dit is van belang voor de morfologische ontwikkeling van de kust en kan de grote behoefte aan zandsuppleties om zeespiegelstijging bij te houden, verminderen. Drijvende bouwen is ook flexibel, verplaatsbaar en modulair aanpasbaar. Hierdoor is het eenvoudiger om in te spelen op onzekere prognoses op het gebied van onder andere vliegverkeer en de behoefte aan woon-werkruimte. Nieuwe ontwikkelingen, zoals aquacultuur en drijvende kweek van algen en zeewier, kunnen ook relatief eenvoudig ingepast worden.

Het realiseren van drijvende zelfvoorzienende steden in kwetsbare deltagebieden biedt een belangrijke kans om de zwakke punten van huidige steden aan te pakken. Drijvende steden zijn technisch haalbaar en kunnen toekomstige zeespiegelstijging eenvoudig opvangen. In deltagebieden is ruimte op het land schaars, maar wateroppervlak is volop beschikbaar. Omdat drijvende steden niet eenvoudig aan grootschalige netwerken van water- en energievoorziening gekoppeld kunnen worden, zullen lokale duurzame technieken voor water- en energievoorziening worden toegepast. De groeiende markt die zo ontstaat voor deze technieken, maakt het voor innovatieve bedrijven lonend om te investeren in onderzoek en ontwikkeling. Dit zal leiden tot verbetering en lagere kosten voor water- en energie-innovaties, waardoor zij ook op het land concurrerend zullen worden met de huidige infrastructuur. Op deze manier helpen drijvende steden de huidige steden op het land in hun transformatie naar duurzaamheid. De markt die hierdoor wordt gecreëerd voor innovatieve bedrijven, kan een aanzienlijke economische impact hebben. Daarnaast zal het leiden tot een grote kostenbesparing voor de overheid, doordat zij bepaalde taken niet meer hoeft te vervullen.

Het maken van land uit water is een eeuwenoude Nederlandse traditie. In de middeleeuwen begon dit met het graven van slotjes en het aanleggen van dijken en terpen. Daarna volgden de windmolens en nog later de stoomgemalen. Landaanwinning (het maken van nieuwe polders) en stormvloedkeringen zijn de meest recente aanwinsten in de Nederlandse deltatechnologie. Drijvende ontwikkelingen zijn de logische volgende stap in deze Nederlandse traditie, die zich beweegt van Vechten tegen Water, via

Leven met Water naar Leven op Water. Bij deze stap is het belangrijk om ook de ecologische aspecten op de lange termijn mee te nemen.

De techniek voor de drijvende demonstratie-eilanden wordt een uniek Nederlands exportproduct voor laaggelegen dichtbevolkte deltagebieden wereldwijd. Daarnaast vormen de eilanden een uniek platform en 'living lab' voor onderzoek en kennisontwikkeling (Netherlands Institute for Sea Research, z.d.). Naast het ontwikkelen van technologische kennis zal door middel van 'action research' inzicht worden opgebouwd in de sociale en ecologische impact van dit project. Action research heeft als uitgangspunt dat bepaalde kennis alleen te ontwikkelen is door het daadwerkelijk in de praktijk te brengen. De drijvende eilanden zijn een zeer geschikte proeftuin voor nieuwe technieken op het gebied van IT, sensing, high tech materials en biotechnologie.



Figuur 7: Woningbouweiland, ontworpen door Blue21: een ecologische leefomgeving met duizend woningen in symbiose met de natuur op de Markerwadden (Bron: Blue21)

6. Verbinding met onderwijs

Toegepast onderzoek om bij te dragen aan de transformatie naar klimaatbestendige deltasteden, kan alleen plaatsvinden in nauwe samenwerking met het onderwijs en de beroepspraktijk. Resultaten van praktijkgericht onderzoek dienen hun weg te vinden naar het onderwijs en hiermee een bijdrage te leveren aan innovatie in het onderwijs en het opleiden van de beroepsprofessional van de toekomst.

De beschreven onderzoeksthema's bieden een transdisciplinaire leeromgeving voor meerdere opleidingen van Hogeschool Rotterdam. Hierdoor ontstaan crossovers tussen de verschillende curricula van relevante opleidingen. Zo kunnen studenten van de opleidingen Informatica, Elektrotechniek en Chemie meedenken over het meten en de ontwikkeling van meetmethoden en data-analyse in de watersector. Voor het uitvoeren van toegepast onderzoek in waterinfrastructuur ligt een belangrijke taak voor studenten van opleidingen als Watermanagement, Build Environment, Civiele Techniek en Ruimtelijke Ordening en Planologie. De onderzoeksvragen die een verbinding leggen met operationele en strategische besluitvorming over waterinfrastructuur en -systemen zijn goed belegd bij de opleidingen Engineering Logistics, Technische bedrijfskunde, Watermanagement en de AD Engineering and Maintenance & Mechanics.

Ook liggen er inhoudelijke koppelingen met minoren, diverse modules en stages en afstudeerprojecten. Bijvoorbeeld in het keuzevak Dijkmonitoring, waar studenten monitoringsstrategieën voor dijken ontwikkelen in opdracht van een waterschap. Dit gaat samen met praktijkgericht onderzoek naar faalmechanismen bij dijken.

Afstudeerders vinden hun weg naar de stormvloedkeringen en werken aan faalkansreductie, het identificeren van faalkansreducerende maatregelen en het verbeteren van onderhoud. Ook kijken afstudeerders naar de relatie tussen de faalkans van de Maeslantkering en de eisen die aan de hoogte van de achterliggende dijken worden gesteld.

In Praktijk Integratie Projecten werken studenten van Civiele Techniek en Watermanagement aan ruimtelijke langetermijn-inrichtingsvraagstukken voor een veilige delta (hoogwaterveiligheid).

Daarnaast ligt er een koppeling met het CoE RDM, vooral in het thema Resilience, en de TechCOPs Hoogwaterveiligheid en Data Engineering.

In 2020 verwelkomde Hogeschool Rotterdam voor het eerst studenten van de nieuwe master River Delta Development, een gezamenlijk initiatief van Hogeschool Zeeland, Van Hal Larenstein en Hogeschool Rotterdam. Deze opleiding heeft tot doel studenten op te leiden tot verandermanagers die de benodigde transitie van delta's in gang kunnen zetten en begeleiden. Rotterdam heeft hiervoor drie living labs ingericht (Permeable City, Asset Management en Neighbourhood Passports), waarin studenten aan klimaatbestendige onderzoeksvragen werken die direct bijdragen aan de beroepspraktijk en het lopende onderzoek. Studenten werken bijvoorbeeld aan klimaatbestendige strategieën voor de stad Rotterdam, data-analyse & predictive maintenance voor de Maeslantkering en aan ontwikkelstrategieën voor de transitie van de Rotterdamse haven.

Op deze wijze dragen we met praktijkgericht onderzoek bij aan het opleiden van onze toekomstige professionals. Met ons onderzoek vormen wij een verbindende schakel tussen studenten, docenten en onderzoekers, de maatschappij en burgers, bedrijven en onderzoeksinstituten en overheden.

7. Opleiden voor de toekomst

Het mag duidelijk zijn dat de uitdagingen waar Rotterdam de komende decennia voor staat, niet vanuit een eenzijdig perspectief kunnen worden opgelost. Een rode draad is het multidisciplinaire karakter van deze uitdagingen. In het Engels gebruiken we daar de term 'wicked problems' voor. We refereren dan aan uitdagingen die zeer complex en moeilijk oplosbaar zijn vanwege de omvang, grote onzekerheden, de hoeveelheid (conflicterende) belangen en de hoeveelheid oplossingsrichtingen. Onze studenten zullen in een veel complexere omgeving moeten werken dan wij indertijd en zullen hiervoor moeten worden opgeleid.

Studenten moeten ogenschijnlijke tegenstrijdigheden kunnen verenigen, zoals een balans vinden tussen robuuste en flexibele maatregelen; tussen onzekerheid expliciet maken en onzekerheid verkleinen; tussen externe onzekerheden en modelonzekerheden; tussen beschermen en meebewegen of juist terugtrekken; tussen strategie en operatie; tussen korte termijn en lange termijn; tussen actuele prijzen en schaduw prijzen; tussen economische

belangen en duurzaamheid; tussen veiligheid en risico. Naast kennis op een eigen specialisme zal de student van de toekomst voldoende moeten weten van andere domeinen, om multidisciplinair te kunnen werken.

In het onderwijs kunnen de uitdagingen die wij hebben geschetst dan ook niet vanuit één opleiding worden benaderd. Alle disciplines zijn nodig, van sensing tot lange-termijn-ruimtelijke-inrichting, en van faalkansanalyses en constructieve berekeningen tot co-creatie met stakeholders. Voor de ontwikkeling van het onderwijs voorzien wij een aantal overkoepelende thema's waarbij onderwijs, onderzoek en communities of practices samen optrekken, over de grenzen van opleidingen, lectoraten en beroepssectoren heen. Door gezamenlijk aan praktijkgerichte (onderzoeks)projecten te werken, leren we multidisciplinair werken en komen we tot innovaties en tegelijkertijd tot vernieuwing van onderwijs en onderzoek.

De thema's richten zich voor de beschreven uitdagingen op Resilient Delta's, Klimaatbestendige steden en Duurzaamheid. Daarin verbinden we een veelheid aan disciplines (kennisdomeinen), zoals klimaatbestendig watermanagement, circulariteit, duurzame energie, sensing, data science, assetmanagement & predictive maintenance, hoogwaterveiligheid, urban climate scan, besluitvorming onder onzekerheid (reële optieanalyse), servicelogistiek, bedrijfskunde, faalkansanalyses en constructieve berekeningen.

We trekken al gezamenlijk op in de driehoek van praktijk, onderwijs en onderzoek, en wij pleiten ervoor om dit in de toekomst nog veel meer te gaan doen. Met praktijkgericht onderzoek willen we op deze wijze expliciet bijdragen aan het opleiden van onze toekomstige professionals. Dit doen we door een onderzoeksomgeving te bieden waarin multidisciplinair werken centraal staat en we vanuit verschillende disciplines werken aan de overkoepelende vraagstukken. Ook vinden wij het belangrijk om onze onderzoeksomgeving een vrijplaats van experimenten en creativiteit te laten zijn. Docenten en studenten kunnen experimenteren in een veilige omgeving. Want wij geloven dat daaruit de mooiste innovaties voortkomen.



Figuur 8: Een voorbeeld van praktijkgericht onderzoek. Studenten onderzoeken met zelfgebouwde bemonsteringsapparatuur de microplastics in het Haringvliet, in het najaar van 2018. (Foto: Tijmen Oudendammer)

Literatuur

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Djaja, R., Darmawan, D. & Gamal, M. (2008). Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. *GPS Solut* (2008) 12:23–32.
- Adger, W.N., Hughes, T.P., Folke, C., Carpenter, S.R. & Rockstrom, J. (2005). Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters, *Science*, 309, 1036–1039.
- Boogaard, F., Heikoop, R., Sandt K. van de, Oudendammer T. den & Oostra A. (2018). Internationale city climatescan Rotterdam, onderzoeksresultaten klimaatadaptatie: infiltratie in het stedelijk gebied. *H2O*
- C40 (z.d.). Why Cities? https://www.c40.org/why_cities
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67 (2012). <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Dal Bo Zanon, B., Roeffen, B., Czapiewska, K.M. & Graaf-Van Dinther, R.E. de (2020). *Potential of Floating Urban Development for Coastal Cities: Analysis of Flood Risk and Population Growth*. WCFS Proceedings 2019
- Deltares (2019). Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging. Een verkenning. http://publications.deltares.nl/11203724_004.pdf
- Ekker, H. (2017). Klimaat-stresstest voor alle Nederlandse gemeenten. <https://nos.nl/artikel/2193772-klimaat-stresstest-voor-alle-nederlandse-gemeenten.html>
- Flörke, M., Schneider, C. & McDonald, R.I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability* 1, 51.8 doi:10.1038/s41893-017-0006-8
- Graaf-van Dinther, R.E. de & Ovink, H. (2020) *The Five Pillars of Climate Resilience*. In: *De Graaf-van Dinther, R.E. Climate Resilient Urban Areas. Technology, governance and development in Coastal Delta Cities*. Palgrave MacMillan. London, UK. <https://www.youtube.com/watch?v=z4O27toYEcQ>
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change* 3(9):802–806
- Hogeschool Rotterdam (2018). De Infiltrerende Stad. <https://www.hogeschoolrotterdam.nl/onderzoek/projecten-en-publicaties/duurzame-havenstad/Water/Infiltrerendestad/projectbeschrijving/#flex>
- Huang, K., Li, X., Liu, X. & Seto, K.C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050, *Environmental Research Letters* Volume 14, Number 11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4b71>
- IFPRI (2012). Global Hunger Index, chapter 3: *sustainable food security under land, water, and energy stresses*. International Food Policy Research Institute, Washington, USA
- Indymo, Hogeschool Rotterdam, Van Hall Larenstein & ROM3D (2019).

- Kates, R., W. Travis, & T. Wilbanks (2012). *Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109, 7156–7161.
- Kluck, J., Bakker, W., Kleerekoper, L., Rouvoet, M., Wentink, R., Klok, L. & Loeve, R. (2016). Voor hetzelfde geld klimaatbestendig. Voorbeelden klimaatbestendige inrichting voor veelvoorkomende karakteristieke straten. https://www.hva.nl/binaries/content/assets/subsites/kc-techniek/publicaties-klimaatbestendige-stad/hva_klimaatbestendige_stad_2016-05.pdf?1462998354041
- Mishra, V., Ganguly, A.R., Nijssen, B. & Lettenmaier, D.P. (2015). Changes in observed climate extremes in global urban areas. *Environmental Research Letters*, 10. doi:10.1088/1748-9326/10/2/024005.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J. & Nicholls, R.J. (2015) Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – a global assessment. *PLoS ONE* 10, e0118571
- Netherlands Institute for Sea Research (z.d.). Leven op het water: drijvende toekomst. <https://www.nioz.nl/en/blauwe-route/blauweroute/leven-op-het-water-drijvende-toekomst>
- Roeffen, B., Dal Bo Zanon, B., Czapiewska, K. M. & De Graaf, R.E. (2013). *Reducing global land scarcity with floating urban development and food production*. Conference Proceedings: International Water Week, Amsterdam, 8 pp.
- Schar, C. & Jendritzky, G. (2004). Climate change: hot news from summer 2003, *Nature*, 432, pp. 559–560
- UN (2014). World's population increasingly urban with more than half living in urban areas. <https://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

Auteurs

Dr. Ir. Martine van den Boomen

Lector Assetmanagement,
Kenniscentrum Duurzame HavenStad



Als lector assetmanagement richt Martine zich op toekomstbestendig assetmanagement en de methodische innovaties die hiervoor nodig zijn. Het uitgangspunt is dat deze methodische innovaties bijdragen aan het onderwijs en direct toepasbaar zijn in de praktijk. Martine combineert haar lectoraat met haar eigen adviesbureau Colibri Advies en onderzoek en onderwijs aan de Technische Universiteit Delft. Haar speerpunten zijn levensduurmanagement van bedrijfsmiddelen, economie van infrastructuur, bedrijfszekerheidsanalyses en besluitvorming onder onzekerheid, dit alles binnen de context van een duurzame bedrijfsvoering.

Publicaties

- Van den Boomen, M., Bakker, H.L.M., Schraven, D.F.J., Hertogh, M.J.C.M. (2020). Probabilistic life cycle cash flow forecasting with price uncertainty following a Geometric Brownian Motion. *Structure and Infrastructure Engineering*. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1832540>
- Van den Boomen, M. (2020). *Replacement optimisation for public infrastructure assets. Quantitative optimisation modelling taking typical public infrastructure related features into account*. Doctoral Thesis. Delft University of Technology. <https://doi.org/10.4233/uuid:3cef9da8-d432-4d6a-8805-4c094440bd56>
- Van den Boomen, M., Spaan, M. T. J., Shang, Y., & Wolfert, A. R. M. (2020). Infrastructure maintenance and replacement optimization under multiple uncertainties and managerial flexibility. *Construction Management and Economics*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1674450>
- Van den Boomen, M., Leontaris, G., & Wolfert, A. R. M. (2019). Replacement optimization of ageing infrastructure under differential inflation. *Construction Management and Economics*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1574977>
- Van den Boomen, M., Van den Berg, P. L., & Wolfert, A. R. M. (2019). A dynamic programming

approach for economic optimisation of lifetime-extending maintenance, renovation, and replacement of public infrastructure assets under differential inflation. *Structure and Infrastructure Engineering*, 15(2), 193-205. <https://doi.org/10.1080/15732479.2018.1504803>

Dr. ir. Rutger Ewout de Graaf- van Dinther

Lector Waterinnovatie,
Kenniscentrum Duurzame Havenstad.



Rutger houdt zich bezig met het opzetten en uitvoeren van toegepast interdisciplinair onderzoek op het gebied van waterinnovatie met bruikbaarheid voor onderwijs en beroepspraktijk. Zijn onderzoeksthema's zijn onder andere: klimaatadaptatie, innovatieve monitoring van waterkwaliteit en drijvend bouwen.

Publicaties

De Lima, R.L.P., F.C. Boogaard and R.E. de Graaf-Van Dinther (2020) Innovative Water Quality and Ecology Monitoring Using Underwater Unmanned Vehicles: *Field Applications, Challenges and Feedback from Water Managers*. *Water* 2020, 12(4), 1196; <https://doi.org/10.3390/w12041196>

De Graaf-van Dinther (ed.) (2020,) *Climate Resilient Urban Areas. Governance, design and development in coastal delta cities*. Palgrave Pivot. Palgrave MacMillan, London, UK.

De Graaf-van Dinther, R.E. and Ovink, H. (2020) *The Five Pillars of Climate Resilience*. In: *De Graaf-van Dinther, R.E. Climate Resilient Urban Areas. Technology, governance and development in Coastal Delta Cities*. Palgrave MacMillan. London, UK.

Dal Bo Zanon, B, Roeffen, B, Czapiewska, De Graaf-Van Dinther, R.E.; and Mooij, P.R. (2017) Potential of floating production for delta and coastal cities. *Journal of Cleaner Production* 151, 10-20

Ernst, L., De Graaf-Van Dinther, R.E., Peek, G.J., Loorbach, D.A. (2016) Sustainable urban transformation and sustainability transitions; conceptual framework and case study. *Journal of Cleaner Production* 112, 2988-2999

Graaf, R.E. de (2012). *Adaptive urban development: A symbiosis between cities on land and water in the 21st century*. Inaugural lecture. Rotterdam University of Applied Sciences.

Video

<https://www.youtube.com/watch?v=6jDU87EJtso>

Dit artikel is onderdeel van de bundel:

Gijsbertse, D. P., Van Klink, H. A., Machielse, C., & Timmermans, J. H. (Red.). (2020). *Hoger beroepsonderwijs in 2030: Toekomstverkenningen en scenario's vanuit Hogeschool Rotterdam*. Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

De volledige bundel is te vinden op: <https://hr.nl/hbo2030>