



micore

Morphological Impacts
and COastal Risks induced
by Extreme storm events



www.micore.eu

WAARSCHUWINGSSYSTEMEN VOOR DE VOORSPELLING VAN DE GEVOLGEN VAN KUSTSTORMEN

Vijf belangrijke resultaten
van het MICORE project







MICORE: Morfologische impact en risico's van extreme stormen aan de kust

Recente natuurrampen in kustgebieden - zoals de Katrina orkaan bij New Orleans en twee grote tsunami's in de Indische Oceaan en bij Japan - hebben nog eens de verwoestende kracht van de zee en de gevolgen van falende of niet-bestaande kustbescherming en evacuatieplannen laten zien.

Ook Europa is niet immuun voor gevaren vanuit zee: de Stormvloed van 1953 die meer dan 2000 slachtoffers eiste en grootschalige overstromingen veroorzaakte in Nederland, België, Engeland staat nog in ons collectieve geheugen gegrift. Met ongeveer 185.000 kilometer aan kustlijn kent Europa een grote diversiteit aan typen kust: kusten met ongerepte natuur, kusten met een grote bebouwing en bedrijvigheid met allerlei typen constructies tegen kusterosie, duingebieden, rotsige kusten en baaien. Elk type kust kent zijn eigen specifieke problemen waar een kustbeheerder rekening mee moet houden.

Het is economisch gezien eenvoudigweg niet mogelijk om een kustverdediging te ontwerpen, te financieren en te bouwen die de gehele Europese kust beschermt tegen elke denkbare extreme gebeurtenis. Bovendien is het, als gevolg van de onzekerheid over hoe de klimaatverandering zich wereldwijd zal manifesteren, moeilijk in te schatten hoe de extreme stormen zich zullen ontwikkelen, in het bijzonder wat betreft intensiteit, omvang en duur. Het is dus nodig om nieuwe systemen voor kustbeheer te ontwikkelen om beter met deze onzekerheden te kunnen omgaan. De nieuwe systemen moeten helpen bij het minimaliseren van de impact van extreme stormen die buiten de ontwerprandvoorwaarden van de huidige en toekomstige kustbeschermingsinfrastructuur vallen.

In deze context is het kunnen voorspellen van wanneer en waar dreigingen vanuit zee verwacht kunnen worden een belangrijk instrument voor kustbeschermingsorganisaties zodat ze zich kunnen voorbereiden en tijdig de benodigde evacuatie en beschermingsplannen in werking kunnen stellen. Ontwikkelingen in wind-, golf- en waterstandsmodellen hebben geleid tot systemen waarmee redelijk nauwkeurig de aankomsttijd, duur en sterkte van kuststormen tot circa drie dagen vooruit berekend kunnen worden. Het MICORE project heeft op deze ontwikkelingen voortgebouwd door daar voorspellingen van kusterosie en overstroming aan toe te voegen, inclusief de benodigde communicatie naar de eindgebruiker. De resultaten van het MICORE project betekenen dus een belangrijke stap voorwaarts

HET MICORE PROJECT

Het MICORE project (Morphological Impacts and Coastal Risks induced by Extreme storm events) is uitgevoerd door een Europees consortium van 16 verschillende onderzoeken en overheidsinstellingen, universiteiten en bedrijven in negen landen. Het doel van het project is om de haalbaarheid en mogelijkheden te onderzoeken van een online Early Warning

System (EWS; waarschuwingssysteem) voor de betrouwbare voorspelling van morfologische (=kusterosie) effecten van zeestormen ten behoeve van de bescherming van de bevolking.

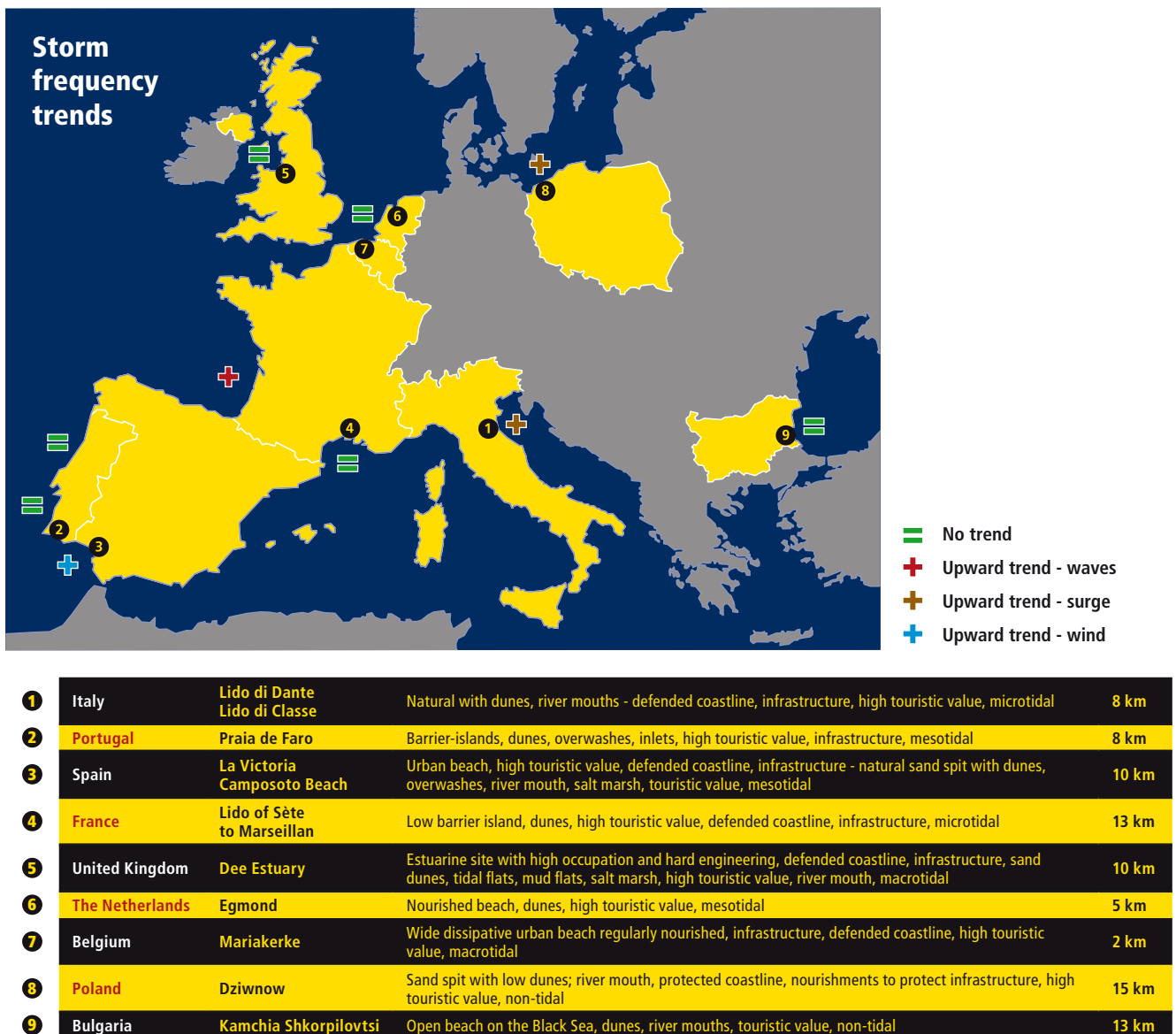
Het project startte in 2008 en liep over een periode van 40 maanden. MICORE is georganiseerd rond 9 testlocaties met elk hun specifieke morfologische en hydrodynamische karakteristieken, waardoor de functionaliteit van het waarschuwingssysteem voor een waaier aan parameters getest kon worden. Voor elke test locatie zijn ter ondersteuning van de ontwikkeling van een waarschuwingssysteem de volgende deelstudies uitgewerkt: **01** overzicht van historische stormen, **02** veldwerk ter monitoring van het effect van stormen die opgetreden zijn tijdens de duur van het project, **03** validatie en testen van het morfologisch en hydrodynamisch model, **04** ontwikkelen van het waarschuwingssysteem in prototype en **05** het verband leggen tussen de waarschuwingssystemen en de beschermingsprotocollen.

Omdat de waterstand, wind en golfcondities "slechts" drie dagen vooruit voorspeld kunnen worden, beperkte het project zich tot de korte-termijn stormrespons in plaats van de langere termijn, strategische respons op bijvoorbeeld klimaatverandering. Het MICORE is een typisch voorbeeld van een praktijk-georiënteerd onderzoeksprogramma, gericht op het leveren van praktische oplossingen voor kustbeheerders.

inhoud vijf belangrijke resultaten

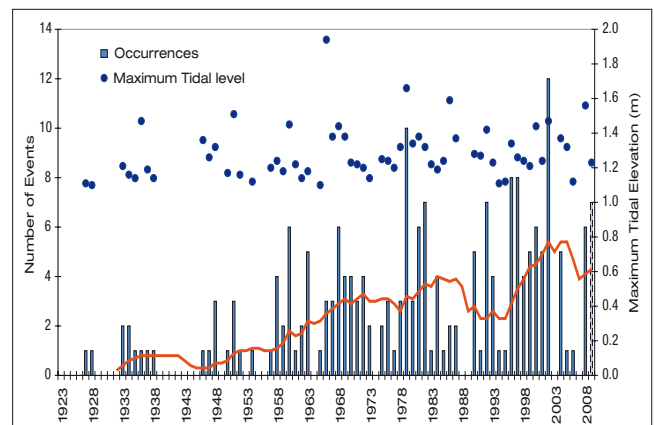
- 01** Begrip van historische trends van Europese kuststormen pag. 4
- 02** Demonstratie van het samen delen van gegevens en kennis in de "OpenEarth" aanpak pag. 5
- 03** Uitbreiding en validatie van XBeach, het nieuwe gratis open-source model voor kustmorfologie pag. 6
- 04** Toepassing van een on-line prototype Waarschuwingssysteem voor kuststormen pag. 7
- 05** Betere verbinding van inhoudelijke kennis van de kust met toepassing door eindgebruikers pag. 10

Een meer gedetailleerde beschrijving van de methodieken en resultaten van alle werkpakketten wordt verwezen naar de MICORE website: www.micore.eu.



Om ons begrip van historische kuststormen in Europa te vergroten zijn 58 langdurige registraties (meer dan 30 jaar lang) van verschillende indicatoren van stormigheid verzameld en geanalyseerd voor 12 verschillende locaties. De indicatoren betreffen waterstanden, grote golfhoogten, sterke winden voor elke locatie.

Het belangrijkste resultaat is dat – alhoewel er enige lokale trends zijn gesignaleerd – **er geen algehele Europese trend in historische kuststormindicatoren te onderscheiden is**. Dit wil niet zeggen dat de gevolgen van klimaatverandering (bijv. stijging van de zeespiegel en van de zeetemperatuur) in de toekomst geen invloed zullen hebben op de Europese stormigheid. We zien wel dat op basis van de bestaande en beschikbare gegevens, de jaarlijkse fluctuaties groter zijn dan een lange termijn trend.



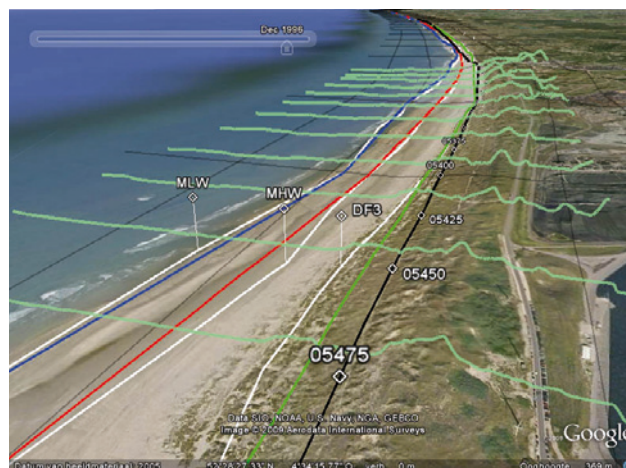
Voorkomen van stormwaterstanden (1923-2008) in Venetië De rode lijn is het tienjaars gemiddelde van het aantal stormen per jaar, die een toename laat zien.

Een regelmatig terugkerend probleem bij de uitvoering van grootschalige, multi-institutionele en internationale onderzoeksprogramma's is dat een significant deel van het budget gespendeerd wordt aan het opzetten van basisinfrastructuur voor data- en kennismanagement. Niet alleen is een dergelijke project-gebonden aanpak, vaak niet efficiënt, het heeft ook tot gevolg dat de data en kennis die gedurende het project werd verzameld en ontwikkeld na afloop van het project vaak niet of nauwelijks meer toegankelijk is of zelfs volledig verloren dreigt te gaan.

Om die reden heeft het MICORE team bij de aanvang van het project gekozen voor toepassing van een innovatieve strategie waarbij gebruik gemaakt wordt van nieuwe protocollen voor het beheren en uitwisselen van data, kennis en analyses, beter bekend als OpenEarth. OpenEarth (www.openearth.eu) biedt een open projectoverschrijdende databank waarin data, modellen en analysemethoden (bijvoorbeeld visualisatie via Google Earth – zoals hiernaast geïllustreerd) gedeeld worden. OpenEarth biedt een gestructureerde werkwijze waarbij gebruik gemaakt wordt van internationaal erkende standaarden. Het open en gemeenschappelijke karakter van de databank promoot de samenwerking en de uitwisseling van vaardigheden. Het grote aantal gebruikers helpt de databank in de lucht te houden zelfs over projectgrenzen heen.

Het MICORE project heeft duidelijk aangetoond dat het delen van data en kennis via OpenEarth een groot pluspunt is

voor grote internationale onderzoeksprojecten. Door OpenEarth te gebruiken is heel wat tijd en energie bespaard. Maar het grootste voordeel zit hem in het feit dat de verzamelde hoog-kwalitatieve, gevalideerde data (zoals opmetingen van de storm impact - zie kader hiernaast), historische data (zie vorige bladzijde) en de analysemethoden beschikbaar en toegankelijk blijven voor toekomstige onderzoeksprogramma's - iets wat nieuw is in dit soort onderzoeken.



Een voorbeeld van data visualisatie - gebaseerd op Google Earth en beschikbaar via de Open Earth data bank - dat Nederlandse strandprofielen en kustlijnmetingen toont.

HET METEN VAN STORM IMPACT OP DE TEST LOCATIES

Ten einde voldoende vertrouwen te kunnen hebben in het voorspelingsysteem en het morfologisch model dat de kern vormt van de modellentrein, werden in het MICORE project modelresultaten gevalideerd met werkelijk gemeten data. Gedurende twee winterseizoenen (2008 – 2010) zijn op de 9 test locaties een reeks pre- en post storm metingen uitgevoerd gebruik makende van de meest moderne meettechnieken: GPS topografie en bathymetrie, LIDAR vluchten, stromingsmetingen, videotechnieken en sediment bemonstering.

Vermeldenswaardig hierbij is de groep stormen die tijdens de jaarwisseling 2009-2010 over zuid

Portugal raasde en significante schade aan huizen en kust veroorzaakte. Achttien dagen lang aanhoudende swell golven tot wel vier meter hoog leidden tot substantiële erosie van de kustlijn en de verwoesting van verscheidene in het kustgebied gelegen huizen. Over deze periode werden nagenoeg dagelijks drie dimensionale GPS metingen van het strand uitgevoerd door de MICORE onderzoekers om zo nauwkeurig mogelijk de snelle veranderingen op het strand in kaart te brengen. Dezelfde gebeurtenis is vervolgens gesimuleerd met behulp van het XBeach model, waarbij de simulatie goede gelijkenis vertoont met de gemeten strandveranderingen.



Opmetingen met GPS ter hoogte van Praia de Faro, Portugal

Een integraal onderdeel van een Early Warning System voor kuststormen is een module waarmee de morfologische verandering (erosie en overstrooming) kan worden berekend. Zoals het diagram op de volgende pagina laat zien vertaalt deze module de hydrodynamische input van waterstandsoptzet en golfaanval in kusterosie en overstrooming en dus informatie over de morfologische impact van stormen. De module is gebaseerd op het computermodel XBeach, een open-source (open broncode) gratis programma dat initieel voor de Amerikaanse Waterstaat (Corps of Engineers) is ontwikkeld.

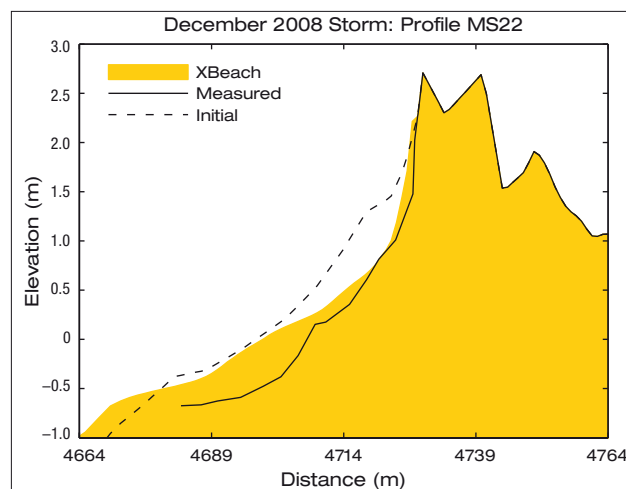
In het MICORE project is het XBeach model uitgebreid met nieuwe functionaliteiten en gevalideerd aan de hand van een grote verzameling van veldgegevens van elke Europese kustlocatie die deel uitmaakte van het project (zie hierboven). Omdat elke locatie een unieke topografie en set omgevings-

condities kent, kon het model voor zeer diverse gevallen getest worden zodat het met meer vertrouwen ingezet kan worden in Europa en in de rest van de wereld. Hier laten we resultaten uit Italië en Bulgarije zien. In het eerste geval lag de nadruk op duinerosie waarbij de modelresultaten laten zien dat de afslag van het duinfront goed voorspeld wordt. In het tweede geval lag de nadruk op golfploop en overstrooming die ook goed werd uitgerekend door het model.

In het project vond belangrijke kennisoverdracht plaats tussen aardwetenschappers met kennis van regionale kustomstandigheden en modelontwikkelaars met kennis van algemene fysica van golven en duinafslag. Het eindresultaat van deze activiteiten is een model dat gebruikt kon worden in elk van de waarschuwingssystemen.



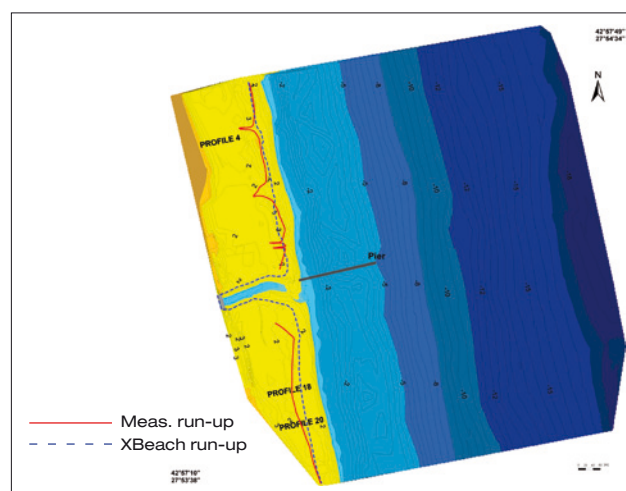
Een storm in December 2008 nabij Lido di Classe, Noord Italië.



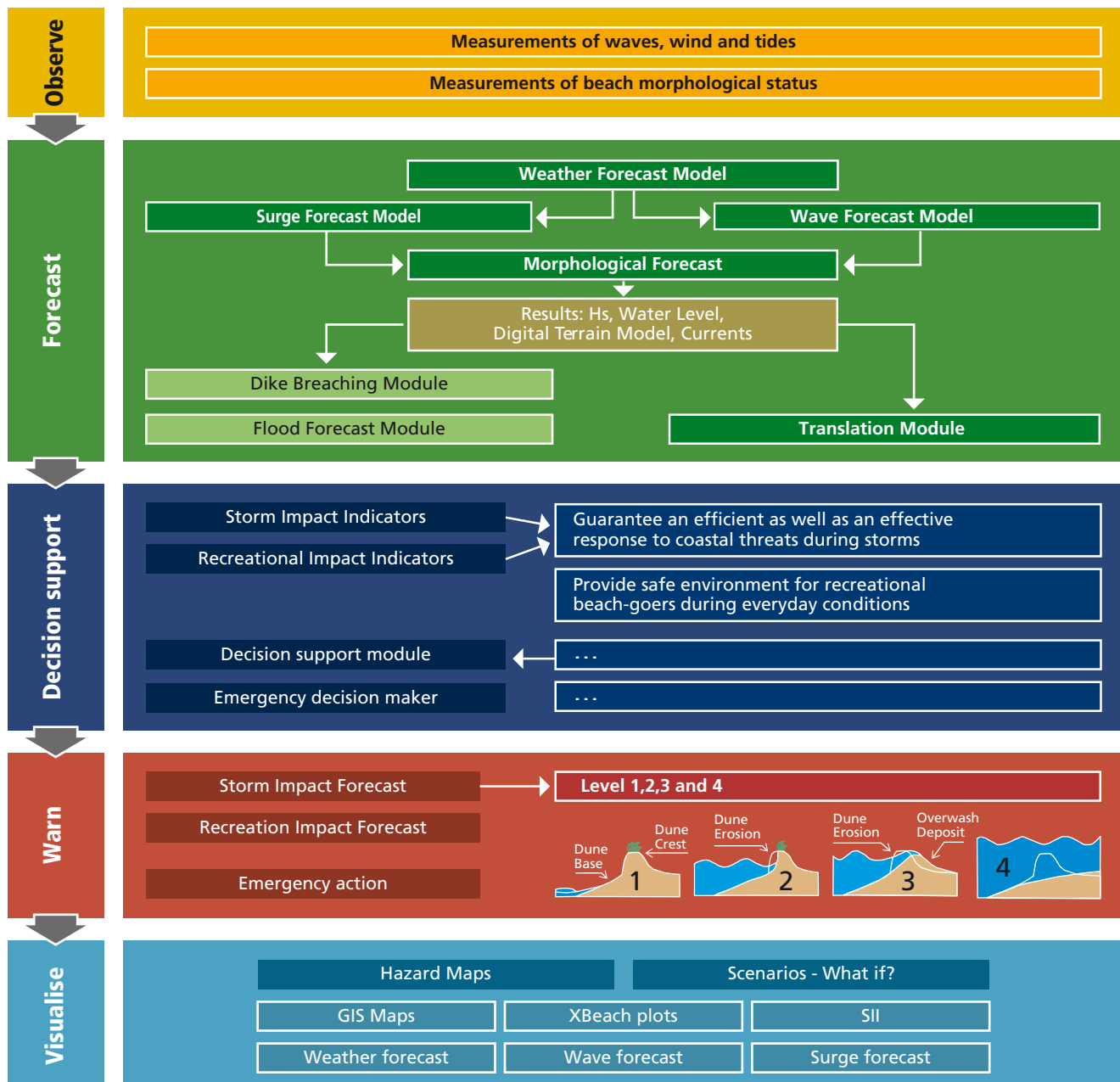
Vergelijking tussen gemeten en door XBeach berekende storm impacts van dezelfde gebeurtenis.



Golfploop gedurende een storm in Maart 2010 nabij Kamchia Shkorpilovtsi, Bulgaria



Validatie van golfploopschattingen gemaakt met met een 2DH Xbeach model van dezelfde gebeurtenis



Op basis van één generiek concept is voor elk van de negen testsites een prototype Early Warning Systeem uitgewerkt. Elk waarschuwingssysteem is opgebouwd uit vijf essentiële modules:

- Een **waarnemingsmodule**, waarin parameters m.b.t. het weer, de golven, de waterstand en de toestand van het strandprofiel zijn opgenomen.
- Een **voorspellingsmodule**, bestaande uit numerieke voorspellingsmodellen voor de golven, waterstand, stormopzet en strandmorphologie.
- Een **beslissingsondersteunende** module, waarin Storm Impact Indicatoren (SII's) en impactkaarten opgenomen

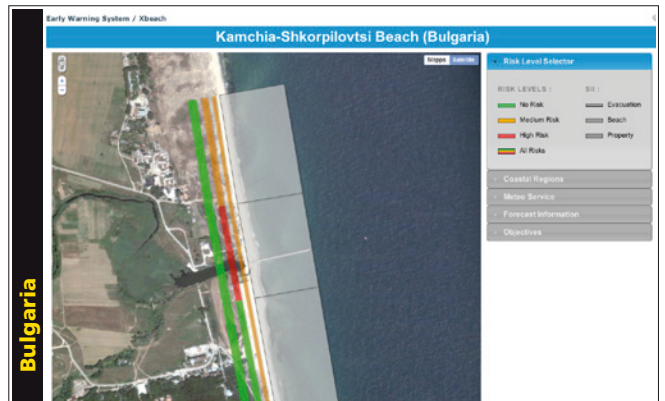
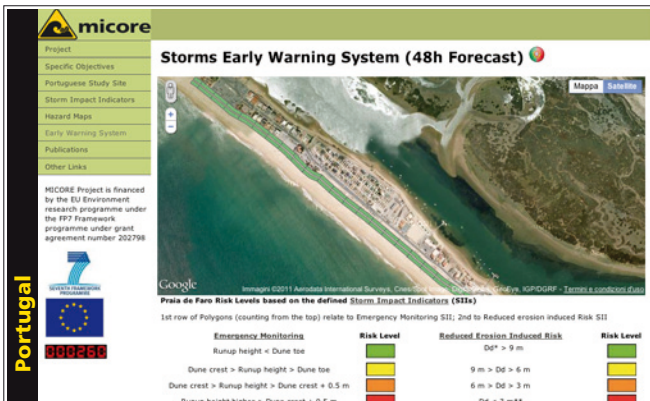
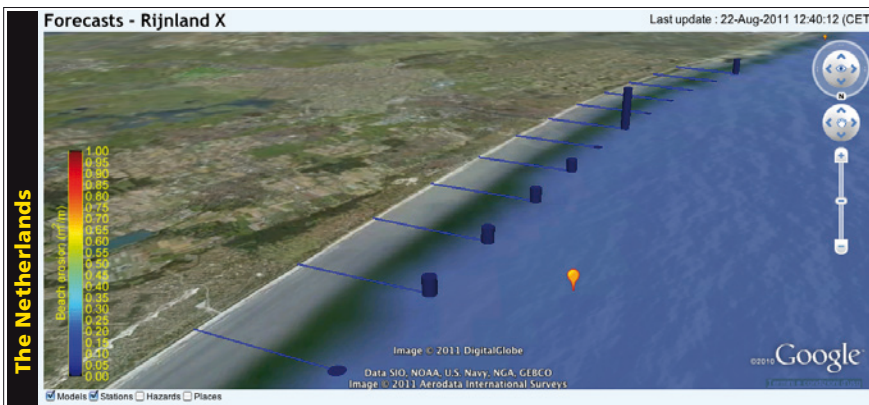
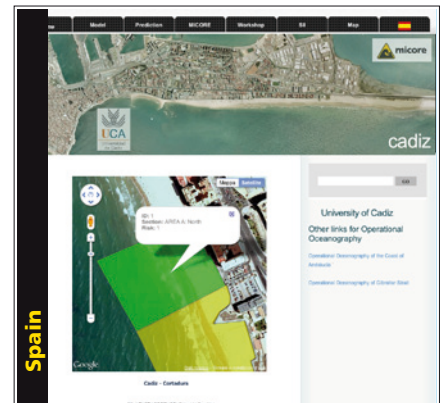
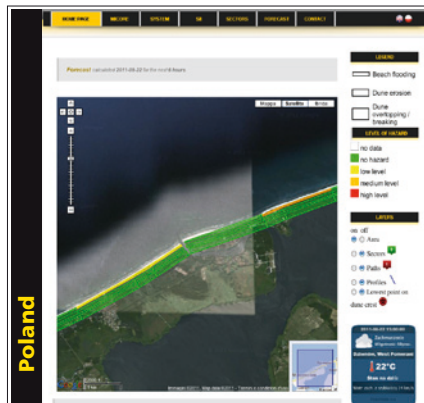
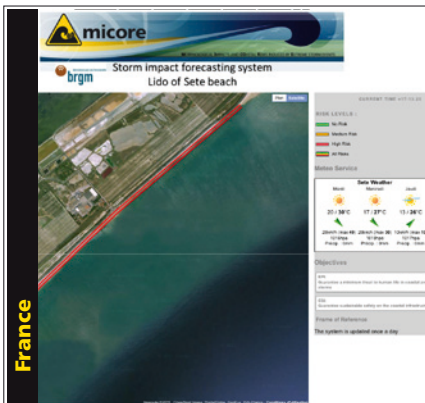
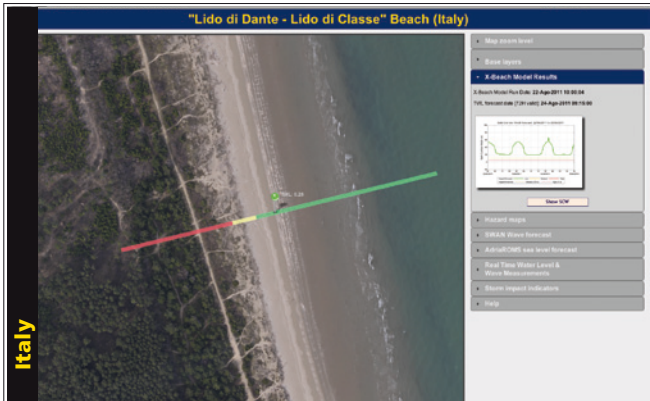
zijn, ter ondersteuning van beheersmaatregelen.

- Een **waarschuwingmodule**, waar site specifieke drempelwaarden aan verschillende waarschuwingsniveaus gekoppeld zijn.
- Een **visualisatie module**, die zorg draagt voor de visualisatie van SII voorspellingen.

Elk prototype richt zich op een concrete kuststrook, zie ook de figuren op de volgende pagina. Om praktische bruikbaarheid en robuustheid van de systemen te onderzoeken werd elk systeem dag en nacht getest. Daarbij kwamen ook nieuwe toepassingen aan het licht, zoals zwemveiligheid, terwijl daar niet specifiek naar was gezocht.



Waarschuwingssystemen





Voorbeeld voorspellingsysteem: Strand van Oostend, België

<http://micore.imdc.be/oostende/index.html>

Als voorbeeld van een on-line visualisatie van de voorspelde stormimpact langs de kust is gekozen voor Oostende. De badstad Oostende, nagenoeg centraal gelegen aan de Belgische kust, is een belangrijk toeristisch en economisch centrum, gekenmerkt door een zeedijk en promenade waarlangs hoogbouw appartementen gesitueerd zijn en aldus een geschikte testlocatie. Het voorspellingsysteem voor Oostende richt zich op het adviseren van de civiele bescherming en beleidsmensen en is geënt op vier storm impact indicatoren (SIIs):

- 1 de beschikbare lengte van het droog strand
- 2 het voorkomen van steile hellingen
- 3 de afstand tussen de voorspelde waterlijn en infrastructuur op het strand en strandkliffen
- 4 overstroming over de zeedijk, als indicatie voor het overstromingsgevaar.

De voorspellingen zijn opgemaakt per kustsectie en worden in bovenaanzicht weergegeven door gebruik te maken van het open-source programma Google Maps. Dankzij deze manier van weergeven kunnen verantwoordelijken voor evacuatie en kustbescherming een ruimtelijk beeld krijgen van waar de impact van een storm mogelijk kritiek is. Indien meer gedetailleerde informatie wenselijk is, kan die geraadpleegd worden op basis van de strandprofielgegevens. Bovenstaande figuur illustreert de voorspellingen voor een storm met een terugkeerperiode van 1000 jaar, welke het hoogste alarmpeil veroorzaakt daar de huidige kustverdediging slechts ontworpen is voor.



Interactieve visualisatie met aanduiding van de voorspelde waarschuwniveaus voor verschillende SII's als banden langsheen de

kusstrook. Via de verschillende secties kan gedetailleerde informatie omtrent de verschillende SII's verkregen worden.

In het MICORE project bleek dat er maar enkele Europese landen een veiligheidsplan hebben waarbij rekening wordt gehouden met het risico van stormen langs de kust. Voor de enkele landen die wel een veiligheidsplan hebben, zijn ze vaak gebaseerd op meteorologische waarschuwingen. Deze waarschuwingen hebben niet altijd een directe relatie met de zwaktes van de kust. Veel kustgebieden hebben eigen karakteristieke kenmerken waarmee rekening gehouden moet worden, zoals de morfologie en de urbanisatiegraad. Een van de redenen waarom er maar weinig veiligheidsplannen zijn waarbij rekening wordt gehouden met het effect van stormen op de kust is dat er sprake is van een (kennis)kloof tussen eindgebruikers van responsplannen en experts op het gebied van de complexe processen langs de kust.

In alle fasen van het MICORE project is actief gewerkt aan het versterken van de samenwerking tussen kustexperts en eindgebruikers. Een van de belangrijke middelen om dit te realiseren was het gebruik van de "Frame of Reference" methode, die specifiek ontwikkeld is voor het aansluiten van specialistische kennis bij de wensen en behoeften van eindgebruikers. Het ontwikkelen van gemakkelijk te interpreteren Storm Impact Indicatoren was hierbij een belangrijke stap. Hierdoor is het waarschuwingssysteem beter afgestemd op de wensen en eisen van de eindgebruiker en zijn de mogelijkheden voor praktisch gebruik toegenomen.



STORM IMPACT INDICATOREN (SIIs)

Kustexperts richten zich voor het kwantificeren van het effect van stormen vaak op fysische parameters zoals duinerosie volume, stroomsnelheden, golfoploopniveau en bovendien debiet. Deze parameters zijn vanuit het perspectief van de eind gebruiker lastig te gebruiken, in situaties waar snel beslist moet worden op basis van beschikbare informatie.

In de waarschuwingssystemen wordt de uitvoer aan de eindgebruiker daarom gepresenteerd in de vorm van Storm Impact Indicatoren (SII). Deze indicatoren zijn speciaal ontwikkeld om beslissingen op te base-

ren. Bij elke indicator horen drempelwaardes waarbij de eindgebruiker overgaat tot actie.

Een voorbeeld van een Italiaanse Storm Impact Indicator is de Veilige Strandbreedte. Deze indicator wordt gebruikt om te kijken of er nog een veilige doorgang is langs een stuk strand. Als het strand te smal wordt bestaat het risico dat mensen vast komen te zitten in een bepaald kustvak. In dat geval zal het kustvak worden afgesloten voor het publiek.

Strategisch doel	Operationeel doel	Kwantitatieve toestand	Grenswaarde wenselijke toestand	Bepaling huidige toestand	Interventie	Evaluatie
Voorkomen van verlies van levens door gevaar van de zee	Signaal geven als een deel van de kust gevaarlijk is	Veilige strandbreedte: De afstand tussen de duinvoet en het hoogwater niveau	Gevaarniveaus Laag > 10 m, Middel 5 m - 10 m, en Hoog < 5 m	Tijdserie van de strandbreedte	Kust afsluiten met borden	Controle van de borden en controle op vermiste personen

Conclusies en aanbevelingen

Het MICORE project is innovatief geweest in die zin dat het succesvol een nieuwe aanpak heeft ontwikkeld en toegepast voor een betere aanpak van toekomstige kustveiligheidsvraagstukken. De ontwikkeling van negen volledig operationele prototype waarschuwingssystemen heeft aangetoond dat state-of-the-art hydrodynamische en morfodynamische modellen ingezet kunnen worden om de stormimpact langs de kust real-time te voorspellen. Deze prototypes kunnen de basis vormen van een grootschaliger voorspellingssysteem dat toepasbaar kan zijn voor de meeste Europese kustgebieden, mits de volgende basisprincipes in acht worden genomen:

- Er moet één generieke structuur gebruikt worden, die flexibel genoeg is om de variatie aan kustgebieden te kunnen omvatten
- De modellentrein kan het best opgebouwd worden uit vrij beschikbare open-source software, vrij van elke commerciële licentie
- Het voorspellingssysteem moet aangepast kunnen worden aan de wensen van de eindgebruikers

Gebleken is dat er behoefte is aan real time stormimpact voorspellingssystemen voor de kust. De in MICORE opgezette conceptuele voorspellingssystemen kunnen eenvoudig geïntegreerd worden in reeds bestaande waarschuwingssystemen voor tsunami's, overstroming van rivieren, aardbevingen, enz. Hiernaast zal monitoring van de impact van stormen langs de kust een blijvende noodzaak zijn. Enkel door middel van langdurige en intensieve monitoring voor, tijdens en na stormen kan beter inzicht in de fysische processen tijdens stormen verkregen worden. Op basis hiervan ontstaat continue innovatie en optimalisatie van het voorspellingssysteem opgezet binnen het MICORE project.





Prof. Paolo Ciavola
Coordinator | WP7 Leader
Italy

Dipartimento di Scienze della Terra
Università degli Studi di Ferrara

Phone: +39.0532.97.46.22
Fax: +39.0532.97.47.67
E-mail: cvp@unife.it



Mr. Marco Deserti
Italy

Hydro-Meteorological and Climatological Service
of the Emilia Romagna ARPA-SIMC

Phone: +39.051.52.59.15 +39.051.649.7511
Fax: +39.051.649.75.01
E-mail: mdeserti@arpa.emr.it



Mrs. Luisa Perini
WP6 Leader
Italy

Geological Survey of the Emilia-Romagna Region

Phone: +39.051.527.4212
Fax: +39.051.527.4208
E-mail: lperini@regione.emilia-romagna.it



Prof. Oscar Ferreira
WP1 Leader
Portugal

University of Algarve
CIACOMAR-CIMA

Phone: +351.289.800.900
Fax: +351.289.800.069
E-mail: offerreir@ualg.pt



Prof. Rui Taborda
Portugal

University of Lisbon
Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade
de Lisboa

Phone: +351.217.500.357 +351.217.500.066
Fax: +351.217.500.119
E-mail: rtaborda@fc.ul.pt



Dr. Javier Benavente
Spain

University of Cadiz
Department of Earth Sciences

Phone: +34.956.016.447 +34.956.016.276
Fax: ++34.956.016.195
E-mail: javier.benavente@uca.es



Dr. Balouin Yann
WP3 Leader
France

BRGM-French Geological Survey
Regional Geological Survey
of Languedoc-Roussillon Montpellier

Phone: +33.467.157.972
Fax: +33.467.157.972
E-mail: y.balouin@brgm.fr



Mr. Piet Haerens
WP5 Leader
Belgium

International Marine Dredging Consultants

Phone: +32.327.092.94
Fax: +32.323.567.11
E-mail: piet.haerens@imdc.be



Prof. Jon Williams
Active partner months 1-30
United Kingdom

University of Plymouth
School of Geography

Phone: +44.2380.711.840
Fax: +44.2380.711.841
E-mail: jwilliams@abpmer.co.uk



Prof. Kazimierz Furmanczyk
Poland

University of Szczecin INoM
Laboratory of Remote Sensing and Marine Carto-
graphy

Phone: +48.91.444.23.51
Fax: +44.2380.711.841
E-mail: kaz@univ.szczecin.pl



Dr. Nikolay Valchev
Bulgaria

Institute of Oceanology, Bulgarian Academy of
Sciences

Phone: +359.52.370.493 +359.52.370.486
Fax: +359.52.370.483
E-mail: valchev@io-bas.bg



Dr. Albertus "Ap" Van Dongeren
WP4 Leader
The Netherlands

Stichting Deltares

Phone: +31.15.285.8951
Fax: +31.15.285.8951
E-mail: ap.vandongeren@wldelft.nl



Dr. Mark Van Koningsveld
WP2 Leader
The Netherlands

Delft University of Technology
Civil Engineering

Phone: +31.6.53.246.297 +31.10.447.8767
Fax: +31.10.447.8100
E-mail: M.vanKoningsveld@tudelft.nl



Dr. Alejandro Jose Souza
United Kingdom

Natural Environment Research Council
Proudman Oceanographic Laboratory

Phone: +44.15.17.954.820
Fax: +44.15.17.954.801
E-mail: ajso@pol.ac.uk



Dr. Pedro Ribera
Spain

University Pablo de Olavide
Department of Physical, Chemical and Natural
Systems

Phone: +34.954.349.131
Fax: +34.954.349.814
E-mail: pribrod@upo.es



Mrs. Stefania Corsi
Italy

Consorzio Ferrara Ricerche

Phone: +39.0532.76.24.04
Fax: +39.0532.76.73.47
E-mail: stefania.corsi@unife.it

Further Information

Review of climate change impacts on storm occurrence, MICORE Deliverable 1.4. Available for download at www.micore.eu

Ciavola P. et al. (2011) Storm impacts along European coastlines. Part 1: the joint effort of the MICORE and ConHaz Projects, *Environmental Science & Policy*, doi:10.1016/j.envsci.2011.05.011

Ciavola P. et al. (2011) Storm impacts along European coastlines. Part 2: lessons learned from the MICORE project, *Environmental Science & Policy*, doi:10.1016/j.envsci.2011.05.009

Ferreira O. et al. (2009) Coastal storm risk assessment in Europe: Examples from 9 study sites, *Journal of Coastal Research*, SI56, 1632 - 1636

MICORE Project documentary: 13 min video presentation. Available for download at www.micore.eu

Roelvink et al. (2009) Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152

Van Koningsveld M. and Mulder J.P.M. (2004) Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed, *Journal of Coastal Research*, 20, 375-385

