

001



001

Venetië, San Marco plein,
acqua alta november 2019
(Alamy Stock Photo / Carlo
Morucchio).

002

Schiedam (regio Rotter-
dam), hoogwater februari
2020 (Flashphoto).

001

Venice, San Marco square,
acqua alta November 2019
(Alamy Stock Photo / Carlo
Morucchio).

002

Schiedam (Rotterdam
region), high water February
2020 (Flashphoto).

002



Stijgend water, zinkende steden

De worsteling van Venetië en Rotterdam met het landschap van lagune en delta¹

Han Meyer

Hoge waterstanden in steden in kust- en deltagebieden leiden sinds de laatste eeuwwisseling tot steeds meer problemen. Niet alleen veel steden in de 'Global South', met gebrekkige voorzieningen om zich tegen hoge waterstanden te verdedigen, kampen met toenemende overstromingen. Ook relatief rijke steden in Europa en de Verenigde Staten hebben alle redenen zich zorgen te maken, met de gevolgen van de orkaan Katrina voor New Orleans (2005) en Sandy voor New York (2013) nog vers in het geheugen. In Europa werd recent, in november 2019, de Grande Dame van steden in en aan het water, Venetië, getroffen door het ernstigste *acqua alta* (hoogwater) sinds 1966. Grote delen van de stad stonden langere tijd onder water, met grote gevolgen voor de vele kunstschaten en monumenten, maar ook voor de economie, het welzijn en de woonbaarheid van de stad.

Enkele maanden later, in februari 2020, moesten in Nederland, door sommigen 'de veiligste delta ter wereld' genoemd,² alle zeilen worden bijgezet om een combinatie van hoge waterafvoer door de rivieren en springtij op zee het hoofd te kunnen bieden. De vele rivierbedverbredingen die in de periode 2005-2015 zijn gerealiseerd in het kader van het nationale programma 'Ruimte voor de Rivier' konden nu voor het eerst hun nut bewijzen. Grote delen van het riviereengebied, normaal in gebruik voor akkerbouw en veeveelt of als natuurgebied, werden gecontroleerd onder water gezet, waardoor overstromingen van steden langs de rivieren werden voorkomen. Dit procedé bleek overal in het riviereengebied succesvol te werken – behalve in de regio Rotterdam, die buiten het programma 'Ruimte voor de Rivier' viel en geen voorzieningen kent voor tijdelijke rivierbedverbreding. In deze regio creëert de rivier zelf zijn verbredingen in de vorm van overstroming van buitendijkse gebieden – waarvan er nog vele zijn (totaal ongeveer 19.000 hectare) en waarop ruim zestigduizend mensen wonen en tal van havenbedrijven zijn gevestigd. In februari 2020 leidden de hoogwaterstanden in diverse buitendijkse gebie-

¹ Dit artikel is een uitgebreide bewerking van de lezing 'Venice, Rotterdam – changing relations between land and water' door de auteur tijdens het symposium 'Fluid Territories: Landscapes, Labour and Logistics', Palazzo Badoer, IUAV University of Venice, Venetië, 14 juni 2018. Het symposium was onderdeel van het project 'The Port and the Fall of Icarus', georganiseerd door de TU Delft (projectleiders Taneha Kuzniecowa Bacchin en Hamed Koshravi) als bijdrage aan het Nederlands paviljoen van de Architectuur Biennale van Venetië in 2018.

² Uitspraak van Deltacommissaris Peter Glas in diverse media eind 2019, onder andere in *De Telegraaf* van 5 oktober 2019.

Rising water, sinking cities

Venice and Rotterdam: grappling with the landscape of lagoon and delta¹

Han Meyer

Since the turn of the century, high water levels in cities in coastal and delta areas have given rise to ever-increasing problems. It is not just the many cities in the 'Global South', burdened with inadequate defences against high water levels, that are having to contend with increased flooding. Even relatively wealthy cities in Europe and the United States, the damage wreaked by Hurricane Katrina in New Orleans (2005) and by Hurricane Sandy in New York (2013) still fresh in their minds, have good reason to be concerned. In Europe, as recently as November 2019, the Grande Dame of water cities, Venice, suffered its worst *acqua alta* (high water event) since 1966. Large parts of the city were under water for an extended period of time, with huge consequences not only for the city's many art treasures and heritage structures, but also for the economy, the well-being and the habitability of the city.

Several months later, in February 2020, the Netherlands, dubbed by some 'the safest delta in the world',² had to pull out all the stops in order to withstand the combined forces of high river water discharge and a spring tide at sea. For the first time, the many riverbed widenings carried out in the years 2005-2015 in the context of the national 'Room for the River' programme, were able to demonstrate their effectiveness. Large parts of the river area, normally used for arable and livestock farming or as nature areas, were subjected to controlled flooding, thereby preventing the inundation of cities along the rivers. This strategy worked well in all river areas – apart from the Rotterdam region, which was not included in the 'Room for the River' programme and has no provision for temporary riverbed widening. In this region the river carries out its own form of widening by flooding the areas outside the dykes, which are still numerous (some 19,000 hectares in all) and home to over sixty thousand people and many port-related businesses. In February 2020 the high water levels in various areas outside the dykes in Rotterdam

¹ This article is an extended version of 'Venice, Rotterdam – changing relations between land and water', the lecture the author gave during the symposium 'Fluid Territories: Landscapes, Labour and Logistics', Palazzo Badoer, IUAV University of Venice, Venice, 14 June 2018. The symposium was part of the project 'The Port and the Fall of Icarus', organized by TU Delft (project leaders Taneha Kuzniecowa Bacchin and Hamed Koshravi) as its contribution to the Dutch pavilion at the 2018 Venice Architecture Biennale.

² Comment by Delta Programme Commissioner Peter Glas in various media outlets in late 2019, including *De Telegraaf*, 5 October 2019.

den in Rotterdam en naburige gemeenten tot kritieke situaties.

Dergelijke hoogwatersituaties zijn in steden als Venetië en Rotterdam in de toekomst vaker te verwachten, met steeds ernstiger gevolgen. Als hoofdzaak wordt de zeepiegelstijging aangegeven, die het gevolg is van klimaatverandering. En als voornaamste remedie wordt in beide gevallen vooral gedacht en gewerkt aan oplossingen om de invloed van de zee buiten te sluiten door middel van grote waterbouwkundige werken.

Maar de zeepiegelstijging als gevolg van klimaatverandering is slechts voor een deel verantwoordelijk voor de toenemende hoogwaterproblemen in beide steden. De verhouding tussen land en water is in beide gevallen (zoals in alle delta's en riviermondingen) het resultaat van de balans tussen de aanvoer en neerslag van sediment enerzijds en de kracht van stromingen van rivieren en zee die leidt tot erosie en wegslaan van land anderzijds. Dankzij de aan- en opslibbing van sediment ontstond land, waarop zich stedelijke en agrarische activiteiten konden ontwikkelen. Dankzij de waterstromen die geulen in het rivierbed uitslijten, konden scheepvaart, visserij en havens tot ontwikkeling komen. Het vinden van de juiste balans tussen aanslibbing en uitslijting, waarbij beide processen optimaal bediend worden, blijkt een moeilijke opgave te zijn. Wordt er relatief veel sediment aangevoerd, dan kunnen er naar hartenlust nieuwe landaanwinningen worden gerealiseerd, maar is het tegelijk relatief moeilijk om het omringende water voldoende op diepte te houden voor scheepvaart en havenontwikkeling. Als echter sprake is van relatief sterke waterstromen en weinig sedimentneerslag – hetzij door natuurlijke processen, hetzij door menselijk ingrijpen – dan ontstaan betere condities voor diepere vaargeulen en havens, maar wordt het land tevens gevoeliger voor erosie. Deze twee processen, aanslibbing en uitslijting, spelen een cruciale rol in het verstedelijkingsproces van alle rivier-, kust- en deltalandenschappen. Vaak hebben die landschappen met beide processen tegelijk te maken: aan de ene kant aanslibbing, aan de andere kant erosie en uitslijting.³

De overgangsgebieden tussen de stroomgebieden van rivieren en de zeeën, in de vorm van delta's, estuaria en lagunes, zijn het product van deze balans tussen de twee processen van aanslibbing en uitslijting. Die balans is niet permanent hetzelfde maar veranderlijk, als gevolg van veranderingen in de aanvoer van rivierwater en/of in de stand van de zeepiegel en stroming van de zee. Deze veranderingen zijn op hun beurt in eerste instantie het gevolg van veranderingen van het klimaat, die voortdurend plaatsvinden: sinds de oerknal wisselen koude en warme perioden elkaar

af, met grote gevolgen voor de verhouding tussen bevroren ijsmassa's en vloeibaar en verdampt water wereldwijd.⁴ Sinds het eind van de laatste ijstijd, ongeveer 11.000 jaar geleden, bevindt de aarde zich in een fase van opwarming, met als gevolg smeltende ijskappen op de polen en smeltende gletsjers, waardoor de zeepiegel stijgt en de rivieren meer water afvoeren. En dit proces van opwarming verloopt ook weer niet gelijkmatig, maar kent warmere en minder warme perioden, met alle gevolgen van dien.⁵ In de afgelopen twee eeuwen heeft de industrialisatie en de daarmee gepaard gaande verstedelijking en mobiliteit geleid tot een massale uitstoot van broeikasgasen, met als resultaat een extra opwarming van de aarde. De versnelde zeepiegelstijging en vergrote piekafvoeren van rivieren die hiervan het gevolg kunnen zijn, kunnen ook de balans tussen aanslibbing en uitslijting in de laag- en draslanden aan de kusten sterk beïnvloeden.

In tweede instantie is de balans tussen aanslibbing en erosie in veel gevallen tevens ingrijpend veranderd door interventies in de stroombeddingen van de rivieren door de mens. Afdamming, kanalisering, bedijking, rivierbedvernaauwing en, last but not least, verdieping van vaargeulen door uitbaggering hebben in veel gevallen geleid tot 'sediment-trapping', dat wil zeggen een decimering van de aanvoer en afzetting van sediment in de laaglandgebieden en langs de kusten, met als gevolg een toename van de eroderende krachten van zee- en rivierwater en van de kwetsbaarheid van laaglandgebieden voor overstroming.⁶

Het is alweer bijna een kwart eeuw geleden dat een aantal wetenschappers onder aanvoering van de Australische ecoloog en econoom Robert Costanza een baanbrekend artikel publiceerden over de rijkdom van zogenoemde ecosysteemdiensten in delta's en estuaria.⁷ De aangroei en consolidatie van land in deze laaglandgebieden als gevolg van aan- en opslibbing is een van de belangrijkste verdiensten van het ecosysteem zelf, die gratis en voor niets geleverd worden, naast een grote biodiversiteit van dier- en plantensoorten en natuurlijke schoonheid. Door occupatie, verstedelijking en bewerking van de laaglandgebieden heeft de mensheid maximaal geprofiteerd van deze ecosysteemdiensten, maar weinig oog gehad voor onderhoud en continuering ervan, hetgeen tegelijk tot een decimering en vaak zelfs volledige ondergang van veel van deze ecosysteemdiensten heeft geleid. Meer recent heeft een groep Nederlandse wetenschappers aangetoond dat het in stand houden dan wel herstellen van de natuurlijke vorm van estuaria van grote invloed is op de mate waarin de zeepiegelstijging een bedreiging kan vormen voor de directe omgeving en het achterland.⁸

3

Zie ook de verhandeling over 'slib- en slijtsteden' in H. Meyer, *De staat van de delta. Waterwerken, stadsontwikkeling en natievorming in Nederland*, Nijmegen 2016, 47-52.

4

De hoeveelheid water op aarde en binnen de dampkring is constant hetzelfde; de verhouding tussen bevroren, vloeibare en verdamppte toestand van het water is aan verandering onderhevig.

5

Zie onder andere S. Kroonenberg, *Spiegelzee. De zeepiegelgeschiedenis van de mens*, Amsterdam/ Antwerpen 2017.

6

J.P. Ericson e.a., 'Effective Sea-level Rise and Deltas. Causes of Change and Human Dimension Implications', *Global and Planetary Change* 50 (2006), 63-82.

7

R. Costanza e.a., 'The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital', *Nature* 387 (1997), 253-260.

8

J.R.F.W. Leuven e.a., 'Sea-level-rise-induced Threats Depend on the Size of Tide-influenced Estuaries Worldwide', *Nature Climate Change* 9 (2019), 986-992.

and neighbouring municipalities led to critical situations.

Many more such high-water situations can be expected in future in cities like Venice and Rotterdam, and with increasingly severe consequences. Sea level rise resulting from climate change is identified as the main culprit. And in both cases the chief remedy is sought above all in solutions aimed at shutting out the sea by means of major hydraulic engineering works.

But sea level rise due to climate change is only partially responsible for the growing high-water problems in both cities. The relationship between land and water is in both cases (as in all deltas and estuaries) the result of the balance between the transport and deposition of sediment on the one hand and the intensity of sea and river currents that erode and wash away land on the other. Owing to the supply and accretion of sediment new land was created on which urban and agricultural activities were able to evolve. Owing to the streams that scoured channels in the riverbed, shipping, fishing and harbours were able to develop. Striking a balance between accretion and erosion that serves both processes well turns out to be a challenging task. When relatively large quantities of sediment are deposited new land reclamation projects proliferate, but it is relatively difficult to keep the surrounding water at a depth sufficient for shipping and port development. Yet when there is a relatively strong streamflow and little sediment deposition – as a result either of natural processes or of human activities – this generates conditions that favour deeper navigation channels and harbours, while making the land more susceptible to erosion. These two processes, accretion and erosion, play a crucial role in the urbanization of all river, coastal and delta landscapes. It is not unusual for those landscapes to be affected by both processes at once: on the one hand accretion, on the other erosion and scouring.³

The transition zones between the river drainage basins and the sea, in the form of deltas, estuaries and lagoons, are the product of this balance between the two processes of deposition and erosion. That balance is not constant, however, fluctuating in accordance with changes in the volume of river water and/or in the sea level and the sea currents. These changes in turn are primarily due to ongoing changes in the climate: ever since the Big Bang cold and hot periods have alternated, with enormous consequences for the proportion of frozen ice masses to liquid and evaporated water around the world.⁴ Since the end of the last Ice Age, some 11,000 years ago, the earth has been in a warming phase, resulting in melting polar ice caps and melting glaciers, causing the sea level to

rise and rivers to carry more water. Nor is this warming process uniform; there are warmer and cooler periods, with all that entails.⁵ In the past two centuries industrialization and the accompanying urbanization and mobility have led to massive emissions of greenhouse gases that heat the earth still more. The accelerated sea level rise and increased peak discharge from rivers that this is liable to cause, can also upset the balance between accretion and erosion in low and marshy coastal lands.

In addition, in many cases the balance between accretion and erosion has been radically altered by human interventions in river channels. Dams, canals, dykes, the narrowing of riverbeds and, last but not least, the deepening of navigation channels by dredging have in many cases led to 'sediment trapping', which is to say a drastic reduction in the transport and deposition of sediment in low-lying and coastal areas resulting in a rise in the erosive effects of sea and river water and in the vulnerability to flooding of lowland areas.⁶

It is already almost a quarter of a century ago that a group of scientists headed by the Australian ecologist and economist Robert Costanza published an article about the economic value of ecosystem 'services' in deltas and estuaries.⁷ The growth and consolidation of land in these low-lying areas caused by deposition and accretion is one of the most important services of the ecosystem itself, delivered free of charge, along with a rich biodiversity of flora and fauna as well as natural beauty. Through the habitation, urbanization and cultivation of low-lying areas, humanity has profited hugely from these ecosystem services, but paid little attention to their maintenance and continued existence, resulting in a drastic reduction and sometimes the complete destruction of these ecosystem services. More recently, a group of Dutch scientists showed that maintaining or restoring the natural form of estuaries has a big impact on the extent of the threat posed by sea level rise to the immediate surroundings and the hinterland.⁸

In both Venice and Rotterdam successive human interventions have dramatically altered the balance between sediment transport and streamflow, step by step – in Venice since the beginning of the sixteenth century, in Rotterdam mainly since the second half of the nineteenth century. Various interventions in their respective regional water systems enabled these cities to develop into leading international ports and to a large extent determined their spatial structure. At the same time, greater stratagems were required to counteract the urban area's increased vulnerability to flooding. Both cities profited hugely from the eco-

3

See also the discussion of 'silt and erosion cities' in H. Meyer, *The State of the Delta. Engineering, Urban Development and Nation Building in the Netherlands*, Nijmegen 2017, 45-55.

4

The absolute volume of water on earth and in the earth's atmosphere remains constant; the relative volumes of water in frozen, liquid and evaporated state are subject to change.

5

See among others S. Kroonenberg, *Spiegelzee. De zeespiegelgeschiedenis van de mens*, Amsterdam/Antwerp 2017.

6

J.P. Ericson et al., 'Effective Sea-level Rise and Deltas. Causes of Change and Human Dimension Implications', *Global and Planetary Change* 50 (2006), 63-82.

7

R. Costanza et al., 'The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital', *Nature* 387 (1997), 253-260.

8

J.R.F.W. Leuven et al., 'Sea-level-rise-induced Threats Depend on the Size of Tide-influenced Estuaries Worldwide', *Nature Climate Change* 9 (2019), 986-992.

Zowel in het geval van Venetië als dat van Rotterdam is door menselijk ingrijpen de balans tussen sedimentaanvoer en waterstroming in een aantal stappen sterk veranderd – in Venetië al sinds het begin van de zestiende eeuw, in Rotterdam vooral sinds de tweede helft van de negentiende eeuw. Door verschillende interventies in de regionale watersystemen konden deze steden zich ontwikkelen tot leidende wereldhavens en werd de ruimtelijke structuur van de steden in sterke mate bepaald. Tegelijk moesten er steeds grotere kunstgrepen worden uitgehaald om de toegenomen kwetsbaarheid van het stedelijk gebied voor overstroming tegen te gaan. In beide gevallen is maximaal geprofiteerd van de ecosysteemdiensten van respectievelijk lagune en delta, maar die ecosysteemdiensten is tegelijk ook danig geweld aangedaan.

De in de toekomst te verwachten toename van kritische hoogwatersituaties in beide steden doet de belangrijke vraag rijzen of er nog grotere kunstgrepen nodig zijn in het verlengde van de richting die is ingeslagen. Vooralsnog lijkt het er wel op: in Venetië met de aanleg van het MOSE-project, dat de bouw van een aantal stormvloedkeringen in de zeegaten van de lagune betreft; in Rotterdam wordt al serieus gestudeerd op de bouw van een sluiscomplex in de riviermonding. Beide oplossingen zijn echter zeer controversieel, omdat betwijfeld kan worden of ze op de lange termijn houdbaar zijn. In verband met de vraag welke andere oplossingsrichtingen mogelijk zijn, gaan we in deze bijdrage op zoek naar de historische ontwikkeling van de relatie tussen de stad en het water in beide steden. Daarbij kijken we vooral naar de veranderingen die in verschillende perioden hebben plaatsgevonden in de verhouding tussen sedimentaanvoer en erosie en naar de invloed van die veranderingen op de positie en de ruimtelijke structuur van de stad. Tot slot bekijken we de huidige en toekomstige mogelijkheden om de balans tussen aanslibbing en uitslijting zodanig te beïnvloeden dat er nieuwe perspectieven voor beide steden en hun relatie met het waterland-schap ontstaan.

Venetië en de lagune⁹

Ontstaan en bewoning van de lagune

Het landschap waarin de stad Venetië kon ontstaan, is voor een belangrijk deel het resultaat van twee processen die begonnen na de laatste ijstijd dankzij de opwarming van de aarde: het stijgen van de zeespiegel in de Adriatische Zee en het smelten van de ijskappen van de Alpen en de Dolomieten. Dit laatste leidde tot het ontstaan van een groot aantal rivieren die het smeltwater via de kustvlakte naar de Adriatische Zee afvoerden.¹⁰

Als gevolg van deze twee processen kwamen twee landschapstypen tot stand, die langzaam in elkaar overgingen, maar elk aanleiding gaven tot een eigen occupatiestrategie.

Eenzijds zorgde de stijgende zeespiegel voor de aanvoer van sediment – voornamelijk zand – naar de rand van de kustvlakte, waardoor een reeks strandwallen en uiteindelijk eilanden werden gevormd. Tussen de strandwallen en de kustvlakte ontstond van Triëst tot Ravenna een lange reeks ondiepe lagunes. Anderzijds leidde de loop en de regelmatige overstromingen van de vele rivieren door de lage kustvlakte tot het ontstaan van een drassig laagland, bedekt met dikke lagen door de rivieren aangevoerd vruchtbaar sediment: voornamelijk klei met slib. Waar de rivieren uitmondten in de lagunes, vormde het aangevoerde sediment platen, schorren en slikken. Tegelijk leidde de constante heen-en-weerbeweging van de eb- en vloedstromen tot de uitslijting van kreken en geulen in de lagune. De lagunes vormden zo een dynamisch en grillig landschap van draslanden, drooggevalen eilanden, ondiepten en diepere geulen en kreken. De balans tussen sedimenttransport door de rivieren en zeespiegelstijging bepaalde de mate en snelheid waarmee de lagune opgevuld werd met aan- en opgeslibd land dan wel land prijs gaf aan het zee-water.

Kaart 004a en doorsnede 004b laten zien dat de overgang tussen het drassige laagland, de Terraferma genaamd, en de Lagune van Venetië grotendeels gradueel was: van west naar oost werd het laagland steeds drassiger en veranderde langzaam van water in het land naar land in het water, tot de langgerekte strandwaleilanden die de lagune van de open zee afscheidden. De eerste vormen van occupatie door de mens vonden plaats aan weerszijden van de graduele overgangszones. In de derde eeuw v.Chr. ondernamen de Romeinen de eerste pogingen de vruchtbare kustvlakte in cultuur te brengen. In de nabijheid van de garnizoensplaats Patavium (Padua) werden de eerste *centuratio*-verkavelingen uitgezet: patronen van roosters met gelijkmatige vierkanten, waarvan de randen als eigendomsgrenzen maar tevens als drainagekanalen konden dienen om het drassige land te ontwateren, zodat er gewassen verbouwd konden worden.¹¹ In de loop van de eeuwen werd het grootste deel van de kustvlakte voorzien van dergelijke *centuratio*-verkavelingen, die de grondslag legden voor een occupatiepatroon dat later door Viganó en Secchi een 'isotropic territory' zou worden genoemd.¹²

De lagune werd aanvankelijk nauwelijks bewoond, afgezien van enkele individuele pioniers die van de visvangst leefden. Daarin kwam verandering in de achtste eeuw, toen groepen boeren,

Deze verhandeling over Venetië is grotendeels gebaseerd op L. D'Alpaos, *Evoluzione morfologica della laguna di Venezia*, Venetië 2010 en F. Mancuso, *Venezia è una città. Come è stata costruita e come vive*, Venetië 2009.

A. Bondesan, 'Geomorphological Processes and Landscape Evolution of the Lagoon of Venice', in: M. Soldati en M. Marchetti (red.), *Landscapes and Landforms of Italy*, Cham 2017, 181-192.

R. Brigand, 'Les Paysages Agraires de la Plaine Vénitienne. Hydraulique et Planification entre Antiquité et Renaissance', in: J. Burnouf e.a. (red.), *L'Europe en mouvement. Medieval Europe* (4e Congrès international d'Archéologie Médiévale et Moderne), Paris 2007, 83-105.

P. Viganó, B. Secchi en L. Fabian, *Water and Asphalt. The Project of Isotropy* (UFO. Explorations of Urbanism; 5), Zürich 2016.

system services of lagoon and delta respectively, while at the same time causing considerable damage to those same ecosystem services.

The anticipated future increase in critical high-water situations in both cities raises the important question of whether still greater strata-gems are needed in pursuance of the path already taken. For the moment it would indeed seem so: in Venice in the form of the MOSE project, which entails the construction of several storm surge barriers in the lagoon's inlets; in Rotterdam in the form of a complex of sluices in the river mouth currently under serious consideration. Both solutions are extremely controversial, however, because there is reason to doubt their long-term viability. As to what other solutions might be possible, this article investigates the historical development of the city–water relationship in the two cities. The main focus is on the changes that have occurred in the relation between sedimentation and erosion, and on the impact those changes have had on the position and spatial structure of the city in different periods. The article concludes by considering current and future possibilities for influencing the balance between deposition and erosion to such an extent that new perspectives open up for both cities and their relationship with the water landscape.

Venice and the lagoon⁹

Origins and settlement of the lagoon

Much of the landscape that gave rise to Venice is the result of two processes that began after the last Ice Age due to the warming of the earth's surface: the rising sea level in the Adriatic Sea and the melting of the ice caps in the Alps and the Dolomites. The latter fed numerous rivers that carried the meltwater to the Adriatic via the coastal plain.¹⁰ As a consequence of these two processes, two types of landscape developed and although they gradually merged, each generated a different settlement strategy.

On the one hand, the rising sea level served to transport sediment, principally sand, to the edge of the coastal plain, creating a series of sandbanks that eventually became islands. Between the sandbanks and the coastal plain a long chain of shallow lagoons evolved, stretching from Trieste to Ravenna. On the other hand, the frequent flooding of the many rivers flowing through the low-lying coastal plain produced waterlogged lowlands covered with thick layers of fertile sediment, chiefly clay and silt, deposited by the rivers. Where the rivers flowed into the lagoons, the sediment they carried formed sandbars, salt marshes and mudflats. At the same time, the constant to and fro action of the ebb and flood

tides gouged creeks and channels in the lagoon. As such, the lagoons formed a dynamic landscape of marshland, tide-exposed islands, shallows and deeper channels and creeks. The balance between river sedimentation and sea level rise determined the degree and speed with which the lagoon filled up with deposited and accreted land or surrendered land to the seawater.

Map 004a and cross section 004b show that the transition between the waterlogged low-lying land, known as Terraferma (mainland), and the Venice lagoon was for the most part gradual: from west to east the land became increasingly marshy and gradually morphed from water in the land into land in the water, ending in the long, narrow sandbank islands that separated the lagoon from the open sea. The earliest forms of human settlement occurred on either side of the gradual transition zones. In the third century BC the Romans made the first attempt to cultivate the fertile coastal plain. In the vicinity of the garrison town of Patavium (Padua) the first *centuriatio* plots were laid out: grid patterns of uniform squares, the edges of which could serve both as property boundaries and as drainage ditches to dewater the boggy soil so that crops could be grown there.¹¹ Over the course of centuries most of the coastal plain was marked out with these *centuriatio* plots, laying the basis for a settlement pattern that Paola Viganó and Bernardo Secchi recently characterized as an 'isotropic territory'.¹²

At first the lagoon was scarcely populated, apart from a few lone pioneers who lived from fishing. This changed in the eighth century when groups of farmers, townfolk and nobles fled Northern Italy to escape the marauding Lombards and sought refuge on the islands in the well-nigh inaccessible lagoon. The biggest concentration of human habitation occurred on an archipelago of accreted islands and sandbanks on either side of a meandering tidal channel, the future Grand Canal. Thanks to the encircling water, this group of islands and sandbanks offered protection from the hostile hordes and armies, while its location behind the barrier islands protected it from storms at sea. The channel also provided access to the sea. The highest islands were called Rivoalto (high shore), later corrupted to Rialto.¹³

Map 004c gives an impression of the group of islands, on which small parish communities had settled, usually grouped around a parish church and the fortified houses of one or two noble families. Initially these communities enjoyed the protection of the Byzantine Empire, which regarded the lagoon as an important military and trading outpost in the Adriatic Sea. Granted the status of dukedom by the Byzantine Empire, the lagoon was governed by a duke (doge). Thanks to the islands'

9

This discussion of Venice is largely based on L. D'Alpaos, *Evoluzione morfologica della laguna di Venezia*, Venice 2010 and F. Mancuso, *Venezia è una città. Come è stata costruita e come vive*, Venice 2009.

10

A. Bondesan, 'Geomorphological Processes and Landscape Evolution of the Lagoon of Venice', in: M. Soldati and M. Marchetti (eds.), *Landscapes and Landforms of Italy*, Cham 2017, 181-192.

11

R. Brigand, 'Les Paysages Agraires de la Plaine Vénitienne. Hydraulique et Planification entre Antiquité et Renaissance', in: J. Burnouf et al. (eds.), *L'Europe en mouvement. Medieval Europe* (4th Congrès international d'Archéologie Médiévale et Moderne), Paris 2007, 83-105.

12

P. Viganó, B. Secchi and L. Fabian, *Water and Asphalt. The Project of Isotropy* (UFO. Explorations of Urbanism; 5), Zurich 2016.

13

E. Trincinato and U. Franzoi, *Venise au fil du temps. Atlas historique d'urbanisme et d'architecture*, Boulogne-Billancourt 1971.

stedelingen en edellieden in Noord-Italië op de vlucht sloegen voor de binnenvallende Lombarden en op de eilanden in de moeilijk toegankelijke lagune een veilig heenkomen zochten. De grootste concentratie van bewoning vond plaats op een archipel van opgeslibde eilanden en platen aan weerszijden van een meanderende getijdengeul, het latere Canal Grande. Deze groep eilanden en platen bood dankzij het omringende water bescherming tegen vijandelijke bendes en legers en was door de ligging achter de stuwweilanden tevens beschermd tegen storm op zee. Tegelijk bood de geul toegang tot de zee. De hoogste eilanden werden aangeduid als Rivoalto (hoge oever), later verbasterd tot Rialto.¹³

Kaart 004c geeft een impressie van de groep eilanden, waarop zich kleine gemeenschappen in parochies vestigden, meestal rondom een parochiekerk en de versterkte woonhuizen van een of twee adellijke families. In eerste instantie genoten deze gemeenschappen bescherming van het Byzantijnse Rijk, dat de lagune zowel militair als voor de handel als een belangrijke buitenpost in de Adriatische Zee beschouwde. De lagune kreeg de status van een hertogdom van het Byzantijnse Rijk, met een hertog (doge) aan het hoofd. Een snelle demografische en economische groei van de eilanden leidde ertoe dat de Byzantijnse provincie Venetië zich steeds meer economisch, militair en politiek als zelfstandige republiek profileerde. Nadat aanvankelijk de eilanden Torcello en Malamocco de economische en bestuurlijke centra waren, werd in 811 het centrale gezag definitief op de Rivoalto gevestigd. Dit werd enkele jaren later nog eens bekrachtigd met het onderbrengen van de (vermeende) overblijfselen van de apostel Marcus in de kerk naast het paleis van de doge.

De eilanden of clusters van eilanden waren zowel in fysiek als in bestuurlijk opzicht relatief zelfstandig en van elkaar gescheiden; de vele adellijke families maakten op de afzonderlijke eilanden de dienst uit. Maar gezamenlijk vormden zij een Maggior Consiglio, die het hoogste gezag vormde voor de hele eilandengroep en de lagune.¹⁴ Deze Maggior Consiglio koos de doge, die zetelde in een paleis op een eiland dat de ingang van het Canal Grande vanaf zee overzag. In fysiek opzicht waren de afzonderlijke parochies van elkaar gescheiden door de krekken tussen de eilanden, maar tegelijk stonden ze met elkaar in verbinding via boten en houten bruggen. Het Canal Grande was de belangrijkste centrale transportader, waarlangs kleine werven en aanverwante bedrijven waren gevestigd en waar kleine vissersschepen lagen aangemeerd of op het land waren getrokken. Halverwege het kanaal was de centrale markt waar vis, zout en andere goederen verhan-

deld werden en waar de eerste brug over het kanaal werd gebouwd.

Consolidatie van de stad als zeemacht door ingrepen in het watersysteem

Afbeeldingen 005a, 005b en 005c tonen een volgende episode in de ontwikkeling van de Lagune van Venetië en de stad Venetië. In de loop van de Middeleeuwen vonden twee processen plaats die elkaar steeds moeilijker verdroegen: de sterke groei van Venetië als handelscentrum en maritieme macht en een versnelde dichtslibbing van de lagune.

De groei van Venetië was het gevolg van de positie die de stad in de tweede helft van de Middeleeuwen wist te verwerven als maritieme en economische macht die het handelsverkeer tussen Europa en Azië grotendeels organiseerde en controleerde. Behalve dat dit gepaard ging met een sterke bevolkingsgroei en daarmee verdichting van de stad,¹⁵ vereiste de maritieme en economische groei de bouw van een enorme vloot voor zowel handel als militaire doeleinden. Het Canal Grande was niet diep genoeg en bood te weinig ruimte voor de uitdijende bedrijvigheid en de steeds grotere schepen. In 1104 werd aan de oostzijde van de stad het Arsenaal gebouwd, dat in de loop van de tijd verschillende malen zou worden uitgebreid om plaats te bieden aan steeds grotere aantallen schepen met steeds grotere afmetingen. In feite fungeerde een groot deel van de stad als productiemachine voor de scheepsbouw. Terwijl het Canal Grande omgevormd werd tot centrale boulevard met voorname stadspaleizen, werden aan de noord- en zuidzijde van de stad talloze gespecialiseerde bedrijven gevestigd die scheepsonderdelen vervaardigden: touwslagerijen, zeilmakerijen, houtbewerkingsbedrijven voor masten, gieken, romp-onderdelen, ijzergieterijen voor kanonnen, enzovoort. Het Arsenaal fungeerde als centrale assemblagefabriek, die met de toelevering van alle scheepsonderdelen uit de stad in hoogtijdagen een productie van meer dan vijftig schepen per maand kon realiseren.¹⁶ Deze schepen varieerden in grootte voornamelijk tussen de 100 en 200 ton, met uitschieters tot 500 ton.

De groeiende aantallen en afmetingen van schepen vereisten voldoende diep water in de geulen rondom Venetië die toegang boden tot de zee. Deze conditie werd echter steeds meer geweld aangedaan door de toegenomen verzanding van de lagune. In de tweede helft van de Middeleeuwen warmde de aarde in hoog tempo op, met als gevolg een versnelde afvoer van smeltwater en daarmee ook sediment door de rivieren. Door de inpoldering van steeds grotere delen van de Terraferma konden de sedimenten niet meer

13

E. Trincinato en U. Franzoi, *Venise au fil du temps. Atlas historique d'urbanisme et d'architecture*, Boulogne-Billancourt 1971.

14

De Maggior Consiglio was samengesteld uit alle mannelijke leden van adellijke families ouder dan vijftwintig jaar. Dit betrof in de negende eeuw al honderden mannen; in 1594 telde de Maggior Consiglio bijna tweeduizend leden.

P. Burke, *Venice and Amsterdam*, Londen 1974.

15

Volgens Lane telde Venetië in de dertiende eeuw al 160.000 inwoners en was het daarmee de grootste stad van Europa. F.C. Lane, *Venice. A Maritime Republic*, Baltimore/Londen 1973.

16

Lane 1973 (noot 15).
















003

De Lagune van Venetië, gezien vanuit het westen, 2020. Op de voorgrond geërodeerde restanten van de draslanden in de lagune. Boven het midden de stad Venetië. Geheel links Porto Marghera. Rechts van het midden is een olietanker via de verdiepte vaargeul op weg naar de Adriatische Zee (foto Roberto Bobbo).

003

The Lagoon of Venice, seen from the west, 2020. In the foreground eroded remnants of the lagoon's wetlands. Centre top, the city of Venice. To the far left, Porto Marghera. To the right of centre, an oil tanker is passing through the deepened channel on its way to the Adriatic Sea (photo Roberto Bobbo).



- | | |
|--|--|
|  | Zee
Sea |
|  | Lagune met geulen
Lagoon with channels |
|  | Drasland (aangeslibd en drooggevallen, alleen overstromd bij extreem hoog water)
Marshland (accreted and dried out, only flooded during extreme high water) |
|  | Centuriatio (agrarisch land, in cultuur gebracht tijdens Romeinse tijd)
Centuriatio (farming land, first cultivated in Roman times) |
|  | Laagland, kustvlakte
Lowland, coastal plain |
|  | Strandwal
Sandbank |
|  | Stad
City |
|  | Stedelijk gebied
Urban area |
|  | Industrie en haven
Industry and harbour |
| | |
|  | Diep water (> 1 m)
Deep water (> 1 m) |
|  | Ondiepte (< 1 m)
Shallows (< 1 m) |
|  | Opgeslibd land, alleen overstromd bij extreem hoog water
Accreted land, only flooded during extreme high water |
|  | Drooggevallen, bekaad en deels gehoogd land, met bebouwing
Land that has fallen dry, been surrounded by embankments and partially developed |

004a

004a Hypothetische kaart van de Lagune van Venetië en omgeving, ca. 1000. De lagune is deel van een brede, graduele overgangszone tussen de Terraferma en de Adriatische zee.

004a

Hypothetical map of the Lagoon of Venice and its surroundings, c. 1000. The lagoon is part of a broad, gradual transition zone between Terraferma and the Adriatic Sea.

004b

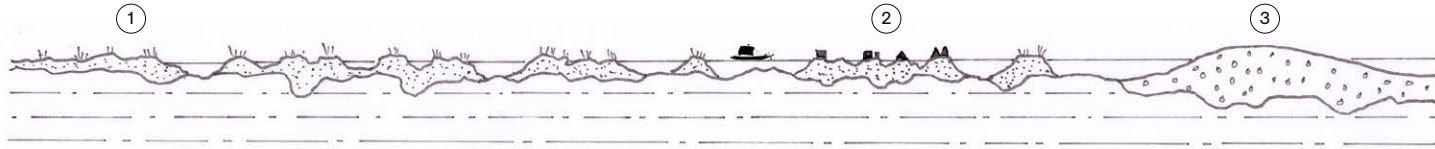
-  Continentale bodem
-  Continental soil
-  Zandige kust
-  Sandy coast
-  Caranto: mengsel van (rivier)klei en slib
-  Caranto: mix of (river)clay and silt
-  Ingepolderd land
-  Reclaimed land

004b

Doorsnede van de Lagune van Venetië, ca. 1000. De eerste bewoning op opgeslibde platen in de lagune (1), die een graduele overgangszone vormt vanaf het drassige laagland van de Terraferma (2) tot de strandwallen (3).

004b

Cross section of the Lagoon of Venice, c. 1000. The first habitation on silted up slabs in the lagoon (1), which forms a gradual transition zone from the marshy lowlands of Terraferma (2) to the sandbanks (3).



004c












004c







Hypothetische plattegrond van Venetië, ca. 1000. Een groot deel van de zand- en kleiplaten aan weerszijden van het Canal Grande is opgehoogd en biedt plaats aan kleine gemeenschappen onder het gezag van een heer en een parochie.

004c

Hypothetical map of Venice, c. 1000. Most of the sand and clay flats on either side of the Grand Canal have been raised to accommodate small communities under the authority of a lord and parish.



-  Zee
Sea
-  Lagune met geulen
Lagoon with channels
-  Drasland (aangeslibd en drooggevallen, alleen overstromd bij extreem hoog water)
Marshland (accreted and dried out, only flooded during extreme high water)
-  Centuratio (agrarisch land, in cultuur gebracht tijdens Romeinse tijd)
Centuratio (farming land, first cultivated in Roman times)
-  Laagland, kustvlakte
Lowland, coastal plain
-  Strandwal
Sandbank
-  Stad
City
-  Stedelijk gebied
Urban area
-  Industrie en haven
Industry and harbour

-  Diep water (> 1 m)
Deep water (> 1 m)
-  Ondiepte (< 1 m)
Shallows (< 1 m)
-  Opgeslibd land, alleen overstromd bij extreem hoog water
Accreted land, only flooded during extreme high water
-  Bebouwd gebied
Built-up area
-  Centrum van bestuur, godsdienst, handel en industrie
Centre of government, religion, trade and industry
-  Centrale openbare ruimte
Central public space

005a

Kaart van de Lagune van Venetië en omgeving, ca. 1600. Rivieren die aanvankelijk uitmondden in de lagune zijn omgelegd via kanalen, die nu een scherpe grens vormen tussen de Terraferma en de lagune.

005a

Map of the Lagoon of Venice and its surroundings, c. 1600. Rivers that originally flowed into the lagoon have been diverted by canals, which now form a sharp boundary between Terraferma and the lagoon.

005b

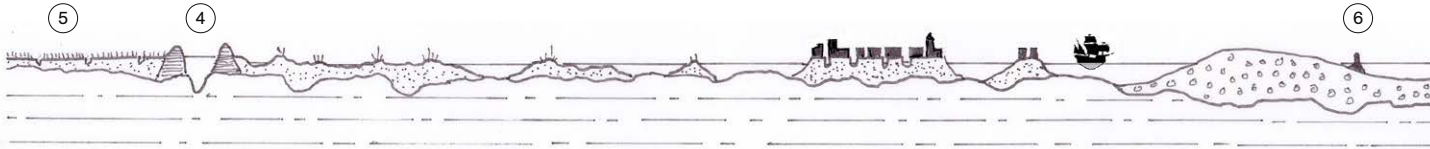
-  Continentale bodem
-  Continental soil
-  Zandige kust
-  Sandy coast
-  Caranto: mengsel van (rivier)klei en slib
-  Caranto: mix of (river)clay and silt
-  Ingepolderd land
-  Reclaimed land

005b

Doorsnede van de Lagune van Venetië, ca. 1600. De gekanaliseerde waterlopen (4) brengen een scherp onderscheid aan tussen het gedraineerde en in cultuur gebrachte land van de Terraferma (5) en de lagune. Aan de zeezijde van de strandwallen is een extra kustverdediging aangebracht (6).

005b

Cross section of the Lagoon of Venice, c. 1600. The canalised watercourses (4) introduce a sharp distinction between the drained and cultivated land of Terraferma (5) and the lagoon. Additional coastal defences have been installed on the seaward side of the sandbanks (6).



005c

















005c

Plattegrond van Venetië, ca. 1600. De zone San Giorgiokerk – Bacino San Marco – San Marcoplein – Rialtobrug is het centrum van het openbare leven in de stad, van de belangrijkste religieuze, bestuurlijke en commerciële activiteiten. Het Arsenaal is het epicentrum van de scheepsbouw.

005c

Map of Venice, c. 1600. The San Giorgio Church – Bacino San Marco – Piazza San Marco – Rialto Bridge zone is the centre of public life in the city, of the most important religious, administrative and commercial activities. The Arsenal is the epicentre of shipbuilding.



- | | |
|---|--|
|  | Zee
Sea |
|  | Lagune met geulen
Lagoon with channels |
|  | Drasland (aangeslibd en drooggevallen, alleen overstromd bij extreem hoog water)
Marshland (accreted and dried out, only flooded during extreme high water) |
|  | Centuriatio (agrarisch land, in cultuur gebracht tijdens Romeinse tijd)
Centuriatio (farming land, first cultivated in Roman times) |
|  | Laagland, kustvlakte
Lowland, coastal plain |
|  | Strandwal
Sandbank |
|  | Stad
City |
|  | Stedelijk gebied
Urban area |
|  | Industrie en haven
Industry and harbour |
|  | Diep water (> 1 m)
Deep water (> 1 m) |
|  | Ondiepte (< 1 m)
Shallows (< 1 m) |
|  | Regelmatig overstromde kaden, pleinen en straten
Frequently flooded embankments, squares and streets |
|  | Belangrijkste locaties van aankomst en vertrek
Main sites of arrival and departure |
|  | Centrale zone van toerisme en museale gebouwen
Central tourist and museum zone |

006a

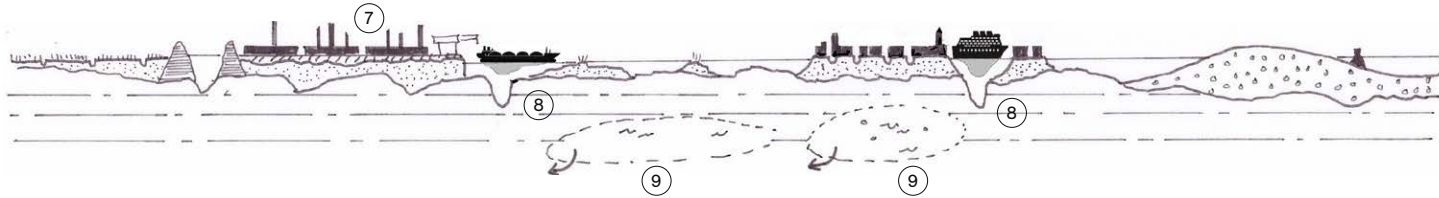
Kaart van de Lagune van Venetië en omgeving, ca. 2000. Industrie- en havencomplexen zijn toegankelijk gemaakt met nieuwe diepe vaargeulen, en leiden tot afkalving van draslanden in de lagune.

006a

Map of the Lagoon of Venice and surroundings, c. 2000. Deep new channels have rendered the industrial and port complexes accessible, leading to the erosion of wetlands in the lagoon.

006b

-  Continentale bodem
-  Continental soil
-  Zandige kust
-  Sandy coast
-  Caranto: mengsel van (rivier)klei en slib
-  Caranto: mix of (river)clay and silt
-  Ingepolderd land
-  Reclaimed land



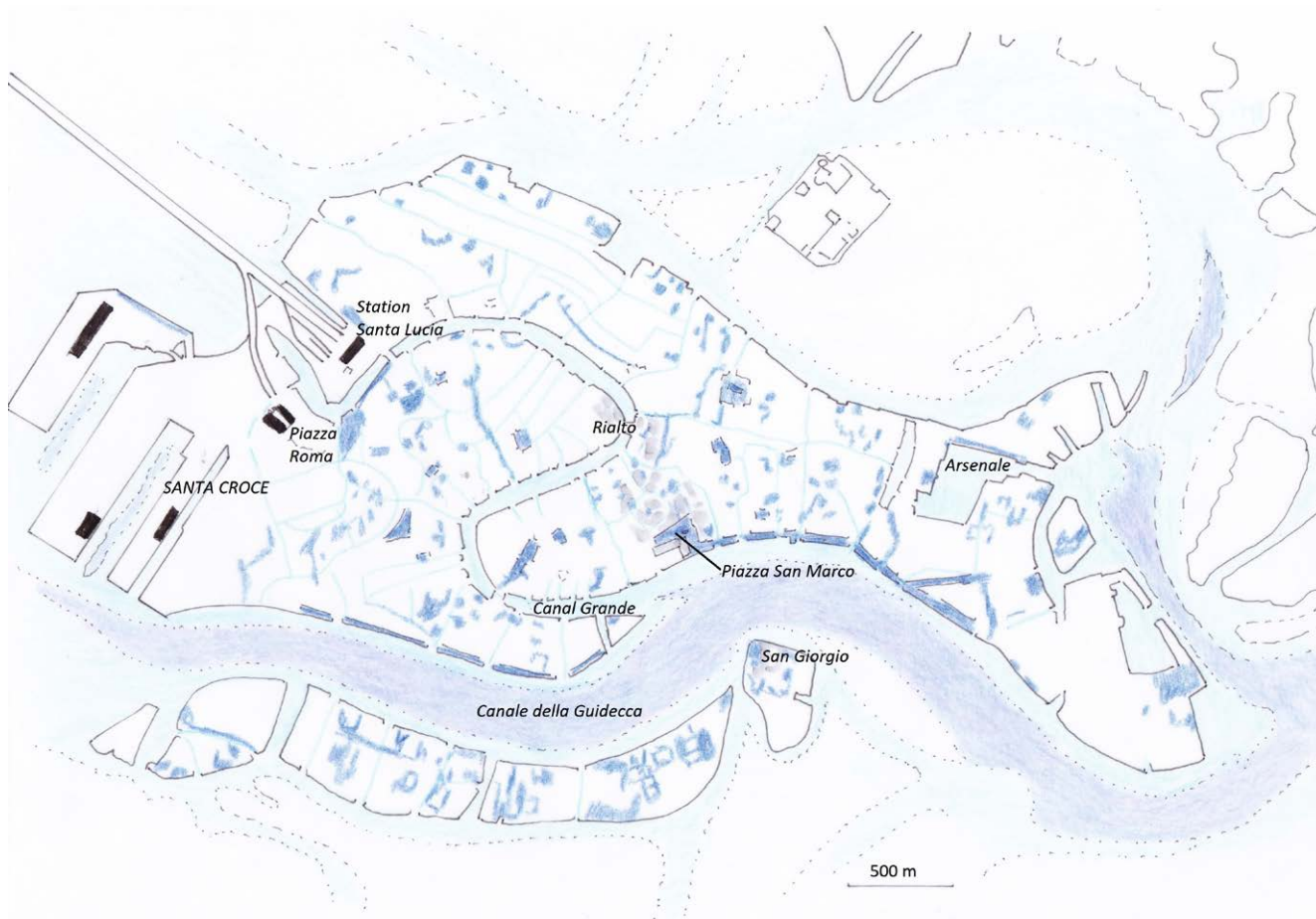
006b

Doorsnede van de Lagune van Venetië, ca. 2000. Industrie- en havencomplexen (7) zijn toegankelijk gemaakt met nieuwe diepe vaargeulen (8), en onttrekken grondwater aan de bodem van de lagune (9).

006b

Cross section of the Venice Lagoon, c. 2000. Industrial and port complexes (7) rendered accessible by deep new navigation channels (8), are also extracting groundwater from the bottom of the lagoon (9).

006c

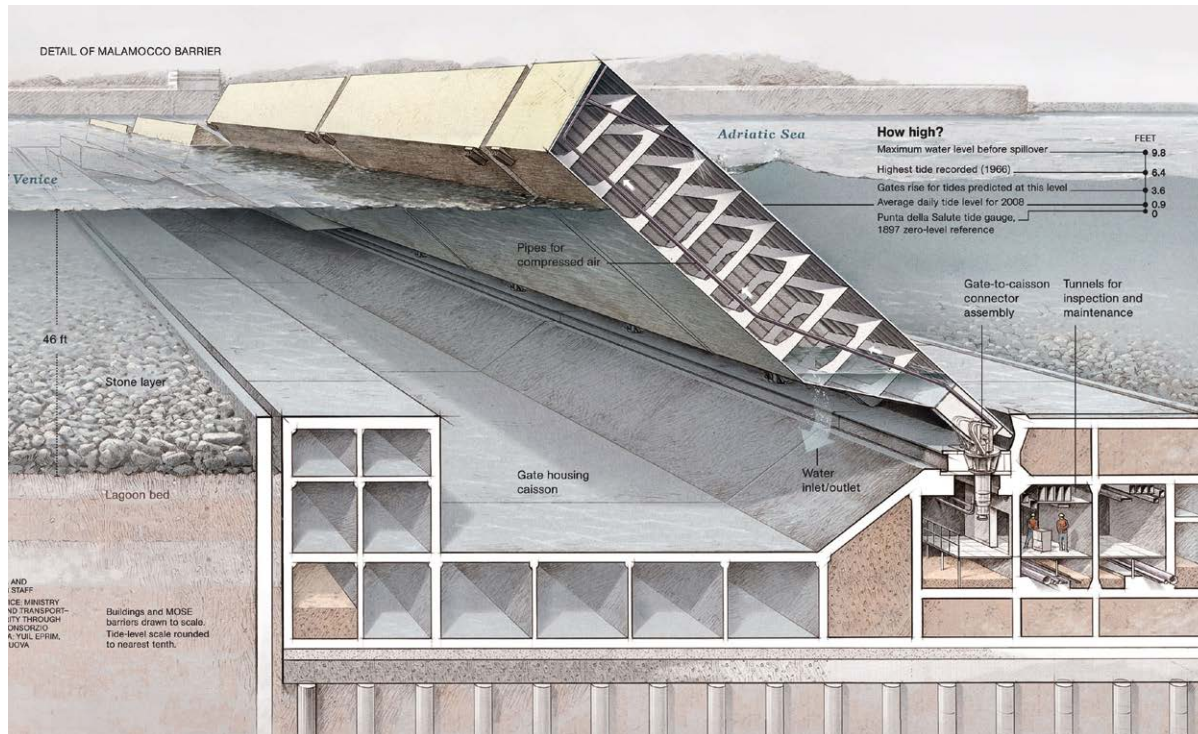


006c

Plattegrond van Venetië, ca. 2000, met regelmatig overstroomde kades, pleinen en straten.

006c

Map of Venice, c. 2000, showing regularly flooded quays, squares and streets.

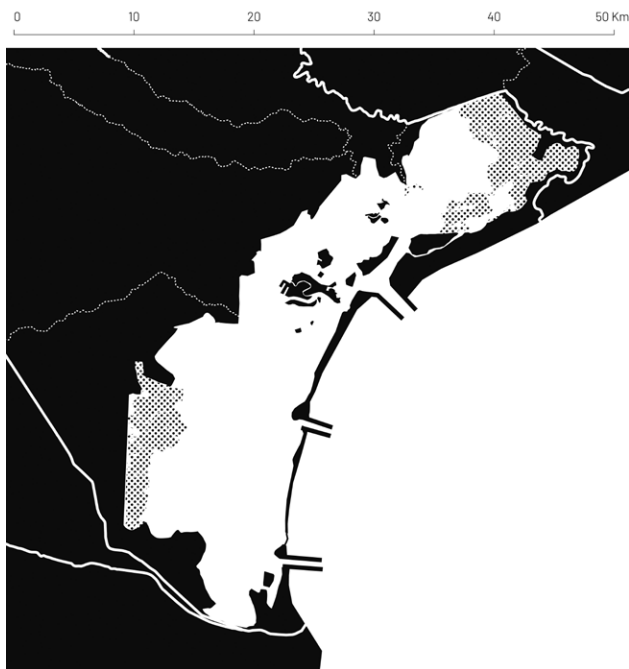


Constructie van de MOSE-vloeddeuren (MOSE Consorzio Venezia Nuova).

De Lagune van Venetië. Links de huidige situatie en rechts de situatie na herstel afwatering rivieren in de lagune (Ricardo Avella, *Deep Ecology. Design Research and Scenario Construction in the Context of Sea Level Rise*, EMU IUAV, Venice 2019).

Construction of the MOSE flood doors (MOSE Consorzio Venezia Nuova).

The Lagoon of Venice. On the left the current situation and on the right the situation after restoration of drainage rivers in the lagoon (Ricardo Avella, *Deep Ecology. Design Research and Scenario Construction in the Context of Sea Level Rise*, EMU IUAV, Venice 2019).



rapid demographic and economic growth, the Byzantine province of Venice increasingly projected the image of an economically, militarily and politically independent republic. While the first economic and administrative centres were on the islands of Torcello and Malamocco, in 811 the central government permanently relocated to Rivoalto. A few years later this relocation was given added weight when the (putative) remains of the apostle Mark were housed in the church next to the doge's palace.

The islands or clusters of islands were both physically and administratively relatively independent and separate from one another, with the individual islands effectively ruled by the many noble families. But together these families made up a *Maggior Consiglio*, which was the highest authority for the entire group of islands and the lagoon.¹⁴ This 'Great Council' elected the doge, who lived in a palace on an island overlooking the entrance to the Grand Canal from the sea. Although the individual parishes were physically separated by the creeks between the islands, they were also connected by boats and wooden bridges. The Grand Canal was the main transport artery, along which small boatyards and related businesses were located and where small fishing boats were moored or pulled up on land. Midway along the canal was the central market where fish, salt and other goods were traded and where the first bridge over the canal was built.

Consolidation of the city as a maritime power through interventions in the water system

Figures 005a, 005b and 005c illustrate the next episode in the development of the lagoon and city of Venice. During the Middle Ages two increasingly incompatible processes played out: Venice's rapid growth as a trade centre and maritime power, and the accelerated silting up of the lagoon.

Venice's growth was the consequence of the position it had acquired in the second half of the Middle Ages as a maritime and economic power that organized and regulated most of the trade between Europe and Asia. Not only was this accompanied by a steep rise in population and a concomitant densification of the city,¹⁵ but the maritime and economic growth also demanded the construction of huge fleet of ships, both merchant and naval. The Grand Canal was not deep enough for the ever bigger ships and nor was it able to accommodate the expanding economic activities. Accordingly, in 1104 the *Arsenale* shipyard was built on the eastern side of the city. Over time it underwent several extensions aimed at accommodating more and more ships of ever-increasing dimensions. In reality a large part of the

city functioned as a production machine for the shipbuilding industry. While the Grand Canal was transformed into Venice's central boulevard, lined with grand mansions, the northern and southern sides of the city housed numerous specialist workshops making ship components: roperies, sailmakers, carpentry workshops for masts, booms and hull components, iron foundries for cannons, and so on. The *Arsenale* acted as the central assembly plant and in its heyday, supplied with all the ship's parts from around the city, was able to produce over fifty ships a month.¹⁶ These ships varied in size, mainly between 100 and 200 tons, with outliers up to 500 tons.

The growing number and size of ships demanded deeper water in the channels around Venice. However, this was being increasingly undermined by the accelerated silting up of the lagoon. In the second half of the Middle Ages the earth was heating at a rapid rate, resulting in a more rapid discharge of meltwater and thus also sediment by the rivers. With bigger and bigger areas of *Terraferma* being reclaimed, sediments could no longer be deposited on the low-lying plains and were increasingly ending up in the lagoon. In the string of lagoons between Trieste and Ravenna this process had already led to land accretion followed by reclamation north and south of the Venice Lagoon.

In the second half of the Middle Ages, as well as becoming a maritime power, Venice managed to impose its authority on much of *Terraferma*, in particular large parts of the Veneto and Lombardy regions. This was important not just for securing the city's food supply, but also for gaining control of water management. In the interests of the latter, Venice established the *Magistrato alle Acque* in 1501; over the course of the ensuing years it proceeded to carry out a sweeping reorganization of the river system. Map 005a and cross section 005b reflect this reorganization of the water system. Canals were dug along the edges of the lagoon so that the waters of the Adige, Brenta, Sile, Piave and countless smaller rivers were diverted to new artificial estuaries to the north and south of the lagoon. In addition, a branch of the Po, which debouched into the sea on the south side of the lagoon, where it caused land accretion, was dammed and its water re-directed further south via a newly dug canal. Instead of land accretion in the lagoon these river diversions resulted in a typical lobate delta at the mouth of the Po south of the lagoon.¹⁷

For the lagoon itself the diversion of the rivers meant that the balance between sedimentation and erosion changed in two respects. Firstly, the excess of sediment turned into a shortage of sediment because the tidal flows routinely

14

The *Maggior Consiglio* was made up of all the male members of noble families over the age of twenty-five. In the ninth century this already amounted to a hundred men; by 1594 the *Maggior Consiglio* had almost two thousand members. P. Burke, *Venice and Amsterdam*, London 1974.

15

According to F.C. Lane, Venice already had 160,000 inhabitants in the thirteenth century, making it the largest city in Europe. F.C. Lane, *Venice. A Maritime Republic*, Baltimore/London 1973.

16

Lane 1973 (note 15).

17

M. Stefani, 'The Po Delta Region. Depositional Evolution, Climate Change and Human Intervention Through the Last 5000 Years', in: M. Soldati and M. Marchetti (eds.), *Landscapes and Landforms of Italy*, Cham 2017, 193-202.

op de laagvlakte worden afgezet en kwamen deze in toenemende mate in de lagune terecht. In de reeks lagunes tussen Triëst en Ravenna had dit proces al tot verlanding en vervolgens inpoldering geleid ten noorden en ten zuiden van de Lagune van Venetië.

Behalve een ontwikkeling als zeemacht had Venetië in de loop van de Middeleeuwen ook een groot deel van de Terraferma, in het bijzonder grote delen van de Veneto en Lombardije, onder zijn gezag weten te brengen. Dit was niet alleen van belang voor de voedselvoorziening van de stad, maar ook om greep te krijgen op de waterhuishouding. Voor dit laatste werd in 1501 de Magistrato alle Acque opgericht, die in de loop van de daaropvolgende jaren een grootschalige reorganisatie van het rivierensysteem tot stand bracht. Kaart 005a en doorsnede 005b geven deze reorganisatie van het watersysteem weer. Langs de randen van de lagune werden kanalen aangelegd, waardoor het water van de Adige, Brenta, Sile, Piave en tal van kleinere rivieren werd omgeleid naar nieuwe kunstmatige mondingen in zee ten zuiden en ten noorden van de lagune. Ook werd een zijtak van de Po, die aan de zuidzijde bij de lagune in zee uitmondde en daar tot verzanding leidde, afgedamd en werd het water met een nieuw gegraven kanaal in zuidelijke richting geleid. In plaats van een verlanding van de lagune ontstond door deze rivieromleidingen de typische ‘delta-lob’ aan de monding van de Po ten zuiden van de lagune.¹⁷

Voor de lagune zelf betekende de omleiding van de rivieren dat de balans tussen sedimentatie en erosie omsloeg en wel in twee opzichten: ten eerste veranderde het overschot aan sediment in een sedimenttekort doordat de getijstromingen stelselmatig meer sediment uit de lagune haalden dan binnenbrachten. Ten tweede ontstond er een proces van egaliseren van de bodem van de lagune: draslanden en zandplaten kalfden af, waardoor geulen en kreken werden opgevuld en ondieper werden. Op de korte termijn leek deze omslag winst op te leveren voor de bereikbaarheid van Venetië voor de grotere schepen, omdat juist de geulen nabij de zeegaten vooralsnog genoeg diepte bleven behouden (circa acht meter). Dit gold onder andere voor de geul tussen het zeegat Bocca di Lido en het Bacino San Marco. Een zijtak van deze diepe geul stroomde in noordwestelijke richting langs de eilandnarchipel van Venetië, hetgeen de reden vormde voor de aanleg van het Arsenaal aan deze zijde van de stad. De omleiding van de rivieren betekende tevens dat de lagune in het vervolg verstoken bleef van de aanvoer van zoet water, waardoor het brakwatermilieu van de lagune veranderde in een zoutwatermilieu, met grote consequenties voor het ecosysteem van de

lagune en voor het grondwater van de Terraferma, dat sterker onder de invloed van zoute kwel raakte.¹⁸

Kaart 005c toont het belang van de twee diepe geulen voor zowel de bereikbaarheid van het Arsenaal voor de grootste schepen, als voor de rol van het Bacino San Marco als het grote waterplein van de stad, als de plek van aankomst en vertrek, waar goederen uit de zeeschepen werden gecontroleerd en overgeladen op lichters en gondels om ze naar de pakhuizen in de stad te brengen. Het Bacino was ruimtelijk begrensd door het San Marcoplein, de Punta della Dogana en het San Giorgio-eiland met de gelijknamige kerk. Ook in tal van kaarten en panorama’s van Venetië, zoals het bekende *Gezicht op Venetië* (1500) van Jacopo de’ Barbari, is deze betekenis van het Bacino San Marco in volle glorie weergegeven. Dankzij het geringe hoogteverschil tussen het grondvlak van het plein en het waterpeil van de lagune werd de suggestie versterkt van het stadsplein en het waterplein als één ensemble van open ruimten, deels beloopbaar, deels bevaarbaar.

Industrialisatie en toerisme door uitdieping van de lagune

In de loop van de zestiende en zeventiende eeuw moest Venetië zijn economische en maritieme overheersing afstaan aan de zeemachten Portugal, Spanje, de Nederlanden en Engeland, die nieuwe handelsroutes vonden tussen Europa en het oostelijk halfrond via de Kaap de Goede Hoop. Vanaf eind achttiende eeuw verloor Venetië ook zijn politieke autonomie, eerst als onderdeel van het Franse rijk van Napoleon, daarna (na het Congres van Wenen in 1815) als deel van het keizerrijk Oostenrijk en vanaf 1866 deel uitmakend van de nieuwe natiestaat Italië. Deze politieke verschuivingen en de opkomst van de industrialisatie vormden nieuwe condities voor de economische en ruimtelijke ontwikkeling van Venetië. Havenontwikkeling viel niet meer onder verantwoordelijkheid van de stad, respectievelijk van de autonome republiek Venetië, maar onder die van de nationale staat.

Kaart 006a en doorsnede 006b geven het resultaat weer van de verschillende ingrepen in de lagune in de loop van de negentiende en twintigste eeuw. Tijdens de napoleontische overheersing was nog gepoogd de havenactiviteiten aan de oostzijde van Venetië, van het San Marcoplein tot het Arsenaal, nieuw leven in te blazen. Als vervanging van het verzandende zeegat Bocca di Lido werd een nieuwe vaargeul gegraven van het diepere zeegat Bocca di Malamocco naar het Bacino San Marco. Deze eveneens met verzanding kampende vaargeul bood slechts beperkt soelaas voor de havenactiviteiten in het oostelijk stadsdeel.

removed more sediment from the lagoon than they brought in. Secondly, the lagoon bed was gradually levelled as marshlands and sandbars crumbled away, filling the channels and creeks, which became shallower. In the short term this reversal seemed to favour Venice's accessibility to bigger ships because the all-important channels near the sea inlets were still deep enough (circa eight metres). This was true, for example, of the inlet between Bocca di Lido and the Bacino San Marco. A branch of this deep channel flowed in a north-westerly direction along the Venetian island archipelago, which was why the Arsenale had been built on this side of the city. The diversion of the rivers also meant that the lagoon was henceforth deprived of an influx of freshwater, so that the brackish water environment of the lagoon turned into a saltwater environment, with serious consequences for the ecosystem of the lagoon and for the groundwater of Terraferma, which became more heavily impacted by saline seepage.¹⁸

Map 005c shows the importance of the two deep channels, both for the Arsenale's accessibility to the biggest ships and for Bacino San Marco's role as the city's main 'water square' – a place of arrival and departure, where goods from seagoing vessels were inspected and trans-shipped to lighters and gondolas to be taken to warehouses in the city. The Bacino was spatially bounded by Piazza San Marco, Punta della Dogana and the island of San Giorgio with the church of the same name. Countless maps and panoramas of Venice, such as Jacopo de' Barbari's famous *View of Venice* (1500), depict the importance of Bacino San Marco in all its splendour. The negligible difference in height between the surface of the square and the water level in the lagoon reinforces the impression that the city square and the water square form a single ensemble of open space, part walkable, part navigable.

Industrialisation and tourism facilitated by deepening of the lagoon

In the course of the sixteenth and seventeenth centuries Venice ceded its economic and maritime dominance to the maritime powers of Portugal, Spain, the Netherlands and England who had discovered new trade routes between Europe and the Eastern hemisphere via the Cape of Good Hope. From the end of the eighteenth century Venice also lost its autonomy, first as part of Napoleon's French Empire, then (after the Congress of Vienna in 1815) as part of the Austrian Empire, and after 1866 as part of the new nation state of Italy. These political shifts and the rise of industrialisation created new conditions for Venice's economic and spatial development. Port

development was no longer the responsibility of the city, or of the autonomous Republic of Venice, but of the national government.

Map 006a and cross section 006b reflect the effect of various interventions in the lagoon during the nineteenth and twentieth centuries. Under Napoleonic rule there was an attempt to revive port activities on the eastern side of Venice, between San Marco and the Arsenale. To replace the increasingly silted-up Bocca di Lido, a new navigation channel was dug between the deeper Bocca di Malamocca inlet and Bacino San Marco. However, as this channel also proved to be prone to silting it provided only temporary respite for port activities in the eastern part of the city. At the end of the nineteenth century, the Italian state decided to shift the focus of new port development to the west side of the city, where the new Santa Croce port complex was duly constructed. New dredging technology made it possible to give seagoing ships access to this complex via a new navigation channel through the Bocca de Lido and the Canale della Giudecca, which was deepened to a depth of 8.5 metres and widened to as much as 200 metres. The building of a railway viaduct, later combined with a motorway, across the lagoon, was followed by the construction of a railway station and later by the Piazzale Roma parking garage and bus terminal, effectively moving the main entrance to the city from the east to the west side of the city. Ships sailing into Venice via the Bocca di Lido now sail past Piazza San Marco instead of tying up there. Nowadays this includes the gigantic cruise ships that call at Venice: before mooring at Santa Croce, their tourist passengers are treated to a top-deck, passing view of Piazza San Marco.

In 1920, a few decades after the construction of the Santa Croce complex, work began on the development of the even bigger port complex of Porto Marghera near Mestre on the edge of Terraferma. A new deep navigation channel between Bocca di Malamocco and Porto Marghera (Canale Malamocco-Marghera) would eventually enable the biggest oil tankers and later container ships to access this port complex.

As a result of these new port developments and navigation channels the relation between the city and the lagoon changed fundamentally in two respects. Firstly, Piazza San Marco and the adjoining Bacino San Marco lost their pre-eminence as the focal point of arrival and departure of people and goods. It became instead a place to be passed through on the way to Santa Croce – or not even that for ships headed to Port Marghera. It had long since lost its significance as the place from where not just the city but the entire lagoon, Terraferma and in fact a good deal of the world

18
UNESCO, *Rapporto su Venezia*, Paris 1969;
UNESCO, *Sauver Venise*, Paris 1971.

Eind negentiende eeuw besloot de Italiaanse staat het accent van de nieuwe havenontwikkeling te verleggen naar de westzijde van de stad, waar het nieuwe havencomplex Santa Croce werd aangelegd. Nieuwe baggertechnologie maakte het mogelijk dit havencomplex bereikbaar te maken voor zeeschepen met een nieuwe vaargeul door de Bocca di Lido en het Canale della Giudecca, dat verdiept werd tot 8,5 meter en verbreed tot maar liefst 200 meter. Dankzij de bouw van een spoorviaduct dwars over de lagune, later gecombineerd met een autoweg, konden vlak bij Santa Croce ook het nieuwe treinstation en later de parkeergarage en busterminal van Piazzale Roma worden gebouwd. De hoofdentree van de stad was hiermee verschoven van de oost- naar de westzijde. Voor zover zeeschepen via de Bocca di Lido naar Venetië varen, varen ze het San Marcoplein voorbij in plaats van er aan te meren. Dit geldt ook voor de enorme cruiseschepen die Venetië tegenwoordig aandoen en, alvorens in Santa Croce aan te meren, het San Marcoplein passeren, waaraan de cruisetoeeristen zich kunnen vergapen vanaf de bovenste dekken.

Enkele decennia na de bouw van het Santa Croce-complex, vanaf 1920, startte de aanleg van het nog veel grotere havencomplex Porto Marghera bij Mestre op de rand van de Terraferma. Een nieuwe diepe vaargeul tussen de Bocca di Malamocco en Porto Marghera (het Canale Malamocco-Marghera) moest dit havencomplex ontsluiten voor de grootste olietankers en later ook containerschepen.

Met deze nieuwe havenuitbreidingen en vaargeulen veranderde de relatie tussen de stad en de lagune in twee opzichten fundamenteel. Ten eerste verloren het Piazza San Marco en het aangrenzende Bacino San Marco hun betekenis als centrale plek van aankomst en vertrek van personen en goederen. In plaats daarvan werd het een plek die gepasseerd werd, op weg naar Santa Croce, of zelfs dat niet meer, wat betreft de scheepvaart op weg naar Porto Marghera. Eerder had het al de betekenis verloren als plek van waaruit niet alleen de stad maar de hele lagune, de Terraferma en in feite een groot deel van de wereld werd geregeerd. Ten tweede, en belangrijker voor het fysieke voortbestaan van de stad, is de balans tussen de sedimenthuishouding en de invloed van de eroderende kracht van het water ingrijpend veranderd.

Door de zeegaten tussen de eilanden te voorzien van strekdammen is de stroomsnelheid van met name de ebstromen toegenomen, waardoor er jaarlijks meer sediment uit de lagune in zee stroomt dan omgekeerd.¹⁹ Tezamen met het uitdiepen van de onderhouden van de vaargeulen (waarvan het Canale Malamocco-Marghera en het

Canale della Giudecca de belangrijkste zijn) heeft dit geleid tot de situatie dat jaarlijks meer dan een miljoen kubieke meter zand en slib aan de lagune wordt onttrokken en in zee verdwijnt.²⁰ Door deze uitdiepingen vindt in de lagune een proces van afkalving plaats van de ondiepere zandplaten en draslanden, die langzaam in de geulen zakken. Dit proces wordt nog eens versterkt door hek- en boeggolven van de grote schepen die door de lagune varen. In de periode van 1927 tot 2002 is ruim 36 vierkante kilometer oftewel meer dan vijftig procent van de draslanden in de lagune in het water verdwenen.²¹ Een direct zichtbaar effect is een dramatische teloorgang van het ecosysteem van de lagune, waarover al decennialang de noodklok wordt geluid door onder andere de Unesco en de provincie Venetië.²²

Een bijkomend effect van de industrialisatie in Porto Marghera is de bodemdaling van grote delen van de lagune, ook van Venetië zelf, als gevolg van de onttrekking van water uit de bodem als koelwatervoorziening voor de procesindustrie. Door de samenloop van processen van sedimentonttrekking en bodemdaling is het totale watervolume in de lagune toegenomen. De zeespiegelstijging levert hieraan nog eens een extra bijdrage, maar is dus niet de enige oorzaak.

In het verleden vond er meer sedimentaanvoer plaats, zowel door de rivieren van de Terraferma als door getijdenstromingen vanuit zee. Het proces van landvorming ging sneller dan het proces van zeespiegelstijging. Met de omleiding van de rivieren in de zestiende eeuw en door de stelselmatige verdieping van de vaargeulen in de laatste twee eeuwen is stapsgewijs de lagune de mogelijkheid ontnomen om gestaag mee te groeien met de zeespiegelstijging. Door de toename van het watervolume in de lagune is de invloed van de getijdenstroming toegenomen en kan hoog water makkelijker, niet geremd door de voorheen ondiepe bodem van de lagune, binnenstromen. De kwetsbaarheid van de stad Venetië is daarmee aanmerkelijk toegenomen, zoals voor het eerst op dramatische wijze duidelijk werd tijdens het *acqua alta* in 1966, toen het hoge zeewaterpeil van 1,90 m boven het gemiddelde zeeniveau vrijelijk de lagune binnenstroomde en grote delen van Venetië onder water zette.²³ Sindsdien is *acqua alta* met een steeds grotere frequentie toegenomen, met de recente overstroming van november 2019 (1,87 m boven gemiddeld zeeniveau) als voorlopig hoogtepunt.

Kaart 006c toont de veranderde situatie van de stad Venetië: het San Marcoplein ligt niet meer aan het uiteinde van de diepe vaargeul die vanaf de Bocca di Lido de lagune binnendringt, maar is een plek geworden *langs* de vaargeul richting Santa Croce. Door de uitdieping van de vaargeul

19

N. Tambroni en G. Seminara, 'Are inlets responsible for the morphological degradation of Venice Lagoon?', *Journal of Geophysical Research* 111 (2006), 1-19.

20

Tambroni en Seminara 2006 (noot 19); A. Sarretta e.a., 'Sediment Budget in the Lagoon of Venice, Italy', *Continental Shelf Research* 30 (2009), 934-949.

21

Tambroni en Seminara 2006 (noot 19); Sarretta e.a. 2009 (noot 20).

22

UNESCO 1969 (noot 18); M. Smart en M.J. Viñals, *The Lagoon of Venice as a Ramsar Site. La Laguna di Venezia. Zona umida di importanza internazionale ai sensi della convenzione di Ramsar*, Venetië 2004.

23

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Laguna di Venezia – Features of the Tide*, www.venezia.isprambiente.it/index.php?folder_id=60&lang_id=2.

was controlled. Secondly, and more importantly for the physical survival of the city, the balance between sediment management and the impact of the erosive force of the water was drastically altered.

Jetties placed at the inlets between the islands increased the velocity of the ebb tides in particular, causing more sediment to flow out of the lagoon than in.¹⁹ Together with the deepening and maintenance of the navigation channels (Canale Malamocco-Marghera and Canale della Giudecca being the most important) this has led to a situation in which more than one million cubic metres of sand and silt per year are removed from the lagoon and disappear into the sea.²⁰ Inside the lagoon, these deepening operations have triggered a process that causes chunks of the shallower sandbars and marshlands to crumble away and slowly sink into the channels, a process that is exacerbated by the stern and bow waves of the big ships that sail through the lagoon. In the period between 1927 and 2002, at least 36 square kilometres, or over fifty per cent, of the marshlands in the lagoon vanished into the water.²¹ One readily visible effect is a dramatic degradation of the ecosystem of the lagoon, something about which bodies like UNESCO and the Province of Venice have been sounding the alarm bell for decades.²²

A side-effect of industrialisation in Porto Marghera is the subsidence in large parts of the lagoon, and of Venice itself, as a result of the extraction of groundwater to supply the processing industry with cooling water. Thanks to the combination of sediment removal and subsidence the total volume of water in the lagoon has increased. The rising sea level compounds this but is not the sole cause.

Historically there was a greater volume of sediment transport, both by the rivers of Terraferma and by tidal flows from the sea, and the rate of accretion outstripped that of sea level rise. The diversion of the rivers in the sixteenth century and the systematic deepening of the navigation channels in the last two centuries gradually deprived the lagoon of the possibility of developing steadily in step with the sea level rise. The increased volume of water in the lagoon has increased the impact of tidal flows and made it easier for high water to flow in, unimpeded by the previously shallow lagoon bottom. All this has considerably added to Venice's vulnerability, as was dramatically demonstrated for the first time during the *acqua alta* of 1966 when the sea, at an exceptional 1.9 metres above the average sea level, streamed unchecked into the lagoon and inundated large parts of Venice.²³ Since then *acqua alta* events have become increasingly frequent, with the most recent inundation of November

2019 as provisional high point since 1966 (1.87 m above the average sea level).

Map 006c shows how the situation of the city of Venice has changed: Piazza San Marco is no longer the final destination of the deep navigation channel that enters the lagoon via Bocca di Lido, but a mere point *along* the channel leading to Santa Croce. During spring tides, that deepened navigation channel makes it all the easier for seawater to flow onto Piazza San Marco, which also happens to be one of the oldest parts of the city where subsidence is most acute. Given the various scenarios predicting the future acceleration of sea level rise, it is not so much a question of whether such inundations will increase in frequency and severity, but rather of how rapid that acceleration will be.

A future for Venice and the lagoon

The future of Venice is intricately bound up with the condition of the lagoon. There has been general agreement on this point since the 1970s, but right from the outset there have been two different approaches to tackling the problem: one favours the restoration of a stable sediment-water balance in the lagoon, the other champions civil engineering works, such as flood barriers or sluices in the inlets between the islands, which would allow the current situation in the lagoon to be maintained.

Since the late 1960s numerous studies and publications have addressed the necessity and possibility of restoring a stable sediment-water balance that would benefit the ecosystem while also curbing the impact of high water in the lagoon. Over the years, the titles of these studies and publications have become increasingly alarming, from the Unesco report *Sauver Venise* in 1969 via the report of the Ramsar Convention in 2004 to S.O.S. *Laguna*, by the top expert on the Venice Lagoon, Luigi D'Alpaos, in 2019.²⁴

A restoration of the sediment-water balance in the lagoon is, however, only possible in combination with a reorganization of the location of and approach routes to the Porto Marghera port complex, and of cruise ship traffic. But these involve such formidable economic interests that in spite of strong support for the restoration of the sediment-water balance in the lagoon in both the city and the province of Venice, the national government opted for the second approach, culminating in the MOSE plan.²⁵ This project comprises a series of movable storm surge barriers that lie on the seabed in the inlets between the islands (fig. 007). These hollow flood gates would be filled with air and rise to the surface to seal off the lagoon whenever the sea level exceeded the average level by more than 110 cm.

19

N. Tambroni and G. Seminara, 'Are inlets responsible for the morphological degradation of Venice Lagoon?', *Journal of Geophysical Research* 111 (2006), 1-19.

20

Tambroni and Seminara 2006 (note 19); A. Sarretta et al., 'Sediment Budget in the Lagoon of Venice, Italy', *Continental Shelf Research* 30 (2009), 934-949.

21

Tambroni and Seminara 2006 (note 19); Sarretta et al. 2009 (note 20).

22

UNESCO 1969 (note 18); M. Smart and M.J. Viñals, *The Lagoon of Venice as a Ramsar Site. La Laguna di Venezia. Zona umida di importanza internazionale ai sensi della convenzione di Ramsar*, Venice 2004.

23

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Laguna di Venezia - Features of the Tide*, www.venezia.isprambiente.it/index.php?folder_id=60&lang_id=2.

24

UNESCO 1971 (note 18). The Ramsar Convention is an international collaboration of public and private parties involved in the protection of internationally significant wetlands. See www.ramsar.org; for the Venice Lagoon see Smart and Viñals 2004 (note 22); L. D'Alpaos, S.O.S. *Laguna*, Venice 2019.

25

MOSE is short for Modulo Sperimentale Elettromeccanico (Experimental Electromechanical Module).

kan het zeewater in tijden van springvloed des te makkelijker op het San Marcoplein stromen, dat ook nog eens een van de oudste stadsdelen is waar het sterkst sprake is van bodemdaling. Gezien de verschillende scenario's met betrekking tot de versnelling van de zeespiegelstijging in de toekomst is het niet zozeer de vraag óf dergelijke overstromingen in frequentie en in hevigheid zullen toenemen, maar vooral met welke snelheid deze acceleratie zal plaatsvinden.

Een toekomst voor Venetië en de lagune

De toekomst van Venetië is nauw verbonden met de toestand waarin de lagune verkeert. Dat is een inzicht waarover al vanaf de jaren 1970 overeenstemming bestaat, maar voor de aanpak van het probleem bestaan van meet af aan twee verschillende benaderingen: de ene legt de nadruk op het herstel van een evenwichtige sediment-waterbalans in de lagune, de andere op de inzet van zware civieltechnische constructies, zoals stormvloedkeringen of sluisen in de zeegaten tussen de eilanden, waardoor de huidige situatie van de lagune zelf gehandhaafd kan blijven.

Sinds eind jaren 1960 heeft een groeiende stroom van studies en publicaties de noodzaak en mogelijkheid aan de orde gesteld van een herstel van een evenwichtige sediment-waterbalans die zowel het ecosysteem ten goede zal komen als een rem op de invloed van hoogwater in de lagune zal zetten. De titels van deze studies en publicaties zijn in de loop van de tijd steeds alarmerender geworden, van het Unesco-rapport *Sauver Venise* in 1969, via het rapport van de Ramsar-conventie in 2004 tot S.O.S. *Laguna* door dé expert van de Lagune van Venetië, Luigi D'Alpaos in 2019.²⁴

Een herstel van de sediment-waterbalans in de lagune is echter alleen mogelijk in combinatie met een reorganisatie van de locatie en aanvoer routes van het havencomplex Porto Marghera en van het cruisescheepsverkeer. Hiermee zijn echter zulke grote economische belangen gemoeid dat ondanks de grote steun in de stad en de provincie Venetië voor het herstel van de sediment-waterbalans in de lagune, de nationale overheid koos voor het tweede spoor, uitmondend in het plan MOSE.²⁵ Dit project voorziet in een serie beweegbare stormvloedkeringen die op de zeebodem liggen in de zeegaten tussen de eilanden (afb. 007). Deze vloeddeuren zullen omhoog gepompt worden en de lagune afsluiten als het zeewaterpeil stijgt boven de 110 cm boven gemiddeld peil.

Het MOSE-project is uiterst controversieel om meerdere redenen. Ten eerste doet het MOSE-systeem niets tegen de meest voorkomende overstromingen, die het gevolg zijn van een zeewaterpeil tussen +80 en +110 cm. Ten tweede is het MOSE-project geen duurzame

oplossing tegen overstroming op de langere termijn. De vloeddeuren zijn berekend op waterstanden van maximaal drie meter boven het huidige gemiddelde waterpeil. Deze waterstanden kunnen bereikt worden bij een combinatie van een stormvloed van +1,80 m met een zeespiegelstijging van 1,20 m, een situatie die volgens berekeningen al in de loop van de huidige eeuw bereikt zou kunnen worden.²⁶ Ten derde blijken de reeds voltooid vloeddeuren met het probleem te kampen dat ze binnen de kortste keren bedekt raken met zand en begroeit met wier, mossels en oesters. Gevreest wordt dat de vloeddeuren hierdoor op het moment suprême niet zullen werken. Tot slot, en wat het meest het publieke debat over MOSE heeft gedomineerd, zijn er de enorme kostenoverschrijdingen, corruptie en vertraging waarmee het project te maken heeft gekregen. De uitvoering van MOSE, die in 2003 startte, was berekend op 1,6 miljard euro en zou in 2011 afgerond zijn. In 2017 was echter nog niet de helft van het project uitgevoerd en waren de kosten al opgelopen tot 5,5 miljard euro.²⁷ De opleveringsdatum is verschoven naar 2022, maar velen betwijfelen of het project ooit zal worden afgerond.

De dramatische gang van zaken rond MOSE heeft de urgentie van een duurzame op herstel van de sediment-waterbalans in de lagune-gerichte aanpak nog duidelijker gemaakt. Deze oplossingsrichting is gebaseerd op de veronderstelling dat de lagune niet meer toegankelijk zal zijn voor grootschalige vracht- en cruiseschepen. De havens van Porto Marghera en Santa Croce zullen in dit scenario moeten worden afgestemd op andere vormen van transport (schepen met minder diepgang) of verplaatst naar een locatie buiten de lagune of een combinatie van beide. Terwijl dit scenario twintig jaar geleden ondenkbaar leek, wordt deze mogelijkheid nu steeds serieuzer aan de orde gesteld in het publieke debat. Een eerste stap in die richting is het verbod in 2017 voor cruiseschepen groter dan 5500 ton om via Venetië langs het San Marcoplein en door het Canale della Guidecca naar Santa Croce te varen. Deze schepen varen sindsdien verplicht via het Canale Malamocco-Marghera naar Porto Marghera om daar aan te meren; de toeristen kunnen per touringcar of trein Venetië bezoeken. Maar ook de complete verplaatsing van Porto Marghera wordt steeds serieuzer als optie genoemd, in combinatie met de noodzaak om dit gehele havencomplex, waarin de petrochemische industrie domineert, te herstructureren in het kader van de energietransitie.²⁸

Het herstel van een sediment-waterbalans die tot een drastische aan- en opslibbing van de lagune zal leiden, gecombineerd met het stopzetten van de bodemdaling door de beëindiging van

UNESCO 1971 (noot 18). De Conventie van Ramsar is een internationale samenwerking van publieke en private partijen op het gebied van de bescherming van watergebieden van internationale betekenis. Zie www.ramsar.org; voor de Lagune van Venetië zie Smart en Viñals 2004 (noot 22); L. D'Alpaos, S.O.S. *Laguna*, Venetië 2019.

MOSE is een afkorting van Modulo Sperimentale Elettromeccanico (Experimentele Elektromechanische Module).

G. Umgiesser, *From Global to Regional. Local Sea Level Rise Scenarios Focus on the Mediterranean Sea and the Adriatic Sea*, Venetië 2011.

R. Giovannini, 'Venice and MOSE. Story of a Failure', *La Stampa in English*, 12 October 2017, www.lastampa.it/2017/10/12/esteri/venice-and-mose-story-of-a-failure-2XRaxsCgFhcmKEXidalyxJ/pagina.html.

N.E. Robbins, 'Deep Trouble. Can Venice Hold Back the Tide?', *The Guardian*, 10 December 2019.

The MOSE project is highly controversial for several reasons. Firstly because it does nothing to prevent the most common floods, which are triggered by a sea level of between +80 and +110 cm. Secondly, the MOSE project is not a sustainable solution to flooding in the long term. The flood gates are designed to cope with water levels of no more than three metres higher than the current average water level. Such water levels could be reached with a combination of a +1.8 m storm surge and a sea level rise of 1.2 m, a situation that experts have calculated could be reached as early as this century.²⁶ Thirdly, it turns out that the flood gates completed so far are rapidly becoming covered with sand and encrusted with seaweed, mussels and oysters. The fear is that because of this the flood gates will fail at the very moment they are needed. Finally, and this is the aspect that has dominated the public debate about MOSE, the project has been dogged by massive cost overruns, corruption and delays. The construction of MOSE, which began in 2003, was originally estimated to cost 1.6 billion euros and to be finished in 2011. By 2017, however, not even half of the project had been completed and costs had already blown out to 5.5 billion euros.²⁷ The completion date has been moved forward to 2022, but many seriously doubt whether the project will ever be finished.

The dramatic course of events concerning MOSE has only served to underline the urgency of a sustainable approach focused on the restoration of the sediment-water balance in the lagoon. This solution assumes that the lagoon would no longer be accessible to bulk carriers and cruise ships. In this scenario Porto Marghera and Santa Croce would need to be geared to a different form of transport (ships with a shallower draught) or relocated to a site outside the lagoon, or a combination of the two. While this solution seemed inconceivable twenty years ago, it is now being treated with increasing seriousness in the public debate. The first step in that direction was taken in 2017 when cruise ships over 5500 tons were prohibited from sailing to Santa Croce via Venice, past the Piazza San Marco and through the Canale della Giudecca. Since then these ships have been obliged to sail via Canale Malamocco-Marghera and to dock at Porto Marghera, from where the tourists can visit Venice by coach or train. But even the wholesale relocation of Porto Marghera is being treated as a serious option, in light of the need to restructure the entire petrochemical industry-dominated complex in the context of energy transition.²⁸

Reinstating a sediment-water balance, which would lead to drastic deposition and erosion in the lagoon, together with putting an end to subsid-

ence by discontinuing the process of groundwater extraction, should make the city of Venice less vulnerable to the most common *acque alte* (between +85 and +110 cm). Also being investigated are options for raising parts of the city several centimetres by injecting the soil with seawater.²⁹ In other parts of the lagoon, study projects under the auspices of the EMU³⁰ demonstrate the possibilities for a managed process of deposition and erosion in the lagoon if the mouths of the rivers in the lagoon were to be restored, the regular dredging of the navigation channels halted, and the jetties in the tideways between the islands dismantled (fig. 008).³¹ On both existing and new islands there would be new opportunities for brackish water agriculture combined with new forms of tourism.

Rotterdam and the Rhine-Maas estuary³²

A shifting river mouth

The origins of the landscape of West-Nederland is remarkably similar to that of north-eastern Italy. On the north-western side of the European continent similar processes of a rising sea level and increased river discharge resulted in a lagoon protected from the sea by a series of barrier bars. However, the silting up of this lagoon with sand, mud and peat – the last the result of vegetation that had been able to grow here – occurred some thousand years earlier than in the Venice Lagoon, whereas the process of town formation did not assume serious proportions until much later, between the eleventh and fifteenth centuries.³³

The emergence and growth of the city of Rotterdam are due largely to changes that occurred in this silted lagoon in the period from the eleventh to the fifteenth century, and that led to a relocation of the principal mouth of the Rhine. During the Roman period, the river Rhine discharged its waters into the sea mainly via today's Oude Rijn, and its principal mouth was near Katwijk. Utrecht, Woerden, Bodegraven, Alphen aan den Rijn, Leiden and Katwijk all owe their existence to that period when the Romans built a string of forts – the Limes – along this river mouth to mark the outer limits of the Roman Empire.³⁴ Had the Rhine maintained this river mouth, these places would probably have become the major cities of West-Nederland, which in that case would have had a Bandstad (ribbon city) instead of today's Randstad (rim city). But during the Middle Ages the Rhine began to silt up between Utrecht and Katwijk. The river sought a new route to the sea and found it via the Lek and Waal-Merwede rivers, which flowed into the North Sea via (among

26

G. Umgiesser, *From Global to Regional. Local Sea Level Rise Scenarios Focus on the Mediterranean Sea and the Adriatic Sea*, Venice 2011.

27

R. Giovannini, 'Venice and MOSE. Story of a Failure', *La Stampa in English*, 12 October 2017, www.lastampa.it/2017/10/12/esteri/venice-and-mose-story-of-a-failure-2XRaxsCgFhcmKEX-idalyxJ/pagina.html.

28

N.E. Robbins, 'Deep Trouble. Can Venice Hold Back the Tide?', *The Guardian*, 10 December 2019.

29

G. Gambolati and P. Teatini, *Venice Shall Rise Again. Engineered Uplift of Venice Through Seawater Injection*, Amsterdam 2013.

30

European Masters of Urbanism, a joint Masters programme involving the universities of IUAV (Venice), UPC Barcelona, KU Leuven and TU Delft. See www.emurbanism.eu/

31

See in particular R. Avella, *Deep Ecology. Design Research and Scenario Construction in the Context of Sea Level Rise*, EMU (European Post-masters in Urbanism), IUAV, Venice 2019.

32

This discussion of Rotterdam and the Rhine-Maas estuary is largely based on H. Meyer, *City and Port. Transformations of Port Cities. London, Barcelona, New York, Rotterdam, Utrecht* 1996.

33

R. Rutte and M. IJsselstijn, '1000-1500 – Town Formation and Waterways: the Big Urban Boom', in: R. Rutte and J.E. Abrahamse (eds.), *Atlas of the Dutch Urban Landscape. A Millennium of Spatial Development*, Bussum 2014, 172-187.

34

B. Colenbrander and MUST, *Limes Atlas*, Rotterdam 2005.

het proces van grondwateronttrekking, moet de stad Venetië minder kwetsbaar maken voor het meest voorkomende *acqua alta* (tussen +85 en +110 cm). Daarnaast worden opties onderzocht om delen van de stad door grondwaterinjecties geleidelijk weer enkele centimeters te laten stijgen.²⁹ Voor andere delen van de lagune laten verschillende studieprojecten van de EMU³⁰ zien wat de mogelijkheden zijn van een gecontroleerde aan- en opslibbing van de lagune wanneer de mondingen van de rivieren in de lagune weer worden hersteld, het regelmatig uitbaggeren van de vaargeulen wordt stopgezet en de pieren in de stroomgaten tussen de eilanden ontmanteld worden (afb. 008).³¹ Zowel op bestaande als nieuwe eilanden ontstaan nieuwe mogelijkheden voor brakwaterlandbouw, gecombineerd met nieuwe vormen van toerisme.

Rotterdam en de Rijn-Maasmonding³²

Een verschuivende riviermonding

De ontstaansgeschiedenis van het landschap van West-Nederland kent een opvallende overeenkomst met die van Noordoost-Italië. Door gelijksoortige processen van stijgende zeespiegel en toenemende afvoer van rivieren ontstond aan de noordwestzijde van het Europese continent eveneens een lagune, afgeschermd van de zee door een strandwallenkust. Het dichtslibben van deze lagune door zand, slib en veen – dat laatste als gevolg van de vegetatie die hier tot ontwikkeling kon komen – voltrok zich echter ongeveer duizend jaar eerder dan in het geval van de Lagune van Venetië, terwijl het proces van verstedelijking er juist later serieuze proporties aannam: tussen de elfde en vijftiende eeuw.³³

Het ontstaan en de groei van de stad Rotterdam zijn goeddeels te danken aan veranderingen die in deze dichtgeslibde lagune in de periode van elfde tot vijftiende eeuw plaatsvonden en die tot een verschuiving van de monding van de Rijn leidden. Tijdens de Romeinse tijd stroomde het rivierwater van de Rijn grotendeels via de huidige Oude Rijn naar zee en bevond de belangrijkste monding van de Rijn zich bij Katwijk. De plaatsen Utrecht, Woerden, Bodegraven, Alphen aan den Rijn, Leiden en Katwijk danken hun bestaan aan die periode, toen de Romeinen langs deze riviermonding vestingen bouwden als markering van de grens van het Romeinse Rijk: de Limes.³⁴ Als de Rijn deze riviermonding had gehandhaafd, dan waren deze plaatsen waarschijnlijk uitgegroeid tot de belangrijkste steden van West-Nederland. Dan had West-Nederland een Bandstad gehad in plaats van een Randstad. Maar tijdens de Middel-

eeuwen begon de Rijn tussen Utrecht en Katwijk dicht te slibben. De rivier zocht een nieuwe weg naar zee en vond deze via de Lek en Waal-Merwede, die via (onder andere) de Nieuwe Maas uitmondden in de Noordzee. Door afdamming van de Oude (c.q. Kromme) Rijn bij Wijk bij Duurstede in 1122 en van de Hollandsche IJssel bij IJsselstein in 1285 werd het proces van verlegging van de hoofdloop van de Rijn versterkt.³⁵

Deze verandering in de hoofdafvoer van het rivierwater was van doorslaggevend belang voor het ontstaan van de stad Rotterdam. Achter de strandwallen langs de kust was een groot veengebied ontstaan, dat vanaf ongeveer 1000 in cultuur werd gebracht voor akkerbouw en veeteelt. Aanvankelijk speelde de Oude Rijn een centrale rol in de afwatering van dit veengebied, maar met de dichtslibbing van de Oude Rijn en de verschuiving van de riviermond naar het zuiden was men gedwongen ook de afwatering via de nieuwe riviermond te regelen. Kaart 009a toont de nieuwe situatie die na de twaalfde en dertiende eeuw was ontstaan met de Nieuwe Maas als hoofdmonding van de rivieren Rijn en Maas en de nieuwe nederzettingen Rotterdam, Schiedam en Vlaardingen op de noordoever van deze riviermond. Waterlopen als de Rotte en de Schie werden in het nieuwe afwateringssysteem de hoofdadere voor de afvoer van overtollig polderwater naar de Nieuwe Maas. Tevens gingen deze waterlopen een rol vervullen als transportroutes. De ontwatering leidde echter ook tot oxidatie en inklinking van het veen, met bodemdaling als gevolg, waardoor het veengebied gevoeliger werd voor overstroming tijdens hoge waterstanden in de riviermonding. Om dit probleem tegen te gaan, werd omstreeks 1250 de Schielandse Hoge Zeedijk aangelegd, zoals aangegeven in kaart 009b. Daar waar deze dijk de centrale waterlopen kruiste, zoals Rotte en Schie, ontstond de noodzaak om een speciale voorziening te construeren in de vorm van een dam met een sluis die bij lage rivierwaterstanden geopend kon worden om het polderwater te lozen. Aangezien de dijk en de waterloop tevens een rol als verkeers- en transportroute vervulden, waren deze dammen uitgelezen plaatsen voor het ontstaan van vissers- en handelsnederzettingen als Rotterdam, Schiedam en Vlaardingen.

Stadsuitbreiding en verzanding

Na de verzanding van de Oude Rijn begon het proces van aan- en opslibbing zich ook in de Nieuwe Maas steeds nadrukkelijker te manifesteren. Het leidde tot een aanmerkelijke groei van de buitendijkse schorren en slikken. Kaart 010b toont de haven- en stadsuitbreidingen die op de aangeslibde buitendijkse gebieden rond 1600 gerealiseerd konden worden. Zo kon Rotterdam optimaal

29

G. Gambolati en P. Teatini, *Venice Shall Rise Again. Engineered Uplift of Venice Through Seawater Injection*, Amsterdam 2013.

30

European Masters of Urbanism, een gezamenlijk Masters programma van de universiteiten IUAV (Venetië), UPC Barcelona, KU Leuven en TU Delft. Zie www.emurbanism.eu/.

31

Zie met name R. Avella, *Deep Ecology. Design Research and Scenario Construction in the Context of Sea Level Rise*, EMU (European Post-masters in Urbanism), IUAV, Venetië 2019.

32

Deze verhandeling over Rotterdam en de Rijn-Maasmonding is grotendeels gebaseerd op H. Meyer, *De stad en de haven. Stedebouw als culturele opgave. Londen, Barcelona, New York, Rotterdam, Utrecht 1996*.

33

R. Rutte en M. IJsselstijn, '1000-1500 – Stadswording aan waterwegen: de grote stedenboom', in: R. Rutte en J.E. Abrahamse (red.), *Atlas van de verstedelijking in Nederland. 1000 jaar ruimtelijke ontwikkeling*, Bussum 2014, 170-185.

34

B. Colenbrander en MUST, *Limes Atlas*, Rotterdam 2005.

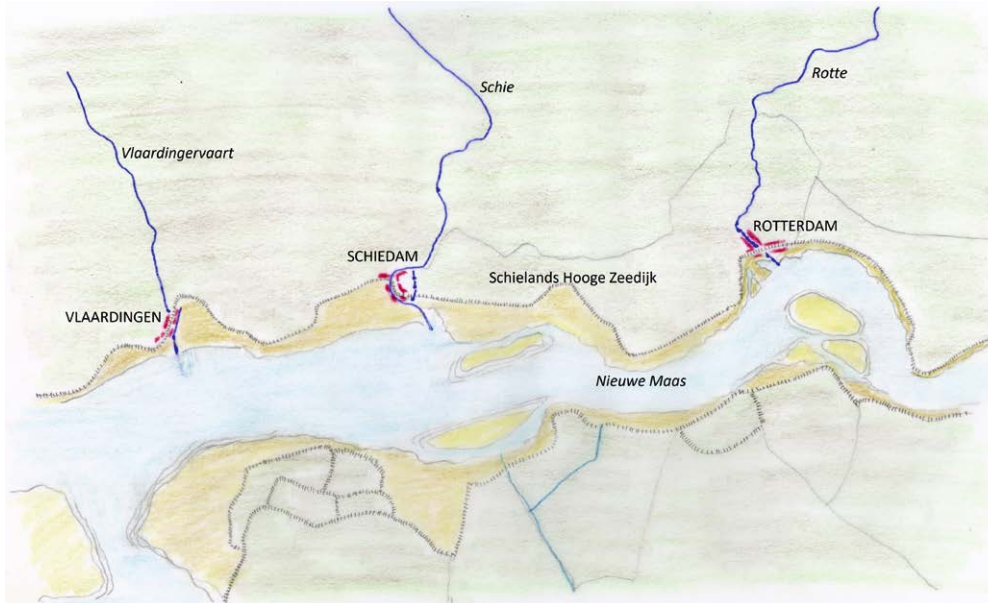
35

G.J. Borger, F.H. Horsten en J.F. Roest, *De dam bij Hopenesse. Gevolgen voor de afwatering van het gebied tussen Oude Rijn en Hollandsche IJssel, 1250-1600*, Hilversum 2016.

009a



009b



Legenda op p. 30 / Legend on p. 30

009a

Kaart van de Rijn-Maasmonding, ca. 1400. De Oude Rijn (Leiden-Katwijk) is dichtgeslibd. De Nieuwe Maas is de nieuwe hoofdafvoer van zowel Rijn als Maas geworden.

009b

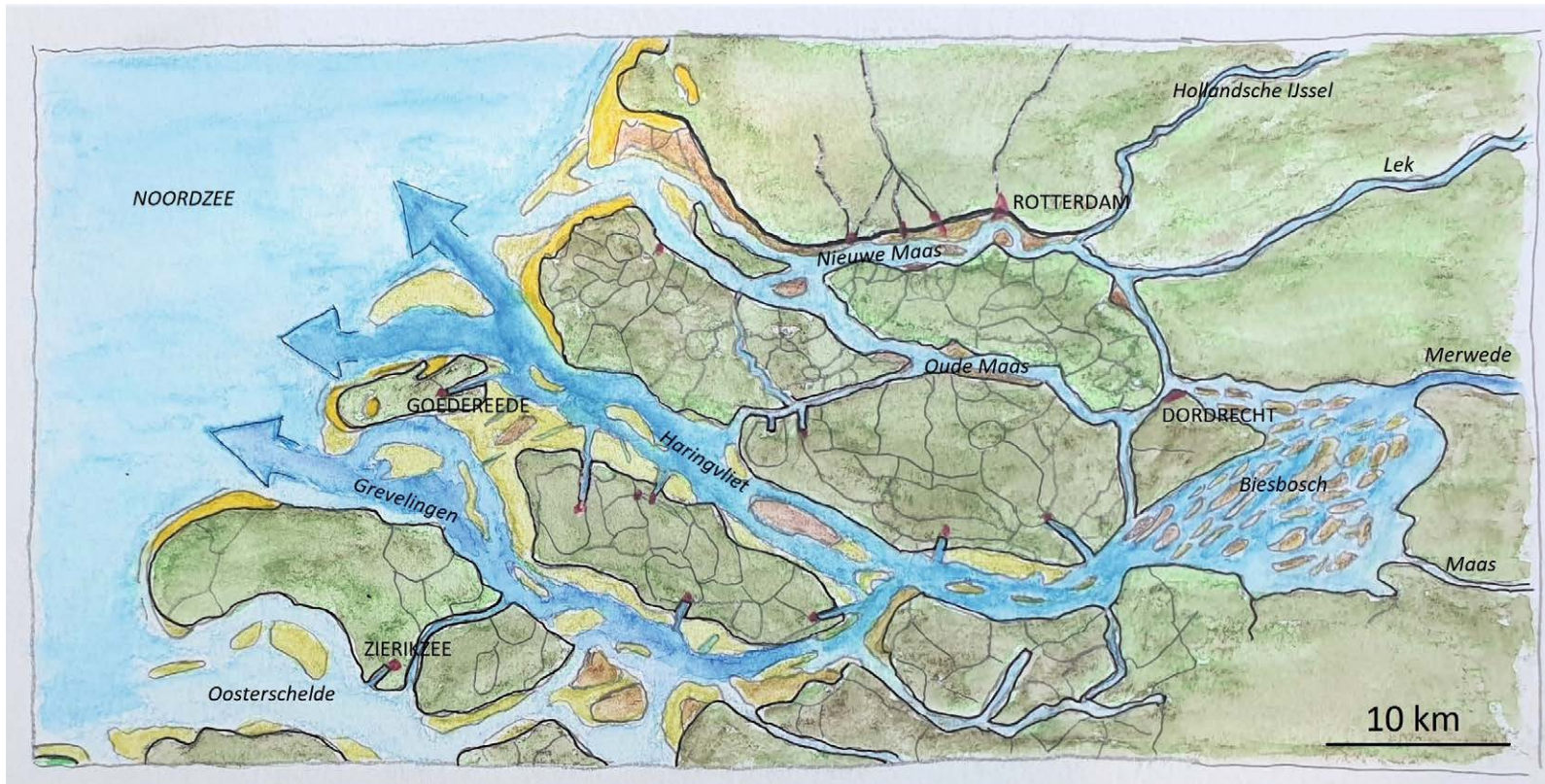
Stadsvorming op de kruisingen van Hoge Schielandse Dijk – Hoge Zeedijk en veenvriversen, ca. 1400.

009a

Map of the Rhine-Meuse estuary, c. 1400. The Oude Rijn (Leiden-Katwijk) has silted up. The Nieuwe Maas has become the new main outlet of both Rhine and Maas.

009b

Town formation at the junctions of Hoge Schielandse Dijk – Hoge Zeedijk and peat rivers, c. 1400.



	Rivier River		Zandige kust (duinen, strand) Sandy coast (dunes, beach)
	Veenrivier Peatland stream		Zandplaat Sandbar
	Uitgegraven veenplas Excavated peat bog		Aangeslibd land (slib en klei), regelmatig overstroomd Accreted land (silt and clay), frequently flooded
	Aangeslibd land Alluvial land		Aangeslibd land, sporadisch overstroomd Accreted land, sporadically flooded
	Bedijkt, ingepolderd land Dyked, impoldered land		Bedijkt en ingepolderd land Dyked and impoldered land
	Stedelijke nederzetting Urban settlement		Stedelijke nederzetting Urban settlement
	Verstedelijk gebied Urbanised area		
	Havens en industrie Harbours and industry		
	Hoofdwaterkering Main flood defence		

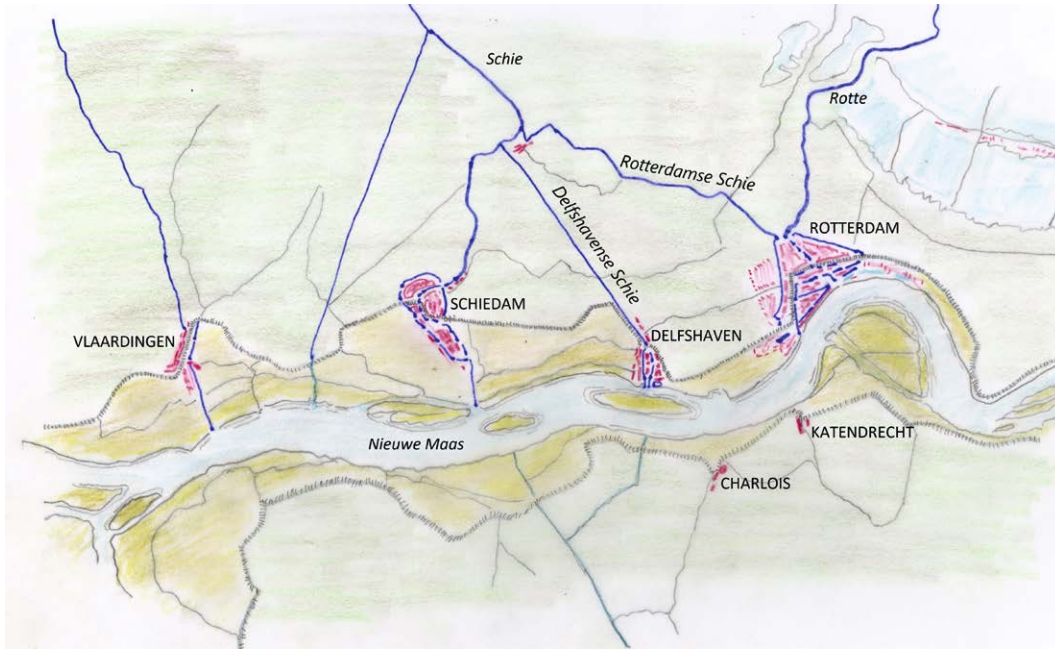
010a

Kaart van de Rijn-Maasmond, ca. 1600-1800. De Nieuwe Maas kampt met toenemende dichtslibbing. Rijn en Maas voeren hun water naar zee in toenemende mate af via Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde.

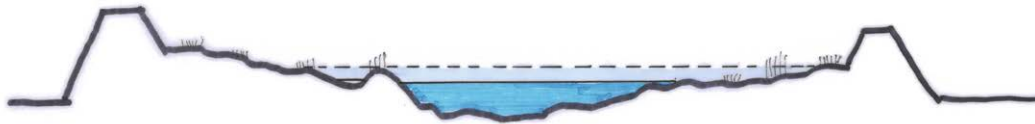
010a

Map of the Rhine-Maas estuary, c. 1600-1800. The Nieuwe Maas is contending with increasing siltation. Rhine and Maas increasingly discharge their water into the sea via Haringvliet, Grevelingen and Oosterschelde.

010b



010c



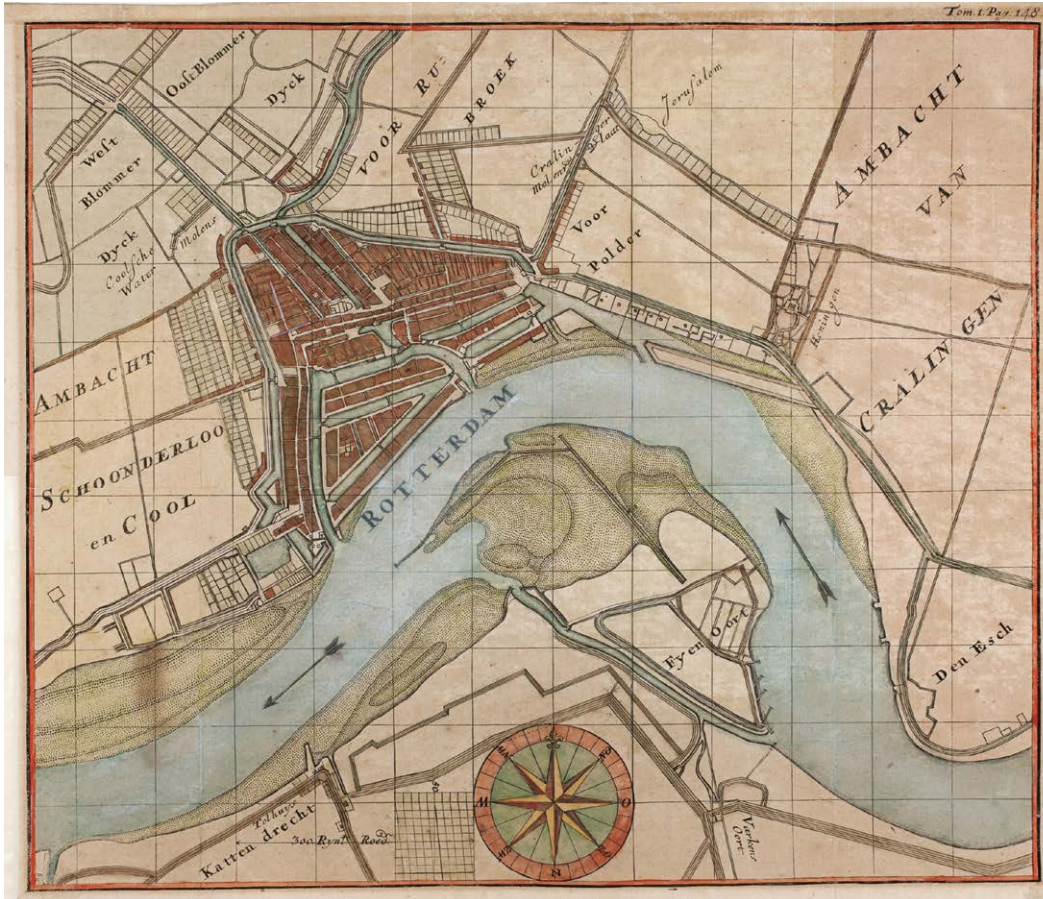
010b
 Stadsuitbreiding op nieuwe buitendijkse aanslibbingen, ca. 1600-1800.

010c
 Doorsnede rivierbed Nieuwe Maas, ca. 1600-1800. Het rivierbed is wel begrensd door bedijking, maar is nog relatief breed, met een relatief ondiepe hoofdgeul en graduele overgangen tussen land en water, waardoor het getijverschil gedempt wordt. Door verzanding en aanslibbing zijn de vorm van het rivierbed en de plaats en diepte van de hoofdgeul voortdurend aan verandering onderhevig.

010b
 Urban expansion on new accretions outside the dykes, c. 1600-1800.

010c
 Cross section of riverbed of Nieuwe Maas, c. 1600-1800. The riverbed, although delimited by embankments, is still quite wide, with a relatively shallow main channel and gradual transitions between land and water, attenuating the tidal range. Due to silting and accretion, the shape of the riverbed and the location and depth of the main channel are constantly changing.

011



011
Plattegrond Rotterdam,
handgekleurde kopergra-
vure uitgegeven in 1710 in
Den Haag door de weduwe
Meyndert Uytwerf (privécol-
lectie).

011
Map of Rotterdam, hand-
coloured copper engraving
published in 1710 in The
Hague by the widow of
Meyndert Uytwerf (private
collection).

Stijgend water, zinkende steden – Han Meyer

012



012
Gezicht op Rotterdam,
1780, Anonymous (Stads-
archief Rotterdam).

012
View of Rotterdam, 1780,
Anonymous (Rotterdam
City Archive).

32

others) the Nieuwe Maas. The gradual relocation of the Rhine's main outlet was reinforced by the damming of the Oude (or Kromme) Rijn near Wijk bij Duurstede in 1122 and of the Hollandsche IJssel near IJsselstein in 1285.³⁵

This alteration to the river's main discharge route was crucial to the emergence of the city of Rotterdam. From around 1000, a large area of peat that had formed behind the coastal barrier bars started to be cultivated for arable and livestock farming. Originally the Oude Rijn had played a key role in the drainage of this marshy area but its silting and the southwards relocation of the river mouth made it necessary to divert drainage to the new river mouth as well. Map 010a shows the new situation that arose after the twelfth and thirteenth centuries, with the Nieuwe Maas now the principal mouth of the Rhine and Maas rivers and the new settlements of Rotterdam, Schiedam and Vlaardingen on the north shore of this estuary. In the new drainage system, watercourses like the Rotte and the Schie were the main arteries for the discharge of excess polder water into the Nieuwe Maas. They also started to function as transport routes. Unfortunately, the dewatering also caused oxidation and compaction in the peat, leading in turn to subsidence, which made the peatland more susceptible to inundation during high water levels in the estuary. To counteract this problem the Schielandse Hoge Zeedijk, a sea dyke, was built in around 1250, as indicated in map 009b. At the point where this dyke crossed the main watercourses, such as the Rotte and the Schie, a special measure was required in the form of a dam with a sluice that could be opened to discharge polder water when river water levels were low. Because the dyke and the watercourses also functioned as traffic and transport routes, such dams were the perfect place for the emergence of fishing and trading settlements like Rotterdam, Schiedam and Vlaardingen.

Town expansion and siltation

Following the silting up of the Oude Rijn, the process of deposition and accretion became increasingly evident in the Nieuwe Maas. It led to a marked expansion of the salt marshes and mudflats outside the dykes. Map 010b shows the port and town extensions that were realized on this alluvial land around 1600. This development enabled Rotterdam to derive maximum profit from a pickup in trade and port activities after the port of Antwerp was crippled during the war with Spain.

As long as the sediment was deposited on the riverbanks, it was beneficial. The new land could be used for agriculture or town and port

extensions. But unfortunately accretion occurred *in* the river as well, creating bigger and bigger sandbanks and mudflats that were exposed at low tide or even permanently, and eventually embanked, like Rozenburg island. Navigation channels became narrower and shallower. Map 010a shows the continued southwards movement of the main outlet of the rivers Rhine and Maas; the river water had found a new principal sea outlet via the Haringvliet and Grevelingen inlets.

In the seventeenth century, the siltation of the Nieuwe Maas caused problems for shipping at the very moment when it was enjoying a boom period thanks to the introduction of bigger and more heavily laden ships that required deeper navigation channels. Beyond Rotterdam the ships were increasingly forced to detour via the Haringvliet or even the Grevelingen to reach the sea and vice versa. From an ecological perspective, however, on the north side of Rozenburg, the Nieuwe Maasmond and the Scheur were developing into a highly diverse estuary thanks to the many transition zones between wet and dry and between fresh and salt (fig. 010c). This rich ecosystem fostered a huge variety of plant, crustacean, shellfish and fish species. This is also evident from the various salmon fishing businesses that flourished on the banks of the Nieuwe Maas up to the beginning of the twentieth century.³⁶

The unique landscape that evolved in this estuary, together with the city and the shipping activity on the river, could depend on a growing appreciation among the citizens of Rotterdam. Initially the design of the new town expansion outside the dykes, dubbed the water city, was purely pragmatic and functional, with a system of plots and quays appropriate to the port and shipping business operations of the time. But in the second half of the seventeenth century the shipping companies relocated to the new Zalmhaven and the riverbank was planted with trees to enhance the view and as protection against the wind, rain and sun. This beautified Boompjeskade became an exclusive domain of merchants' houses and shipping offices. In scarcely a hundred years the riverside changed from a marginal peripheral zone into the city's grandest townscape and waterside promenade. The combination of the town and the river landscape of reed marshes and sandbars is finely depicted in a map of Rotterdam and surroundings dating from 1710, in which today's Kop van Zuid is just an undeveloped accretion (fig. 011). It was also a rewarding subject for paintings in which citizens in rowing boats can be seen enjoying a spot of fishing and drinking in the view of the town (fig. 012). On the other side of the river, the village of Katendrecht was being discovered as an attractive destination

35

G.J. Borger, F.H. Horsten and J.F. Roest, *De dam bij Hoppennesse. Gevolgen voor de afwatering van het gebied tussen Oude Rijn en Hollandsche IJssel, 1250-1600*, Hilversum 2016.

36

Several salmon fishing businesses are still marked on the Topographical Map of 1920, including Oranje Nassau (opposite Vlaardingen) and Merwede (at Bolnes) on the left bank of the Maas, and Prins Hendrik (between Vlaardingen and Schiedam) on the right bank of the Maas. See: www.topo-tijdreis.nl.

profiteren van de aantrekkelijke handels- en havenactiviteiten als gevolg van de oorlog met de Spanjaarden, die had geleid tot verlamming van de haven van Antwerpen.

Zolang het sediment zich afzette op de oevers leverde het voordelen op. Het nieuwe land kon benut worden voor landbouw of stads- en havenuitbreiding. Maar de keerzijde was dat ook in de rivier opslibbingen ontstonden: steeds grotere zandbanken en platen die bij laag water of zelfs permanent droogvielen en vervolgens werden ingedijkt, zoals het eiland Rozenburg. Vaargeulen werden steeds nauwer en ondieper. Kaart 010a laat zien dat de hoofdmonding van de rivieren Rijn en Maas opnieuw verschoof in zuidwaartse richting; via de zeegaten Haringvliet en Grevelingen vond het rivierwater een nieuwe hoofduitgang naar de zee.

De verzanding van de Nieuwe Maas veroorzaakte enerzijds problemen voor de scheepvaart, die juist in de zeventiende eeuw gekenmerkt werd door een bloeiperiode, mede door de inzet van grotere en zwaarder beladen schepen die diepere vaargeulen nodig hadden. De schepen werden steeds meer gedwongen vanaf Rotterdam langs een omweg door het Haringvliet of zelfs de Grevelingen naar zee te varen en vice versa. Anderzijds ontwikkelde de Nieuw Maasmond zich tezamen met het Scheur aan de noordzijde van Rozenburg in ecologisch opzicht tot een gevarieerd estuarium, dankzij de vele overgangsgebieden tussen nat en droog en tussen zoet en zout (afb. 010c). In dit rijke ecosysteem kon zich een enorme soortenrijkdom van planten, schaal- en schelpdieren en vis ontwikkelen. Dit blijkt ook uit de diverse zalmvisserijbedrijven die tot begin twintigste eeuw floreerden aan de oevers van de Nieuwe Maas.³⁶

Het bijzondere landschap dat zich in dit estuarium ontwikkelde, in combinatie met de stad en bedrijvigheid van scheepvaart op de rivier, kon op een groeiende waardering van de Rotterdamse burgerij rekenen. Aanvankelijk werd de nieuwe buitendijkse stadsuitbreiding, de waterstad genoemd, louter pragmatisch en functioneel vormgegeven, met een systeem van kavels en kaden dat paste bij de toenmalige bedrijfsvoering van haven- en scheepvaartbedrijven. Nog in de tweede helft van de zeventiende eeuw werden de scheepsbouwbedrijven echter verhuisd naar de nieuwe Zalmhaven en werd de rivierkade beplant met bomen ter veraangename van het zicht en ter bescherming tegen wind, regen en zon. De vernieuwde Boompjeskade werd een exclusief oord van koopmanshuizen en rederijkantoren. In nauwelijks honderd jaar tijd veranderde de rivierzijde van een marginale randzone tot het meest representatieve stadsaanzicht en de flaneerkade van de stad. De

combinatie van de stad en het rivierlandschap met rietgorzen en zandplaten wordt fraai verbeeld op een kaart van Rotterdam en omgeving uit 1710, waarop de huidige Kop van Zuid nog een onbekende aanwas is (afb. 011). Deze combinatie van stad en rivierlandschap vormde ook een dankbaar onderwerp voor schilderijen, waarop burgers te zien zijn die zich in roeibootjes vermaken met een beetje vissen en zich laven aan het uitzicht op de stad (afb. 012). Aan de overzijde van de rivier werd het dorp Katendrecht ontdekt als aantrekkelijke bestemming voor een dagtrip en als plek voor buitenhuizen van de Rotterdamse elite.

Industrialisatie en de Nieuwe Waterweg

De bereikbaarheid van Rotterdam voor zeeschepen werd echt een groot probleem met de ontwikkeling van de stoommachine, die tot een explosieve toename van de afmetingen van zeeschepen leidde. Maar dezelfde stoommachine vormde tevens een deel van de oplossing. Het andere deel bestond eruit dat in 1798 het gehele rivierensysteem onder het gezag van een nieuwe, nationale autoriteit was gekomen, met de (latere) naam Rijkswaterstaat. In 1863 aanvaardde Rijkswaterstaat het stoutmoedige plan van de jonge ingenieur Pieter Caland om een nieuwe riviermond voor Rijn en Maas te graven, die Rotterdam weer een directe verbinding met zee zou verschaffen. In feite beoogde het plan van Caland de neiging van de rivier tot zuidwaartse verlegging van de monding te stoppen en de rivier te dwingen de Nieuwe Maas met Nieuwe Waterweg als belangrijke monding te herstellen. De meningen over dit plan waren verdeeld; minister-president Thorbecke vond het een 'riskant waagstuk'.³⁷ Maar na enkele kinderziektes overwonnen te hebben werd het project in 1896 succesvol voltooid (afb. 014a en 014b).

Deze ingreep had vergaande gevolgen. Het meest bekende en benadrukte is de spectaculaire groei van de Rotterdamse haven, die wat betreft de hoeveelheid overgeslagen goederen de grootste van Europa was en enige tijd ook van de wereld. Anno 2020 vormt de Rotterdamse haven in ruimtelijk opzicht het grootste aaneengesloten havengebied ter wereld, ongeveer 12.000 hectare groot. Een ander gevolg was het vrijwel geheel verdwijnen van het estuariene ecosysteem.³⁸ Met het graven van de Nieuwe Waterweg en de groei van de Rotterdamse haven veranderde immers het estuarium met zijn vele ondiepten, slikken en gorzen in een gekanaliseerde waterweg met louter harde randen van kaden en stenen taluds (afb. 014c). Het idyllische deltalandschap, zoals dat werd verbeeld in de vroege achttiende eeuw, transformeerde in korte

36

Op de Topografische kaart van 1920 zijn nog steeds verschillende zalmvisserijbedrijven te vinden, onder andere Oranje Nassau (tegenover Vlaardingen) en Merwede (bij Bolnes) op de linker Maasoever en Prins Hendrik (tussen Vlaardingen en Schiedam) op de rechter Maasoever. Zie www.topotijdsreis.nl.

37

G.P. van de Ven, *De Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal, een waagstuk* (Onderzoek in opdracht van de Deltacommissie), Den Haag 2008.

38

P. Paalvast, *Ecological Studies in a Man-made Estuarine Environment. The Port of Rotterdam*, Nijmegen (PhD thesis Radboud University) 2014.

for a day trip and a perfect place for the holiday homes of the Rotterdam elite.

Industrialisation of the Nieuwe Waterweg

Rotterdam's accessibility for ships became a major problem with the invention of the steam engine, which led to an explosive increase in the size of ships. But that same steam engine proved to be part of the solution. The other part lay in the fact that in 1798 the entire river system had been brought under the control of new, national authority, known since 1848 as Rijkswaterstaat. In 1863 Rijkswaterstaat accepted an audacious plan by the young engineer Pieter Caland to dig a new river mouth for the Rhine and Maas, which would restore Rotterdam's direct connection with the sea. Basically, Caland's plan envisaged halting the river's southward tendency and forcing it to restore the primacy of Nieuwe Maas/Nieuwe Waterweg estuary. Opinions on this plan were divided, with the prime minister of the day, J. R. Thorbecke, declaring it a 'risky enterprise'.³⁷ But in 1896, after a few teething problems had been overcome, the project was successfully completed (figs. 014a and 014b).

This intervention had far-reaching consequences. The best known and most often cited is the spectacular growth of the Port of Rotterdam, which in terms of the quantity of trans-shipped goods was the largest port in Europe and for a while in the world as well. In spatial terms the Port of Rotterdam is currently the largest continuous port area in the world, covering some 12,000 hectares. Another consequence of the intervention was the almost total disappearance of the estuarine ecosystem.³⁸ The digging of the Nieuwe Waterweg and the growth of the Port of Rotterdam turned the estuary, with its many shallows, mudflats and salt marshes, into a canalised waterway flanked by hard-edged quays and stone-clad embankments (fig. 014c). In a short space of time, the idyllic delta landscape so lovingly depicted in the early eighteenth century was transformed into an industrial dock landscape.

Since its construction, the Nieuwe Waterweg has been regularly deepened. Before its construction, the average depth of the Nieuwe Maas was six metres. The Nieuwe Waterweg has been deepened in several stages, reaching a depth of sixteen metres in 2020. This depth does not remain constant. Tidal flows drive large quantities of sand into the river mouth and the river itself contributes, albeit to a lesser degree, with a gradual deposition of fluvial silt. To maintain the depth of the Nieuwe Waterweg and associated harbours, 1.3 million cubic metres of sand and silt are dredged up every year and deposited in the sea.³⁹

The systematic deepening of the river mouth

has resulted in a growing disparity between low and high water due to ebb and flood tides. Over time, as a result of the repeated deepening of the Nieuwe Waterweg, the tidal range (the difference between ebb and flood) has increased by more than fifty per cent compared with the situation before 1871: from 120 to 180 cm in the Nieuwe Maas at Rotterdam.⁴⁰ This means that the urban area, too, has become more susceptible to extremely high sea levels, with the areas outside the dykes in particular more vulnerable to flooding. In the 1950s and '60s this situation prompted the reinforcement and relocation of the main flood defences. While this dyke relocation may have reduced the risk of flooding for large areas of the city previously outside the dyke, it also rendered the river virtually invisible and inaccessible from the city. Further dyke heightening has so far been avoided by the construction of the Maeslant storm surge barrier in the Nieuwe Waterweg in the 1990s. This barrier is closed when water levels over three metres above NAP are forecast.

Apart from higher water levels, the continued deepening of the Nieuwe Waterweg is leading to an increase in seaborne saline intrusion into the river mouth. The (heavier) salt seawater is more easily able to invade the deepened river mouth and penetrate further inland, posing a threat to the supply of freshwater needed by agriculture, industry and for drinking water.⁴¹ To counteract the saline intrusion it has become increasingly important to keep the pressure of river water on the river mouth as high as possible. In the course of the twentieth century, aided by the Zuiderzee works, Delta works and various storage dams, the Dutch river network has been transformed into an ingenious system whereby the volume of water is meticulously distributed over the various river branches. Sufficient water pressure against the saltwater intrusion in the Nieuwe Waterweg is one of the chief aims of this management system. The Nieuwe Waterweg needs a pressure of at least 800 m³/sec to adequately hold back the seawater intrusion. In periods of drought and a reduced flow of water in the rivers (less than 1000m³/sec at Lobith) the river control system directs as much water as possible to the Nieuwe Waterweg. This occurred for prolonged periods during the dry summers of 2018 and 2019 when, especially in 2018, a critical situation loomed with the freshwater supply from the IJsselmeer.⁴² The river system is a typical product of this industry-dominated period: not only is it at the service of industrial development, it is also treated and designed as an industrial mechanism that can be controlled using an ingenious system of switches and valves (fig. 015).

37

G.P. van de Ven, *De Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal, een waagstuk* (Study commissioned by the Delta committee), The Hague 2008.

38

P. Paalvast, *Ecological Studies in a Man-made Estuarine Environment. The Port of Rotterdam*, Nijmegen (PhD thesis Radboud University) 2014.

39

Information supplied by Havenbedrijf Rotterdam 2018.

40

Paalvast 2014 (note 38).

41

Hydraulisch BV, *Verzilting door verdieping Nieuwe Waterweg en Botlek. Deelonderzoek MER*, Rotterdam 2015.

42

N. Kramer, M. Mens (Deltares), J. Beersma (KNMI) and N. Kielen (Rijkswaterstaat), 'Hoe extreem was de droogte van 2018?', *H2O magazine*, 26 August 2019, 1-7.

tijd in een industrieel havenlandschap.

Na de aanleg is de Nieuwe Waterweg regelmatig verdiept. Vóór de aanleg ervan was de diepte van de Nieuwe Maas gemiddeld zes meter. De Nieuwe Waterweg is in verschillende fases uitgediept tot een diepte van zestien meter in 2020. Deze diepte blijft niet vanzelf in stand; door vloedstromen worden grote hoeveelheden zand de riviermond in gestuwd. Daarnaast levert de rivier zelf, weliswaar in mindere mate, een bijdrage met een gestage aanvoer van rivierslib. Teneinde de Nieuwe Waterweg en de aangesloten havens op diepte te houden, wordt jaarlijks 1,3 miljoen kubieke meter zand en slib uitgebaggerd en in zee gedeponeerd.³⁹

De stelselmatige verdieping van de riviermond heeft geleid tot een steeds groter verschil tussen laag- en hoogwater als gevolg van eb en vloed. In de loop der tijd is deze zogenoemde getijdenslag door verschillende verdere verdiepingen van de Nieuwe Waterweg met vijftig procent toegenomen ten opzichte van de situatie voor 1871: van 120 naar 180 cm in de Nieuwe Maas ter hoogte van Rotterdam.⁴⁰ Dit betekent dat ook dat het stedelijk gebied gevoeliger is geworden voor extreem hoge waterstanden op zee, waardoor met name buitendijkse gebieden kwetsbaarder zijn voor overstroming. Het vormde aanleiding voor versterking en verlegging van de hoofdwaterkering in de jaren 1950 en 1960. Deze dijkverlegging heeft weliswaar het overstromingsrisico van grote, voorheen buitendijks gelegen delen van de stad verkleind, maar heeft ook de rivier vrijwel onzichtbaar en ontoegankelijk gemaakt vanuit de stad. Verdere dijkverhogingen zijn voornamelijk voorkomen door de bouw van de Maeslant-stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in de jaren 1990. Deze kering wordt gesloten wanneer waterstanden van meer dan drie meter boven NAP worden verwacht.

Naast hogere waterpeilen leidt de steeds verdere verdieping van de Nieuwe Waterweg tot een versterking van de zoutindringing vanaf zee in de riviermond. Het (zwaardere) zoute zeewater kan gemakkelijker de verdiepte riviermonding binnestromen en verder landinwaarts indringen, waardoor het een bedreiging van de zoetwatervoorziening wordt ten behoeve van landbouw, industrie en drinkwater.⁴¹ Om de zoutindringing tegen te gaan, is het steeds belangrijker geworden om de druk van het rivierwater op de riviermond zo hoog mogelijk te houden. Met behulp van de Zuiderzeewerken, Deltawerken en diverse stuwdammen is het Nederlandse rivierensysteem in de loop van de twintigste eeuw veranderd in een ingenieus stelsel waarmee de verdeling van de afvoer over de verschillende riviertakken nauwkeurig gereguleerd kan worden. Voldoende water-

druk tegen de zouttong in de Nieuwe Waterweg is een van de belangrijkste doelen van dit reguleringssysteem. De Nieuwe Waterweg heeft minimaal 800 m³/sec nodig om de zouttong voldoende te kunnen tegenhouden. In periodes van droogte en weinig wateraanvoer door de rivieren (bij een aanvoer van minder dan 1000 m³/sec bij Lobith) wordt via het regelsysteem in de rivieren zo veel mogelijk water naar de Nieuwe Waterweg gestuurd. Dit is langdurig het geval geweest tijdens de droge zomers van 2018 en 2019, waarbij met name in 2018 een kritieke situatie dreigde te ontstaan met de zoetwatervoorraad van het IJsselmeer.⁴² Dit riviersysteem is een typisch product van deze periode van industrialisatie: het staat niet alleen ten dienste van industriële ontwikkeling, maar het is zelf ook behandeld en vormgegeven als een industrieel mechanisme, dat met een ingenieus stelsel van knoppen en kleppen gereguleerd kan worden (afb. 015).

Een toekomst voor Rotterdam en de Rijn-Maasmonding

Sinds de jaren 1980 zijn verschillende buitendijkse havengebieden getransformeerd tot stedelijk gebied. Inmiddels wonen ruim zestigduizend mensen in de regio Rotterdam in buitendijkse gebieden. Het zijn juist deze gebieden waarop de stad heeft ingezet als het 'gezicht' van 'Het Nieuwe Rotterdam', maar die tegelijk relatief kwetsbaar zijn voor extreem hoogwater.⁴³

Nadat Nederland in 1993 en 1995 werd opgeschrikt door twee extreme hoogwatersituaties in het rivierengebied en zich in 2005 een overstromingsramp in New Orleans voltrok, is door de rijksoverheid in 2005 het programma 'Ruimte voor de Rivier' gestart en in 2009 het Deltaprogramma, dat tot doel heeft de kans op overstrooming van het Nederlandse grondgebied te minimaliseren en de zoetwatervoorziening te garanderen.⁴⁴ Het Deltaprogramma heeft in 2015 geleid tot de eerste 'Deltabeslissing' en wordt daarna elke zes jaar herijkt.⁴⁵ Op het moment van schrijven van dit artikel vinden de voorbereidingen en discussies voor de herijking van 2021 plaats.

Het Deltaprogramma is onderverdeeld in een aantal regionale en thematische deelprogramma's,⁴⁶ waarvan de regio Rotterdam (in het Deltaprogramma 'Rijnmond-Drechtsteden' genoemd) de belangrijkste bottleneck is: in de eerste plaats omdat het de meest verstedelijkte en geïndustrialiseerde en daarmee de meest complexe regio van Nederland is, waarin elke interventie op het gebied van dijkverhoging of dijkverlegging of op het gebied van de sediment-waterbalans grote gevolgen zal hebben voor het ruimtegebruik en de economische ontwikkeling in de regio. In de tweede plaats omdat het gehele Neder-

39
Gegevens Havenbedrijf Rotterdam 2018.
40
Paalvast 2014 (noot 38).
41
Hydraulic BV, <i>Verzilting door verdieping Nieuwe Waterweg en Botlek. Deelonderzoek MER</i> , Rotterdam 2015.
42
N. Kramer, M. Mens (Deltares), J. Beersma (KNMI) en N. Kielen (Rijkswaterstaat), 'Hoe extreem was de droogte van 2018?', <i>H2O magazine</i> , 26 augustus 2019, 1-7.
43
Meyer 1996 (noot 32).
44
D. Sijmons e.a., <i>Ruimte voor de Rivier. Veilig en mooi landschap</i> , Wageningen 2017.
45
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische zaken, <i>Delta-programma 2015. Werk aan de Delta. De beslissingen om Nederland veilig en leefbaar te houden</i> , Den Haag 2015. Zie www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/deltaprogramma-2020/deltaprogramma-2015 .
46
Het Deltaprogramma kent de regionale deelprogramma's Kust, Waddenzee, IJsselmeergebied, Rivieren, Zuidwestelijke delta en Rijnmond-Drechtsteden, en de thematische deelprogramma's Waterveiligheid, Zoetwater en Ruimtelijke Adaptatie.

A future for Rotterdam and the Rhine-Maas estuary

Since the 1980s several docklands outside the dykes have been redeveloped as urban zones. Over sixty thousand people now live in the Rotterdam region in areas outside the dykes. These are precisely the areas the city has set its sights on to be the 'face' of 'The New Rotterdam', but which are also relatively vulnerable to extreme high water.⁴³

In the wake of two extreme high water events in the Dutch river region in 1993 and 1995, and the flood disaster in New Orleans in 2005, the Netherlands government launched the 'Room for the River' programme in 2005, and in 2009 the Delta Programme, whose aim is to minimise the risk of flooding in the Netherlands and to safeguard the freshwater supply.⁴⁴ Starting with the first 'Delta Decision' of 2015, the Delta Programme is recalibrated every six years.⁴⁵ At the time of writing, preparations and discussions are taking place ahead of the 2021 reassessment.

The Delta Programme is divided into a number of regional and thematic sub-programmes,⁴⁶ of which the Rotterdam region (called 'Rijmond-Drechtsteden' in the Delta Programme) is the most problematical. Firstly, because it is the most urbanized and industrialized and as such the most complex region in the Netherlands, in which every intervention pertaining to dyke heightening or relocation, or to the sediment-water balance will have significant implications for spatial and economic development in the region. Secondly because, as we saw earlier, the entire Dutch river discharge system is geared to maintaining a maximum water pressure on the Nieuwe Waterweg.

The Netherlands faces a fundamental choice: either to continue consolidating the situation that has been artificially maintained since the construction of the Nieuwe Waterweg (the situation in fig. 014a), or to relocate the main river water discharge to the more southerly Hollandsch Diep-Haringvliet inlet. The first option (consolidation) entails reinforcing and heightening the existing main water defence system (dykes, storm surge barriers) where necessary and making adjustments in the areas outside the dykes. The second option allows for the tendency of the rivers to reroute the discharge southwards (as we have already seen in fig. 010a). The Hollandsch Diep-Haringvliet inlet also offers a lot more space for additional water storage during extreme peak discharge events, which would make it possible to minimise the role of the Nieuwe Maas-Nieuwe Waterweg in the discharge system.

In 2015 the Delta Programme provisionally settled on the first option; the importance of port and shipping interests precluded any fundamental

reassessment of the role of the Nieuwe Waterweg. But that may well change with the recalibration of the Delta Programme in 2021. Whereas in 2015 the working hypothesis was a sea level rise of 80 cm and in the most extreme case 130 cm, new calculations suggest that by 2100 that rise could amount to as much as two metres or even more.⁴⁷ That being so, additional measures need to be taken to protect Rotterdam against the possibility of a future combination of extreme peak river discharge and a storm surge at sea.

However, some parties to the Delta Programme are now starting to call for the second option – relocating the main river discharge to the Haringvliet inlet in combination with a radical change in the role of the Nieuwe Waterweg – to be explored as a possible solution.⁴⁸ In the early years of the Delta Programme (2009-2012) a design study and publication commissioned for the International Architecture Biennale Rotterdam had already suggested that a relocation of the main river discharge route to the Haringvliet would open up new possibilities and opportunities and allow the impact of the sea on the Nieuwe Waterweg and the urbanized hinterland to be minimized (fig. 016). The question is whether this should take the form of a sluice complex as advocated by a proposal currently circulating within the Delta Programme.⁴⁹

The logical solution would be to embrace and enlarge on the ambitions of the City of Rotterdam, Havenbedrijf Rotterdam, and nature organisations to develop the river as a 'tidal park'.⁵⁰ In line with this ambition the riverbanks, instead of the current high, steep embankments, would be laid out as more gradual transition zones between land and water where tidal nature and some of the estuarine ecosystem could develop. This would also make it possible to realise new types of urban environments along the river. Elaborating on this, not just the banks but the entire riverbed could be developed as a tidal river where the process of siltation and deposition would lead to a 'shallowing' of the Nieuwe Waterweg, which would serve to push back the saltwater intrusion, reduce the tidal range (and with it the impact of high water) and restore the estuarine ecosystem around the river mouth.

The debate about the future of the Nieuwe Waterweg comes at a moment when the Port of Rotterdam and the shipping industry are already undergoing substantial change. Sixty per cent of the Rotterdam port area is occupied by petrochemical companies and is destined to change significantly in the coming decades. Both worldwide and at the regional and local level, flows of raw materials, semi-finished and end products, production methods and energy supply will all

43
Meyer 1999 (note 32).

44
D. Sijmons et al., *Room for the River. Safe and Attractive Landscapes*, Wageningen 2017.

45
Ministry of Infrastructure and Environment, Ministry of Economic Affairs, *Deltaprogramma 2015. Werk aan de Delta. De beslissingen om Nederland veilig en leefbaar te houden*, The Hague 2015. See www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/deltaprogramma-2020/deltaprogramma-2015.

46
The Delta Programme comprises the regional sub-programmes Coast, Waddenzee, IJsselmeer region, Rivers, Southwest Delta, and Rijnmond-Drechtsteden, and the thematic sub-programmes Water safety, Freshwater and Spatial Adaptation.

47
Deltares, Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning, Delft 2018.

48
The year 2020 saw the start of the new Kennisprogramma Zeespiegelstijging, in which various options for the Rhine-Maas estuary will be explored in the context of withstanding an extreme sea level rise. See www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/kennisprogramma-van-het-deltaprogramma/kennisprogramma-zeespiegelstijging.

49
The proposal in question is 'Plan Spaargaren' by a group of former Rijkswaterstaat employees and former professors of hydraulic engineering headed by the civil engineer Frank Spaargaren. See F. Spaargaren, 'Sluit de Nieuwe Waterweg af', *De Ingenieur* 10 September 2014, www.deingenieur.nl/artikel/sluit-de-nieuwe-waterweg-af#.

50
De Urbanisten, *De rivier als getijdenpark. Groeiodocument 2018 (in opdracht van de gemeente)*, Rotterdam 2018. See www.rotterdam.nl/wonen-leven/getijdenpark/Getijdenpark.pdf.

landse systeem van rivierwaterafvoer afgestemd is op het handhaven van een maximale waterdruk op de Nieuwe Waterweg, zoals we hiervoor zagen.

Nederland staat voor een fundamentele keuze: ofwel een verdere consolidatie van de situatie die sinds de aanleg van de Nieuwe Waterweg kunstmatig in stand wordt gehouden (de situatie van afb. 014a), ofwel een verlegging van de hoofdafvoer van het rivierwater naar het meer zuidelijk gelegen zeegeat Hollandsch Diep-Haringvliet. De eerste optie (consolidatie) betekent daar waar nodig versterking en verhoging van het bestaande systeem van hoofdwatkeringen (dijken, stormvloedkeringen) en aanpassingen aan de buitendijkse gebieden. De tweede optie geeft de ruimte aan de neiging van de rivieren om de afvoer in zuidelijke richting te verleggen (zoals we hiervoor al zagen, zie afb. 010a). Het zeegeat Hollandsch Diep-Haringvliet biedt bovendien veel meer ruimte voor extra waterberging tijdens extreme piekafvoeren. In dit geval kan de rol van de Nieuwe Maas-Nieuwe Waterweg in het afvoersysteem worden geminimaliseerd.

In 2015 koos het Deltaprogramma vooralsnog voor de eerste optie: de belangen van haven en scheepvaart waren te groot om de rol van de Nieuwe Waterweg fundamenteel ter discussie te stellen. Voor de herijking van het Deltaprogramma in 2021 beginnen de kansen te keren. Terwijl in 2015 nog rekening gehouden werd met een zeespiegelstijging van 80 cm en in het meest extreme geval 130 cm in 2100, hebben nieuwe berekeningen aangegeven dat die stijging wel eens twee meter of meer zou kunnen bedragen.⁴⁷ In dit geval zouden in de toekomst bij een combinatie van een extreme piekafvoer van de rivieren en een stormvloed op zee extra voorzieningen aangebracht moeten worden om Rotterdam te beveiligen.

Anno 2020 gaan er echter ook in het Deltaprogramma stemmen op om de optie van de verlegging van de hoofdafvoer van de rivieren naar het Haringvliet in combinatie met een sterke verandering van de rol van de Nieuwe Waterweg als mogelijke oplossing te onderzoeken.⁴⁸ In de beginjaren van het Deltaprogramma (2009-2012) is in een ontwerpstudie en publicatie voor de Internationale Architectuur Biënnale Rotterdam al aan de orde gesteld dat een verlegging van de hoofdafvoer van de rivieren naar het Haringvliet nieuwe mogelijkheden en kansen biedt (afb. 016). De invloed van de zee op de Nieuwe Waterweg en het verstedelijkte achterland zou geminimaliseerd kunnen worden. De vraag is of dit uitgevoerd moet worden in de vorm van een sluzencomplex, zoals een voorstel propageert dat nu in het Deltaprogramma circuleert.⁴⁹

Logisch zou zijn om aan te sluiten en voort te bouwen op de ambities van de gemeente Rot-

terdam, Havenbedrijf Rotterdam en natuurorganisaties om de rivier als een 'getijdenpark' te ontwikkelen.⁵⁰ Volgens deze ambitie zouden de rivieroevers, in plaats van de hoge en steile kades, voorzien moeten worden van meer graduele overgangszones tussen land en water, waarin getijdennatuur en een deel van het estuariene ecosysteem tot ontwikkeling kunnen komen. Dit biedt ook de mogelijkheid om nieuwe typen stadsmilieus langs de rivier te realiseren. Hierop voortbouwend zouden niet alleen de oevers, maar het gehele rivierbed als een getijdenrivier ontwikkeld kunnen worden, waarbij het proces van verzanding en aanslibbing zal leiden tot een 'verondieping' van de Nieuwe Waterweg. Daarmee kan worden bereikt dat de zouttong wordt teruggedrongen, de getijdenslag wordt verkleind (en daarmee ook van de invloed van hoogwater) en het estuariene ecosysteem in het gebied van de riviermond wordt hersteld.

De discussie over de toekomst van de Nieuwe Waterweg komt op een moment dat de Rotterdamse haven en de scheepvaart al aan grote veranderingen onderhevig zijn. Het Rotterdamse havengebied wordt voor zestig procent in beslag genomen door petrochemische bedrijven en zal de komende decennia sterk van karakter veranderen. Zowel wereldwijd als op regionaal en lokaal niveau zullen stromen van grondstoffen, half- en eindfabricaten, productiewijzen en energievoorziening sterk veranderen onder invloed van energietransitie, automatisering en digitalisering. Tezamen met nieuwe ontwikkelingen in de haventechnologie en scheepvaart (onder andere zelfvarende robotschepen) ligt er een opgave om het grondgebruik in de haven fundamenteel te herzien. Het proces van verschuivingen intern in het havengebied en van het havengebied als geheel vindt in feite al decennialang plaats, sinds de overdracht van haventerreinen in de Kop van Zuid en van het Lloydkwartier aan de stad, hetgeen de herbestemming van deze terreinen tot stedelijk gebied mogelijk maakte.

Het is niet ondenkbaar dat de diepe zeehavens in de toekomst geconcentreerd zullen zijn in de Europoort (het deel van het havengebied dat via het onafhankelijke Calandkanaal bereikbaar is) en de in zee gelegen Maasvlakte 1 en 2. De Nieuwe Waterweg kan dan aanzienlijk opslibben; de verondiepte riviermonding biedt nog in beperkte mate doorgang aan kleinere zeeschepen en binnenvaartschepen, maar draagt vooral bij aan een nieuwe en veilige relatie tussen stad en rivierlandschap (afb. 017).

47

Deltares, *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma. Een verkenning*, Delft 2018.

48

In 2020 is het nieuwe Kennisprogramma Zeespiegelstijging gestart, waarin onder andere verschillende opties voor de Rijn-Maasmonding worden onderzocht om een extreme zeespiegelstijging het hoofd te bieden. Zie www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/kennisprogramma-van-het-deltaprogramma/kennisprogramma-zeespiegelstijging.

49

Het betreft hier het 'Plan Spaargaren' van een groep oud-medewerkers van Rijkswaterstaat en oud-hoogleraren waterbouwkunde onder leiding van de ingenieur Frank Spaargaren. Zie F. Spaargaren, 'Sluit de Nieuwe Waterweg af', *De Ingenieur* 10 september 2014, www.deingenieur.nl/artikel/sluit-de-nieuwe-waterweg-af#.

50

De Urbanisten, *De rivier als getijdenpark. Groeidocument 2018 (in opdracht van de gemeente)*, Rotterdam 2018. Zie www.rotterdam.nl/wonen-leven/getijdenpark/Getijdenpark.pdf.

change dramatically as a result of energy transition, automation and digitisation. Alongside new developments in port technology and shipping (including autonomous robot ships) the challenge is to fundamentally rethink land utilisation in the port area. The process of shifts within the port area and of the port area as a whole has actually been taking place for decades, ever since the transfer of the Kop van Zuid and Lloydkwartier docklands to the city, making possible their redevelopment as urban areas.

It is not inconceivable that the deep sea-ports will in future be concentrated in Europoort (the section of the port accessible via the independent Caland canal) and the offshore ports Maasvlakte 1 and 2. The Nieuwe Waterweg can then be allowed to silt up; the shallowed river mouth will still provide limited access to small sea-going ships and inland vessels, but its main contribution will be to a new and safe relationship between city and river landscape (fig. 017).

Conclusion

The development of the cities of Venice and Rotterdam in relation to their respective regional water systems is a story that could be told of other cities located on river mouths and in deltas or lagoons. It is the paradoxical history of urban growth and wealth sustained by extracting maximum profit from the unique waterside location, a practice that ultimately costs the city dearly. In both cases the port economy dominated decision-making and the water system was adapted as far as possible to the development of that port economy, in the process increasing the vulnerability of the city and the landscape. In both cases three conclusions can be drawn.

Firstly: making better use of and responding to the natural tendencies and changes in the regional water system offers prospects for reducing the vulnerability of the urbanised landscape and for radically ameliorating the ecosystem. Crucial to achieving this is the restoration of a stable sediment-water balance.

Secondly: this radical change can only occur in combination with a thorough restructuring of the port economy and shipping industry. It is no accident that this coincides with the growing need for a fundamental transformation of these ports in relation to energy transition. Both ports are heavily geared to the trans-shipment, storage and processing of fossil fuels. Given the need to develop a policy for the scaling-back of these activities and for the potential development of new types of port activities, there is an opportunity here to grasp the nettle and take the desired new situation of the regional water system as the starting point.

Thirdly: the history of the relation between city and water system reveals considerable variation in the way in which the natural system of lagoon, delta and estuary has played a role in urban culture and also been critical to withstanding problems like high water and saltwater intrusion. Greater concern for and attention to the historical evolution of the relation between city and river – including the periods when sandbars, reed marshes and fishing businesses still dotted the shores of lagoon, delta and river – can play a crucial role in strengthening a collective awareness of the importance of a stable sediment-water balance for the urban landscape.

Slot

De ontwikkelingen van de steden Venetië en Rotterdam in relatie met de regionale watersystemen vertellen een verhaal dat voor vele steden gelegen aan riviermondingen en in delta's of lagunes kan worden verteld. Het is de paradoxale geschiedenis van stedelijke groei en rijkdom door maximaal profijt te halen uit de bijzondere ligging aan het water, hetgeen de stad uiteindelijk duur komt te staan. In beide gevallen is de havenconomie leidend geweest en is het watersysteem maximaal aangepast aan de ontwikkeling van die havenconomie, wat geleid heeft tot een toename van de kwetsbaarheid van stad en landschap. In beide gevallen zijn drie conclusies te trekken.

Ten eerste: het beter gebruikmaken van en inspelen op de natuurlijke neigingen en veranderingen van het regionale watersysteem biedt perspectieven voor een vermindering van de kwetsbaarheid van het verstedelijkt landschap en voor een drastische verbetering van het ecosysteem. Hierbij speelt het herstel van een evenwichtige sediment-waterbalans een cruciale rol.

Ten tweede: deze radicale verandering kan alleen plaatsvinden in samenhang met een ingrijpende aanpassing van de havenconomie en scheepvaart. Niet toevallig valt dit samen met de groeiende noodzaak in deze havens tot een fundamentele transformatie vanwege de energietransitie. Beide havens zijn grotendeels afgestemd op de overslag, opslag en verwerking van fossiele brandstoffen. Nu er sowieso een beleid ontwikkeld moet worden voor de afbouw van deze activiteiten en voor de eventuele ontwikkeling van nieuwe typen havenactiviteiten, kan de koe bij de horens worden gevat door de gewenste nieuwe situatie van het regionale watersysteem als uitgangspunt te nemen.

Ten derde: de geschiedenis van de relatie tussen stad en watersysteem laat een grote variatie zien in de wijze waarop het natuurlijk systeem van lagune, delta en riviermonding een rol heeft gespeeld in de stedelijke cultuur en tegelijk van belang is geweest om problemen als hoogwater en zoutwaterindringing het hoofd te bieden. Meer aandacht voor de historische evolutie van de relatie tussen stad en rivier – inclusief de perioden toen zandplaten, rietgorzen en visserijbedrijven aan de oevers van lagune, delta en rivier te vinden waren – en het zichtbaar maken daarvan kan een belangrijke rol spelen in het versterken van een collectief bewustzijn van het belang van een evenwichtige sediment-waterbalans voor het stadslandschap.

Bronnen kaarten en doorsneden

De kaarten en doorsneden van de Lagune van Venetië en de stad Venetië zijn gemaakt door de auteur en gebaseerd op gegevens en interpretaties van:

- Città di Venezia, Cartografia et Viabilità, <https://www.comune.venezia.it/de/archivio/3836>
 - Topographic maps Italy, <https://en-gb.topographic-map.com/maps/d99/Italy/>
 - Ufficio Idrografico della Magistrato alle Acque, Carta idografica Laguna Venezia 1810-2020.
 - R. Brigand, 'Les Paysages Agraires de la Plaine Vénitienne. Hydraulique et Planification entre Antiquité et Renaissance', in: J. Burnouf e.a. (red.), *L'Europe en mouvement. Medieval Europe* (4e Congrès international d'Archéologie Médiévale et Moderne), Paris 2007.
 - L. D'Alpaos, *Evoluzione morfologica della laguna di Venezia*, Venezia 2010.
 - K. Dell'Olivo, *Construire à Venise. Les stratégies de construction et de développement urbain au sein du système lagunaire vénète*, Lausanne 2011.
 - F. Mancuso, *Venezia è una città. Come è stata costruita e come vive*, Venezia 2009.
 - N. Tambroni en G. Seminara, 'Are inlets responsible for the morphological degradation of Venice Lagoon?', *Journal of Geophysical Research* 111 (2006), 1-19.
 - E. Trincinato en U. Franzoi, *Venise au fil du temps. Atlas historique d'urbanisme et d'architecture*, Boulogne-Billancourt 1971.
 - P. Viganò, B. Secchi en L. Fabian, *Water and Asphalt. The Project of Isotropy* (UFO. Explorations of Urbanism; 5), Zürich 2016.
- De kaarten en doorsneden van de Rijn-Maas delta en de Nieuwe Maas en omgeving zijn gemaakt door de auteur en gebaseerd op gegevens en interpretaties van:
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, website Archeologische Landschappenkaart, <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/bronnen-en-kaarten/overzicht/archeologische-landschappenkaart>
 - Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, website Paleogeografische kaarten, <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/bronnen-en-kaarten/documenten/publicaties/2019/01/01/paleogeografische-kaarten>
 - Topografische Dienst/Kadaster, *Tijdreis - meer dan 200 jaar topografie*, <https://www.topotijdreis.nl/>
 - Topografische Dienst/Kadaster, Topografische kaarten Rotterdam en omstreken 1:25.000, 1:10.000, Zwolle/Alblasserdam.
 - *Grote Historische Atlas van Nederland 1:50.000, 1830-1855*, Groningen, 1990.
 - Joan Blaeu, *Atlas Theatrum Orbis Terrarum*, Kaart Delfland-Schieland, 1662, Erfgoed Leiden.
 - Nicolaas Cruquius, *Kaart van het eylandt West-Voorne of Goedereede met de dieptes en de droogtes ronds-omme, tot aan den Hoek van Hollandt*, 1733, Universiteitsbibliotheek Utrecht.
 - Johannes van Keulen, *kaart Maasmonding 1681*, Stadsarchief Rotterdam.

Sources for maps and cross sections

The maps and cross sections of the Venice Lagoon and the city of Venice were created by the author and based on data and interpretations from:

- Città di Venezia, Cartografia et Viabilità, <https://www.comune.venezia.it/de/archivio/3836>
 - Topographic maps Italy, <https://en-gb.topographic-map.com/maps/d99/Italy/>
 - Ufficio Idrografico della Magistrato alle Acque, Carta idografica Laguna Venezia 1810-2020.
 - R. Brigand, 'Les Paysages Agraires de la Plaine Vénitienne. Hydraulique et Planification entre Antiquité et Renaissance', in: J. Burnouf et al. (eds.), *L'Europe en mouvement. Medieval Europe* (4e Congrès international d'Archéologie Médiévale et Moderne), Paris 2007.
 - L. D'Alpaos, *Evoluzione morfologica della laguna di Venezia*, Venice 2010.
 - K. Dell'Olivo, *Construire à Venise. Les stratégies de construction et de développement urbain au sein du système lagunaire vénète*, Lausanne 2011.
 - F. Mancuso, *Venezia è una città. Come è stata costruita e come vive*, Venice 2009.
 - N. Tambroni and G. Seminara, 'Are inlets responsible for the morphological degradation of Venice Lagoon?', *Journal of Geophysical Research* 111 (2006), 1-19.
 - E. Trincinato and U. Franzoi, *Venise au fil du temps. Atlas historique d'urbanisme et d'architecture*, Boulogne-Billancourt 1971.
 - P. Viganò, B. Secchi and L. Fabian, *Water and Asphalt. The Project of Isotropy* (UFO. Explorations of Urbanism; 5), Zurich 2016.
- The maps and cross sections of the Rhine-Maas delta and the Nieuwe Maas and surroundings were created by the author and based on data and interpretations from:
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, website Archeologische Landschappenkaart, <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/bronnen-en-kaarten/overzicht/archeologische-landschappenkaart>
 - Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, website Paleogeografische kaarten, <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/bronnen-en-kaarten/documenten/publicaties/2019/01/01/paleogeografische-kaarten>
 - Topografische Dienst/Kadaster, *Tijdreis - meer dan 200 jaar topografie*, <https://www.topotijdreis.nl/>
 - Topografische Dienst/Kadaster, Topografische kaarten Rotterdam en omstreken 1:25.000, 1:10.000, Zwolle/Alblasserdam.
 - *Grote Historische Atlas van Nederland 1:50.000, 1830-1855*, Groningen, 1990.
 - Joan Blaeu, *Atlas Theatrum Orbis Terrarum*, Kaart Delfland-Schieland, 1662, Erfgoed Leiden.
 - Nicolaas Cruquius, *Kaart van het eylandt West-Voorne of Goedereede met de dieptes en de droogtes ronds-omme, tot aan den Hoek van Hollandt*, 1733, Utrecht University Library.
 - Johannes van Keulen, *kaart Maasmonding 1681*, Stadsarchief Rotterdam.



013
Luchtfoto Rotterdam vanuit het oosten, 2019. Op de voorgrond het Brienenoord-eiland en de Brienenoord-brug, op de achtergrond een dichte kluit van bebouwing die voornamelijk gedurende de laatste dertig jaar langs de rivieroever is gerealiseerd (Aerophotostock).

013
Aerial view of Rotterdam from the east, 2019. In the foreground Brienenoord Island and the Brienenoord Bridge, in the background a dense cluster of buildings along the river banks, built mainly in the last thirty years (Aerophotostock).



	Rivier		Zandige kust (duinen, strand)
	River		Sandy coast (dunes, beach)
	Veenrivier		Zandplaat
	Peatland stream		Sandbar
	Uitgegraven veenplas		Aangeslibd land (slib en klei), regelmatig overstromd
	Excavated peat bog		Accreted land (silt and clay), frequently flooded
	Aangeslibd land		Aangeslibd land, sporadisch overstromd
	Alluvial land		Accreted land, sporadically flooded
	Bedijkt, ingepolderd land		Bedijkt en ingepolderd land
	Dyked, impoldered land		Dyked and impoldered land
	Stedelijke nederzetting		Stedelijke nederzetting
	Urban settlement		Urban settlement
	Verstedelijkt gebied		
	Urbanised area		
	Havens en industrie		
	Harbours and industry		
	Hoofdwaterkering		
	Main flood defence		

014a

Kaart van de Rijn-Maasmonding, ca. 2000. Door het graven van de Nieuwe Waterweg wordt het water van Rijn en Maas weer vooral via de Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg afgevoerd. Dit gebeurt in versterkte mate sinds de aanleg van de Deltawerken. Door het gesloten houden van de Haringvlietsluizen wordt, met name bij lage waterstanden, het rivierwater naar zee gedwongen via de Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg.

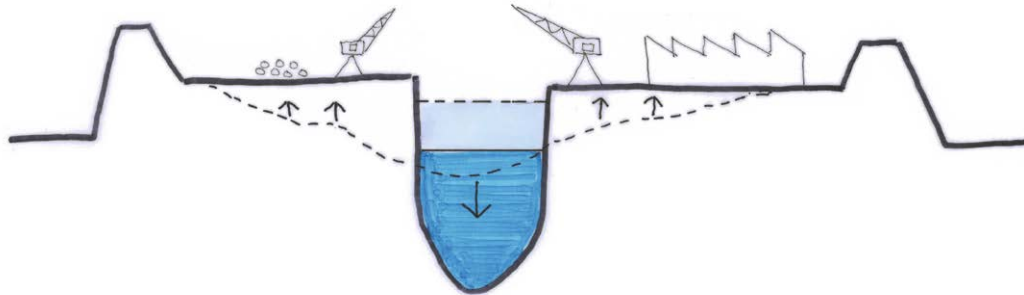
014a

Map of the Rhine-Meuse estuary, c. 2000. Thanks to the digging of the Nieuwe Waterweg, the waters of the Rhine and Meuse once again drain mainly via the Nieuwe Maas and Nieuwe Waterweg. This effect has been enhanced since the construction of the Delta works. Keeping the Haringvliet sluices closed, especially at times of low water, forces the river water to flow seawards via the Nieuwe Maas and Nieuwe Waterweg.

014b



014c



014b
Stadslandschap Rotterdam,
ca. 2000.

014c
Doorsnede rivierbed
Nieuwe Maas, ca. 2000.
Opgehoogde kades en een
uitgediepte vaargeul heb-
ben geleid tot een smal en
diep rivierbed, met grotere
verschillen in het waterni-
veau tussen de getijden.
Voortdurende baggerwerk-
zaamheden en kade-onder-
houd zijn nodig om het
rivierbed op zijn plaats te
houden.

014b
Rotterdam urban landscape,
c. 2000.

014c
Cross section of the Nieuwe
Maas riverbed, c. 2000.
Raised quays and a deepened
shipping channel have
resulted in a narrow and
deep riverbed, with greater
differences in water levels
between tides. Continuous
dredging and quay main-
tenance are necessary to
keep the riverbed in place.

Annual average discharge of Rhine and Maas 2000–2011



Regulering van de afvoer van Nederlandse rivieren 2000-2011 (Wikimedia Commons).

Hollandsch Diep en Haringvliet als nieuwe hoofdmonding van Rijn en Maas. De rol van Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg in het rivierwaterafvoersysteem is geminimaliseerd (Ontwerpstudie H+N+S Landschapsarchitecten, in opdracht van Deltaprogramma en IABR, 2012).

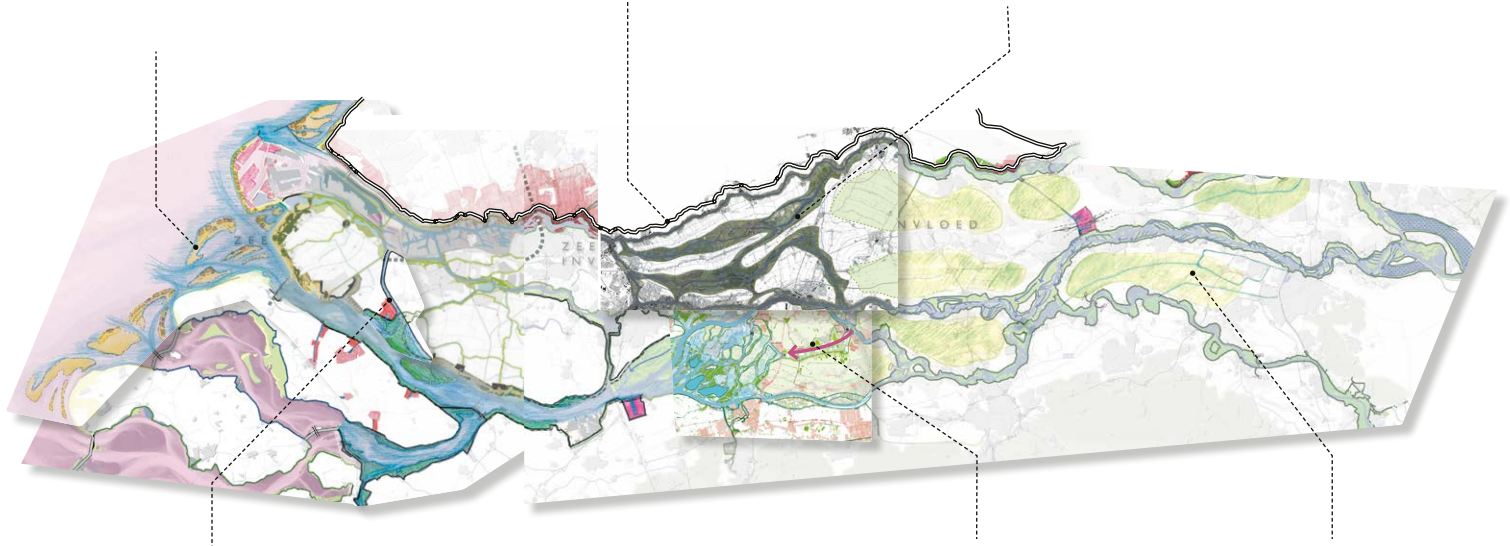
Regulation of the discharge of Dutch rivers 2000-2011 (Wikimedia Commons).

Hollandsch Diep and Haringvliet as the new main Rhine and Maas estuaries. The role of the Nieuwe Maas and Nieuwe Waterweg in the river water discharge system is minimised (Design study H+N+S Landscape Architects, commissioned by Delta Programme and IABR, 2012).

Onderzoek naar de rol en betekenis van extra eilandvorming in de Voordelta

Uitbouw van dijkkring 14 naar een Randstad dijkkring

Aanleg van groene rivieren door de Alblasserwaard als compensatiestrategie voor rivierwaardse ontwikkelingen van de Drechtsteden.



Investeren in de Rotterdamse haven in de verbetering van de achterlandverbindingen en onderzoek naar de ontwikkeling van multimodale HUB's (Moerdijk en Tiel).

Aanleg van een 'groene bypass' door het land van Heusden en Altena om de hoogwateropgave bij Gorinchem - Werkendam op te lossen.



Investeren in de agrarische optimalisatie van de komgebieden door extra wateraanvoersystemen aan te leggen.





principe:



-  diepte vaargeul 8m
-  diepte vaargeul 10m
-  diepte vaargeul 14m
-  diepzeehaven 25m
-  overig water buiten de scope van het project

 historische kernen en waterlopen

 kansen voor getijdennatuur
 stadsontwikkeling langs water

 zeeschepen met diepgang tot 25m
 zee en rivierschepen met diepgang tot 12m
 rivierschepen
 kleine boten



017

Vogelvluchtschets regio Rotterdam met Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg, gezien vanuit het oosten. Studieschets ter verkenning van mogelijke verondieping en verbreding van het rivierbed, door ARK Natuurontwikkeling, Bureau Stroming en Han Meyer (tekening Dirk Oomen en Peter Veldt, Bureau Stroming).

017

Bird's-eye sketch of Rotterdam region with Nieuwe Maas and Nieuwe Waterweg, seen from the east. Study sketch to explore possible deepening and widening of the riverbed, by ARK Natuurontwikkeling, Bureau Stroming and Han Meyer (drawing Dirk Oomen and Peter Veldt, Bureau Stroming).